

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт химии и энергетики
(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»
(наименование)

13.04.02 Электроэнергетика и электротехника
(код и наименование направления подготовки)

Техническое и информационное обеспечение интеллектуальных систем электроснабжения
(направленность (профиль))

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)

на тему Разработка системы расчета графика потребления электроэнергии предприятием при ценозависимом снижении потребления электроэнергии

Студент

А.Л. Спиридонов
(И.О. Фамилия)

_____ (личная подпись)

Научный
руководитель

к.т.н., В.И. Платов
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти 2021

Содержание

| | |
|--|----|
| Введение..... | 3 |
| 1 Зарубежный опыт управления спросом на электроэнергию | 7 |
| 1.1 Анализ мирового рынка управления спросом | 7 |
| 1.2 Анализ управления спросом в США | 11 |
| 2 Изучение управления спросом в России | 28 |
| 2.1 Изучение ценозависимого снижения потребления | 28 |
| 2.2 Анализ ценозависимого снижения потребления | 30 |
| 3 Разработка системы расчета графика потребления..... | 52 |
| электроэнергии | 52 |
| 3.1 Область применения..... | 52 |
| 3.2 Анализ необходимого инструментария..... | 53 |
| 3.3 Прикладной программный интерфейс балансирующего рынка..... | 60 |
| 3.4 Разработка пользовательского интерфейса..... | 64 |
| 3.5 Формализация задач Web-сервиса | 65 |
| 3.6 Реализация пользовательского интерфейса | 66 |
| 3.7 Модуль расчета графика потребления электроэнергии..... | 69 |
| 3.8 Стоимость разработки системы | 72 |
| Заключение | 76 |
| Список используемых источников..... | 77 |

Введение

Предметом исследования является технология ценозависимого потребления.

Актуальность темы высока, так как с 1 июля 2019 года по 31 декабря 2020 года в Российской Федерации субъектами электроэнергетики и потребителями электрической энергии проводился пилотный проект по управлению спросом на электрическую энергию.

Задачей на практике будет анализ механизма ценозависимого снижения потребления.

Управление спросом на электроэнергию (англ. Demand Response) — это изменение потребления электроэнергии ее потребителями по сравнению с их обычным потреблением в определенные промежутки времени, как мера на снижение цен на электроэнергию во времени или как реакция на стимулирующие выплаты, направленные на то чтобы конечный потребитель снижал свою активность в определенные временные периоды высоких цен на оптовом рынке или когда энергосистема поставщика сильно нагружена и требует ввода дополнительных резервных источников энергии.[29]

При этом с помощью управления спросом на электроэнергию можно будет снижать цены на электроэнергию на оптовом рынке, а это даст возможность для снижения цен для конечного потребителя. На данный момент управление спросом у нас в стране стало актуально, после внедрения необходимых на федеральном уровне законодательных актов. Оно становится средством обеспечения надёжности баланса между энергоснабжением и энергопотреблением, дает возможность более широко интегрировать в энергосистему возобновляемые источники энергии и стимулирует поставщиков энергии к конкуренции на рынке генерации, увеличивая тем самым возможностей потребителей.

Особенности представления электроэнергии в качестве товара, определяются её физическими свойствами, что ведет к необходимости

поддержания непрерывного баланса между ее потреблением и производством. Рынки сбыта электроэнергии функционируют так, чтобы постоянно стимулировать участников поддерживать этот необходимый для системы баланс спроса и потребления. Основная роль в работе по поддержанию баланса ложится на электростанции. При отсутствии мер для стимулирования потребителей, таких как Demand Response, спрос на энергию практически не зависит от цены на нее сформированной рынком и предприятия - потребители неохотно идут на снижения объемов потребления электричества при росте цены на нее. В условиях неэластичного спроса стороной, определяющей цену, будет ее производитель, которому в случае роста нагрузки для удовлетворения повышенного потребления требуется вводить в строй запасные (резервные) мощности, которые чаще всего являются не самыми эффективными.

Таким образом, при помощи снижения потребления, рынок смог бы уйти от ввода в генерацию низкоэффективных генераторов для устранения возможного дисбаланса системы. При этом доля потребителей, желающих снижать свою нагрузку в общемировой практике на прямую зависит от величины стимулирующих выплат и представлена на рисунке 1.



Рисунок 1 - Зависимость фактической доли участия потребителей в Demand Response в зависимости от размера стимулирования

При этом участие в проекте предполагает готовность потребителей к добровольному снижению собственного потребления по команде Системного оператора Единой энергетической системы (СО ЕЭС) направляемой потребителю через агрегатора. Само снижение потребления осуществляется определенное количество раз в месяц на строго определенный промежуток времени, при этом продолжительность и объем снижения определяется самим потребителем на основании технических возможностей его энергосистемы. По итогам каждого расчетного месяца определяется фактическое снижение нагрузки и количество исполненных команд, поступивших от агрегатора, и на их основании производятся финансовые расчеты [10]. По предварительной оценке, экономический эффект (вознаграждение потребителя по договору оказания услуг за снижение потребления) от участия в проекте может составить до 350 тысяч рублей ежемесячно за каждый МВт снижения мощности (при условии выполнения всех указанных команд от СО ЕЭС). При этом основными задачами Системного оператора будут являться:

- управление технологическими режимами работы объектов ЕЭС России в реальном времени,
- обеспечение перспективного развития ЕЭС,
- обеспечение эффективной работы оптового и розничного рынков электрической энергии.

Исходя из общемирового и российского опыта, потенциал управления нагрузкой достигается, прежде всего, за счет временного снижения потребления в системах производственно-технологических цепочек, системах вентиляции и кондиционирования, системах электрического нагрева, холодильных установок, а также использования резервных источников питания – генерации и накопителей электроэнергии. При этом с внедрением у потребителей интервальных счётчиков электроэнергии, развитием так называемых «Smart Grid» сетей (интеллектуальных сетей) появляется возможность повышения эластичности потребления энергии за

счет некоего определенного воздействия на оборудование потребителя, когда это необходимо для поддержания баланса в сетях. На рисунке 2 представлено влияние баланса активной мощности на генерацию и потребление электроэнергии.

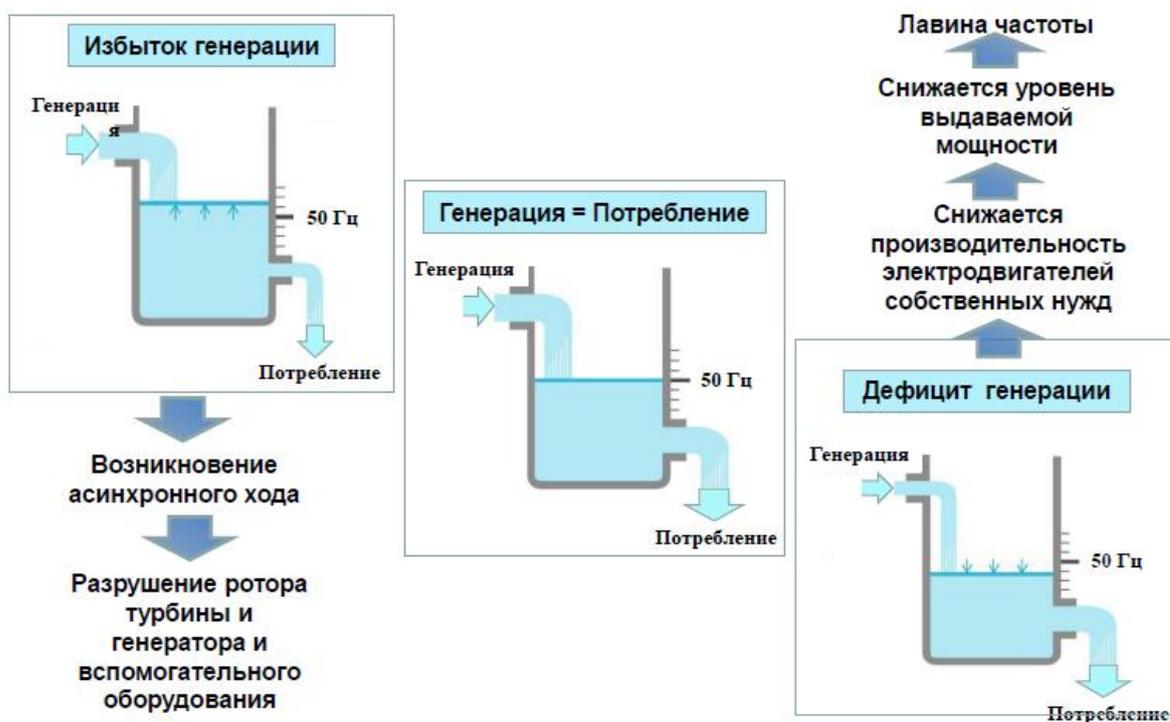


Рисунок 2 - Баланс активной мощности в энергосистеме

При этом надо понимать, что управление спросом становится инструментом, позволяющим снижать стоимость электроэнергии для потребителя в часы пик, когда для покрытия дефицита электроэнергии вводятся в строй дополнительные мощности. В таком случае даже небольшое снижение потребления энергии даст возможность для достаточно ощутимого снижения цен на электрическую энергию.

1 Зарубежный опыт управления спросом на электроэнергию

1.1 Анализ мирового рынка управления спросом

На сегодняшний день во многих странах рыночные механизмы по управлению спросом развиваются очень неравномерно.

Управление спросом на электроэнергию — это изменение потребления электроэнергии ее потребителями по сравнению с их обычным потреблением в определенные промежутки времени, как мера, направленная на снижение цен на электроэнергию во времени или как реакция на стимулирующие выплаты. При этом основным направлением в политике по повышению энергоэффективности является повышение роли Demand Response в действующих энергосистемах. Это хорошо видно на примере изменения законодательства и различных нормативных актов, по которым функционирует данный механизм снижения энергопотребления в мире.

Практически во многих странах уже на законодательном уровне введено применение такого механизма, как управление спросом. Например, общий размер на рынке продуктов и услуг Demand Response в мире сейчас составил уже более 50 ГВт. При этом признанными лидерами по объему услуг Demand Response на данный момент являются США, в которых более 70 процентов от этого объема получены за счет внедрения Demand Response в промышленности, а остальные 30 за счет небольших потребителей и частных домовладений. Предполагается, что по мере развития рынка Demand Response к середине 30х годов текущего столетия мировой рынок сможет увеличить свой потенциал минимум в 3 раза, то есть приблизительно до 150 ГВт. Все это в том числе позволит уменьшить негативное влияние на окружающую среду, за счет снижения выбросов и уменьшения так называемого «углеродного следа».[29] Объем прогноза рынка услуг управления спросом на электроэнергию представлен на рисунке 3.



Рисунок 3 - Объем услуг управления спросом на электроэнергию в мире

И при этом лишь в немногих развитых странах рынок Demand Response на данный момент уже можно характеризовать как развитый и даже устоявшийся. Не смотря на то, что развитие идет значительными темпами в большинстве крупных промышленных государств, включая нашу страну, он до сих пор находится в стадии своего становления и развития. Например, в нашей стране, этот механизм впервые был запущен только в 2017 году и на данный момент находится в стадии развития. Только по приблизительным оценкам потенциал управления спросом в рамках единой энергосистемы у нас в стране может приближаться к 12-15 ГВт для первой и второй ценовой зоны. Как таковой Demand Response начал массово внедряться в США еще в 70-е гг. прошлого столетия в рамках внедрения так называемой Demand Management - программы по рационализации спроса на электроэнергию. Эта программа была направлена на увеличение сбережения электроэнергии путем стимулирования потребителей для снижения уровня энергопотребления в пиковые периоды нагрузки или же смещения времени энергопотребления на не пиковые периоды. На протяжении достаточно большого промежутка времени в США энергокомпании внедряли в качестве

некой разновидности Demand Response, так называемую «Программу прямого управления нагрузкой» (Direct Load Control). В рамках внедрения этой программы потребители давали согласие на кратковременное отключение нагрузки при любых аварийных ситуациях в энергосистеме, получая взамен для себя специальные тарифы на электроэнергию.

Начиная с 2010 г. Demand Response начал активно внедряться на рынках электроэнергии всего мира и получил возможность конкурировать с производством электроэнергии. Уже сложившиеся рынки управления спросом, не смотря на то, что являются сформированными, до сих пор не являются статичными. До сих пор они претерпевают постоянный процесс оптимизации и совершенствования в сфере уже существующих механизмов управления спросом. Также для потребителей управление спросом всё чаще воспринимается не просто как средство получения некоего дополнительного дохода, а как уже практически один из основных инструментов оптимизации существующей у них системы энергоснабжения. При этом надо отметить, что достаточно важным направлением развития Demand Response на международных рынках является массовое вовлечение в процесс мелких потребителей энергии вплоть до отдельных домохозяйств. При этом надо понимать, что внедрение и развитие такого процесса без использования, таких технологий как, интернет вещей, система «Big Data» и искусственного интеллекта не возможна в принципе. Внедрение этого инструмента для таких пользователей несет в себе потенциальную возможность для экономически эффективного охвата большого количества новых пользователей. На сегодняшний день в Европейском Союзе объем задействованной электроэнергии с управляемым спросом составляет уже почти 20 ГВт. А существующий потенциал на данный момент оценивается экспертами Европейской комиссии более чем в 100 ГВт, при этом перспектива его роста к 2030 году оценивается приблизительно на уровне 160 ГВт. Территориальное развитие управления спросом в Европе представлено на рисунке 4. Еще в 2013 году, Европейская комиссия заявляла о наличии

возможности потенциала управления снизить пиковый спрос почти на 10% в Европейском Союзе. На данный момент Европейский Союз фактически предписывает обязательное использование управления спросом, основываясь на директиве об электроэнергетике и директиве об энергетической эффективности. В соответствии с этими документами системные операторы берут на себя ответственность за обеспечение доступности всех необходимых вспомогательных услуг, в том числе тех, которые предоставляются Demand Response.



Рисунок 4 - Развитие управление спросом на энергетических рынках в Европе.

Так, например, при планировании развития распределительных сетей операторы обязаны рассматривать энергоэффективность и меры по управлению потреблением в качестве альтернативы для модернизации или замены существующих мощностей. А в директиве об энергобезопасности регламентируется то, что государства - члены Европейского Союза обязаны обеспечить устранение стимулов в тарифах на передачу и распределение,

которые наносят ущерб общей энергоэффективности производства во всех проявлениях, включая экологическую составляющую.

Управление спросом на данный момент становится в мире эффективным инструментом, который дает возможность снижать стоимость электроэнергии для потребителя в часы пик, когда для покрытия дефицита электроэнергии требуется вводить дополнительные мощности. В таком случае даже небольшое снижение потребления энергии даст возможность для достаточно ощутимого снижения цен на электрическую энергию для конечного потребителя и также снизить общее потребление энергии, а все это позволит, в том числе и уменьшить существующие углеродные выбросы в атмосферу.

1.2 Анализ управления спросом в США

Рассмотрим более подробно управление спросом в США, как страну с опытом в данной области более 40 лет. В США применяется несколько различных типов программ управления спросом, которые, в свою очередь разделены на две категории: программы, основанные на ценах и программы, основанные на поощрении. В программах, основанных на ценах, меняется цена на электроэнергию с течением времени, чтобы согласовать потребление электроэнергии потребителями и затраты, которые они накладывают на систему электроснабжения. Они реализуются по утвержденным тарифам на коммунальные услуги или согласно условиям контракта. Программы, основанные на поощрении, вознаграждают потребителей за снижение их электрических нагрузок по запросу или за предоставление администратору программы определенного уровня контроля над своим оборудованием, использующим электроэнергию. В таблице 1 представлена сводка типов программ, подпадающих под эти две категории.[24]

Таблица 1 – Классификация программ управления спросом

| Тип программы | Описание |
|---|--|
| Прямое управление нагрузкой | Администратор программы может удаленно выключать или переключать электрическое оборудование клиента в кратчайшие сроки. Программы прямого управления нагрузкой в основном предлагаются частным лицам или небольшим коммерческим клиентам. |
| Прерывание нагрузки | Потребление электроэнергии может быть сокращено или прервано в соответствии с тарифами или контрактами, которые предусматривают скидку по ставке или кредит по счету за согласие на снижение нагрузки во время непредвиденных обстоятельств в системе. В некоторых случаях снижение спроса может быть произведено действием системного оператора после уведомления клиента в соответствии с положениями контракта. |
| Цена на критические пики с контролем нагрузки | Управление со стороны спроса, которое сочетает в себе прямой контроль нагрузки с заранее заданной высокой ценой для использования в определенные критические периоды пиковой нагрузки, которые могут быть вызваны непредвиденными обстоятельствами в системе или высокими ценами оптового рынка. |
| Нагрузка как ресурс мощности | Потребители обязуются выполнять заранее заданные сокращения нагрузки при возникновении непредвиденных обстоятельств в системе. |
| Горячий резерв | Потребители имеют ресурсы и резервы, которые синхронизированы и могут быть предоставлены для устранения дисбаланса спроса и предложения в течение первых нескольких минут после аварийного события. |
| Холодный резерв | Потребители имеют ресурсы и резервы, которые недоступны немедленно, но могут использоваться для устранения дисбаланса спроса и предложения энергии после задержки в десять минут или более. |
| Служба регулирования | Тип управления спросом, в котором потребитель увеличивает и уменьшает нагрузку в ответ на сигналы в реальном времени от системного оператора. Запросы подлежат отправке непрерывно в течение периода действия обязательств. |
| Торги по требованию и обратный выкуп | Программа, которая позволяет потребителю, пользующемуся управлением спросом на розничных и оптовых рынках, предлагать снижение нагрузки по определенной цене или определять, какую нагрузку он готов сократить по определенной цене. |
| Ценообразование по времени использования | Ставка, при которой розничные цены на электроэнергию меняются в зависимости от периода времени и где периоды времени обычно превышают один час в течение 24-часового дня. Нормы времени использования отражают среднюю стоимость производства и доставки энергии в эти периоды времени. |
| Ценообразование по критическим пикам | Структура ставок и/или цен, разработанная для поощрения снижения потребления в периоды высоких оптовых рыночных цен или непредвиденных обстоятельств системы, путем |

Продолжение таблицы 1

| | |
|------------------------------------|--|
| | установления заранее установленной высокой ставки или цены на ограниченное количество дней или часов. Общее количество критических пиковых периодов обычно ограничивается календарным годом. |
| Цены в реальном времени | Структура тарифов и цен, при которой розничная цена на электроэнергию обычно колеблется ежечасно или чаще, чтобы отразить изменения в оптовых ценах на электроэнергию на сутки вперед или на час вперед. |
| Скидка за пиковое время | Скидки в пиковое время позволяют клиентам получать скидки за счет снижения энергопотребления по сравнению с базовым уровнем в течение определенного количества часов в критические пиковые дни. Как и при ценообразовании критических пиковых значений, количество критических пиковых дней обычно ограничивается календарным годом и связано с такими условиями, как проблемы с надежностью системы или очень высокие цены на поставку. |
| Система управления пиками нагрузки | Сроки, условия, тарифы и/или цены для потребителей с интервальными счетчиками, которые снижают нагрузку во время пиков для снижения затрат на передачу электроэнергии. |

Еще один способ провести различие между программами управления спросом - это разделить программы, которые предоставляются через организованные оптовые рынки электроэнергии. В таблице 2 представлены три категории программ управления спросом: программы, основанные на ценах, программы, основанные на поощрении и программы для оптового рынка.

Таблица 2 – Категории программ управления спросом.

| Основанные на ценах | Основанные на поощрении | Программы для оптового рынка |
|--|--------------------------------------|--------------------------------------|
| Ценообразование по времени использования | Прямое управление нагрузкой | Аварийное реагирование на запросы |
| Цены в реальном времени | Торги по требованию и обратный выкуп | Программы рынка мощности |
| Ценообразование по критическим пикам | Прерывание нагрузки | Программы энергетического рынка |
| Скидка за пиковое время | — | Программы рынка дополнительных услуг |

В США считается целесообразным применять систему рентабельности ко всем вариантам, основанным на цене, даже к тем, которые предполагают только изменение ставок. Во-первых, с такой программой могут быть связаны затраты, включая административные расходы, затраты на измерения, сбор данных и затраты на оценку и другие. Это особенно верно для новых программ. Во-вторых, применение концепции экономической эффективности требует оценки вероятных выгод, включая оценку вероятного участия и скорости отклика клиентов. Это будет очень полезная информация для регулирующих органов при оценке ценности программ реагирования на спрос на основе цен. Наконец, регулирующие органы могут пожелать сравнить различные типы программ реагирования на спрос на основе цен. Применение единой системы рентабельности для различных типов программ позволяет провести равномерные сравнения.

Затраты и выгоды, связанные с любой конкретной ценовой программой реагирования на спрос, могут значительно различаться в зависимости от того, является ли программа обязательной для всех клиентов, вариантом по умолчанию, от которого клиенты могут отказаться, или добровольной программой, в которой клиенты могут выбирать. Программы управления спросом на основе цен могут также вызвать серьезные проблемы, связанные с распределением внутри и между классами потребителей, что может быть не очевидным при проверке экономической эффективности, но, тем не менее, очень важно для регулирующих органов.

Программы управления спросом поднимают несколько важных регуляторных и политических вопросов. Во-первых, это проблема потенциального перераспределения затрат между покупателями. Программы управления спросом могут привести к тому, что одни потребители будут платить меньше за электроэнергию, а другие - больше. Опасения по поводу перераспределения затрат могут быть одним из наиболее серьезных препятствий на пути реализации программ управления спросом. Как отмечалось выше, такое смещение затрат может происходить даже в

контексте программ управления спросом на основе цен, когда коммунальное предприятие несет небольшие затраты или вообще не несет их.

Однако важно понимать, что изменение затрат - это не вопрос рентабельности. Увеличение затрат для одного покупателя, которое компенсируется снижением затрат для другого покупателя, может привести к отсутствию чистых дополнительных затрат. С экономической точки зрения это называется «трансфертным платежом» от одного покупателя к другому, и согласно экономической теории эти платежи не следует рассматривать как затраты или выгоду, поскольку они компенсируют друг друга.

Тем не менее, изменение затрат является очень важным вопросом, который следует учитывать регулирующим органам и другим заинтересованным сторонам при оценке последствий программ управления спросом для государственной политики. Рекомендуется рассматривать это отдельно от оценки экономической эффективности. Регулирующие органы должны сначала определить, является ли конкретная программа управления спросом рентабельной.[26] Для тех из них, которые являются рентабельными, регулирующие органы должны затем рассмотреть вопрос о том, отвечает ли программа общественным интересам с учетом последствий изменения затрат.

Другой ключевой вопрос заключается в том, следует ли разрешить розничному потребителю участвовать в программах управления спросом на оптовых рынках мощности независимо от электроэнергетической компании клиента. Этот тип участия может не привести к экономии, ожидаемой от программы управления спросом, поскольку коммунальное предприятие розничного покупателя может быть не в состоянии координировать свою деятельность по закупкам с участием розничного покупателя в управлении спросом и может не учитывать экономию в своих расходах планирования и взаимодействия с оптовым рынком. Коммунальное предприятие розничного покупателя может даже понести дополнительные затраты на надежность и приобрести ненужные операционные резервы для обслуживания

сокращаемой части нагрузки розничного покупателя. Хотя эта проблема вызывала озабоченность в нескольких штатах, ожидается, что ее можно решить путем улучшения требований к коммуникации и отчетности. Вопрос в том, разрешать ли розничным покупателям участвовать в программах оптового управления спросом независимо от коммунальных услуг потребителя, является вопросом государственной политики, а не вопросом экономической эффективности.

Комиссия по коммунальным предприятиям Калифорнии разработала и приняла метод оценки рентабельности большинства действий по управлению спросом. В этих методах используются тесты экономической эффективности, описанные в Стандартном практическом руководстве, для определения рентабельности каждой деятельности по управлению спросом.

Существует четыре теста, предназначенных для измерения экономической эффективности с четырех точек зрения - с точки зрения общества, администратора программы, плательщика взносов и участника. Детали тестов были изменены, чтобы сделать их более подходящими для программ управления спросом.[28]

В нескольких важных аспектах методы оценки управления спросом в Калифорнии отклоняются от структуры Стандартного практического руководства, чтобы приспособить определенные элементы программы управления спросом или уточнить определенные аспекты структуры Стандартного практического руководства. К наиболее существенным аспектам методов оценки управления спросом в Калифорнии относятся следующие:

- калькулятор затрат, которых можно избежать,
- коэффициенты корректировки,
- дополнительные выгоды,
- анализ чувствительности,
- затраты участников,
- применение тестов экономической эффективности.

Протоколы требуют использования общегосударственного калькулятора затрат, которых можно избежать. Этот калькулятор отдельно определяет предотвращенные затраты на генерирующие мощности, энергию, передачу и распределение, выбросы парниковых газов, вспомогательные услуги и стандарты портфеля возобновляемых источников энергии, требуя от коммунальных предприятий использовать ту же общедоступную и прозрачную модель экономической эффективности, протоколы способствуют согласованности и минимизации путаницы.

Также протоколы требуют, чтобы каждая коммунальная компания рассчитывала поправочные коэффициенты, которые необходимо применить для предотвращения затрат для каждой программы управления спросом. Коэффициенты корректировки учитывают доступность, запуск, время уведомления и другие характеристики программы управления спросом. Эти поправочные коэффициенты предназначены для отражения вероятности того, что программа управления спросом будет доступна для работы в случае необходимости. В протоколах не указано, как компании должны вносить эти корректировки.

Протоколы определяют воздействия, которые коммунальные предприятия имеют возможность количественно оценить, насколько это практически возможно, и включить в свой анализ экономической эффективности. Дополнительные выгоды включают экологические выгоды (помимо предотвращенных экологических затрат на выбросы парниковых газов), выгоды для рынка и надежности, а также другие программные воздействия. Если невозможно приблизиться к какому-либо из этих входных данных, следует предоставить качественный анализ этой выгоды. Качественный анализ - это описательный анализ возможной величины и воздействия этих затрат или выгод. Целью качественного анализа является сравнение программ управления спросом друг с другом в тех случаях, когда конкретная программа управления спросом явно имеет разную величину конкретной выгоды.

Протоколы требуют анализа чувствительности, который фокусируется на переменных, которые, как ожидается, будут ключевыми факторами рентабельности каждой программы. Ключевые факторы включают затраты участников, значения генерирующих мощностей, значения передаваемой мощности, влияние нагрузки и другие. Анализ чувствительности дает представление о влиянии любой ошибки в вычислении основных входных данных, влияющих на окончательные результаты. Учитывая неопределенности, присущие многим оценочным значениям, включенным в любой анализ экономической эффективности программ управления спросом, требуемый анализ чувствительности дает картину диапазона обстоятельств, при которых различные программы будут рентабельными.

Затраты участника равны сумме транзакционных издержек участника и стоимости потерянных услуг для участника. Поскольку эти две величины чрезвычайно трудно определить количественно, другие затраты используются в качестве косвенных. Поскольку предполагается, что клиенты участвуют в программах только тогда, когда выгоды превышают затраты, протоколы определяют, что 75 процентов финансовых стимулов, выплачиваемых участнику, являются достаточным показателем затрат участника.

Протоколы требуют расчета всех четырех тестов рентабельности и не выносят суждений об их относительной важности при принятии программных решений. Эти тесты не предназначены для использования по отдельности или изолированно. Скорее, тесты нужно сравнивать друг с другом и выбирать между рассматриваемыми тестами. Определение того, какие тесты являются наиболее важными для утверждения программы, и относительный вес тестов делается в отдельных процедурах бюджета программы.

Проект управления спросом на северо-западе Тихого океана начался в 2007 году и подготовил Руководство по структуре оценки экономической эффективности ресурсов управления спросом на северо-западе Тихого

океана. Эти руководящие принципы были разработаны как инструмент проверки реакции спроса для рассмотрения регулирующими органами штата и советами коммунальных предприятий Тихоокеанского Северо-Запада. В рамках усилий проекта разработано несколько принципов оценки экономической эффективности программ управления спросом. Руководящие принципы данного проекта рекомендуют использовать те же тесты рентабельности, которые были определены в Калифорнийском стандартном практическом руководстве, с изменениями, учитывающими уникальные аспекты программ управления спросом. Руководящие принципы проекта также содержат указания и рекомендации о том, как учитывать различные виды затрат и выгод программ управления спросом.

Были предприняты другие попытки оценить реакцию спроса и определить рентабельность программ управления спросом. Некоторые из этих инициатив все еще находятся в процессе разработки, устарели или не совсем соответствуют цели по разработке системы рентабельности.

Управление энергетики Онтарио изучает принципы экономической эффективности для управления спросом, включая несколько семинаров с участием специалистов по планированию системы и других заинтересованных сторон. Управление энергетики Онтарио использовала тест общей стоимости ресурсов для оценки экономической эффективности программ управления спросом. Управление энергетики Онтарио не отчитывается перед регулирующей комиссией - это независимая некоммерческая корпорация, подчиняющаяся Министерству энергетики Онтарио. Управление энергетики Онтарио применяет структуру в соответствии с протоколами в своем ежегодном отчете по рентабельности. Эти отчеты исторически не публиковались, но ожидается, что Управление энергетики Онтарио сделает годовые отчеты общедоступными в будущем.

Среднеатлантическая инициатива по распределенным ресурсам направлена на выявление и устранение розничных барьеров для развертывания распределенной генерации, управления спросом и повышение

энергоэффективности, а также установление руководящих принципов для анализа экономической эффективности местными распределительными компаниями в Среднеатлантическом регионе. Экономическая эффективность программ управления спросом не была в центре внимания группы. Однако чтобы информировать о разработке разумной политики и инвестиций, Среднеатлантическая инициатива по распределенным ресурсам стремилась количественно оценить выгоды от управления спросом, заказав исследование для изучения выгод.

В последние годы Министерство энергетики США подготовило отчеты по интеллектуальным сетям, реализовало различные инициативы по интеллектуальным сетям и спонсировало множество пилотных программ интеллектуальных сетей по всей территории Соединенных Штатов в соответствии с Законом о восстановлении и реинвестировании США от 2009 года. В рамках этой деятельности Министерство энергетики США подготовило несколько материалов, касающихся затрат, выгод и рентабельности программ интеллектуальных сетей. Некоторые из этих материалов имеют отношение к структуре рентабельности управления спросом из-за дублирования между реагированием на спрос и интеллектуальной сетью.

Наиболее примечательной является аналитическая основа Министерства энергетики США для оценки выгод и затрат на проекты умных сетей. Эта структура включает руководство в отношении показателей для выявления и отслеживания преимуществ программ интеллектуальных сетей, а также методов оценки выгод и затрат этих проектов. Структура Министерства энергетики США дополнительно предоставляет вычислительный инструмент интеллектуальных сетей, который позволяет пользователям рассчитывать затраты, выгоды и рентабельность конкретных программ интеллектуальных сетей.[30] Полезно отметить, что Министерство энергетики США рекомендует использовать тесты экономической эффективности из Калифорнийского стандартного практического

руководства при оценке программ интеллектуальных сетей. Кроме того, многие штаты предприняли инициативы по оценке экономической эффективности программ интеллектуальных сетей. В одном примере, штат Иллинойс создал совместную сеть интеллектуальных сетей в масштабе штата, которая была создана с целью разработки стратегического плана по развертыванию интеллектуальных сетей в штате Иллинойс.

Общая структура, изложенная в стандартном практическом руководстве, широко использовалась в Северной Америке с целью проверки программ энергоэффективности и знакома большинству регулирующих органов коммунальных предприятий. Считается, что та же общая структура, которая была успешно применена к энергоэффективности, подходит для проверки реакции спроса, потому что обе программы обычно финансируются плательщиками взносов, а регулирующие органы заинтересованы в одинаковых типах затрат и выгод. Кроме того, универсальную применимость Калифорнийской системы стандартного практического руководства делает то, что она включает результаты с нескольких ключевых точек зрения. Получение результатов для этих перспектив важно как для программ повышения энергоэффективности, так и для программ управления спросом.

Как отмечалось выше, Калифорния недавно исследовала применимость структуры стандартного практического руководства к программам управления спросом и изменила некоторые затраты и выгоды этой структуры, чтобы учесть уникальные аспекты реагирования на спрос. Таким образом, можно извлечь пользу из недавней работы, проделанной в Калифорнии по этому вопросу.

Проект управления спросом на северо-западе Тихого океана недавно рассмотрел этот же вопрос и пришёл к такому же выводу, что и в стандартном практическом руководстве, обеспечивающим надлежащую основу для измерения экономической эффективности управления спросом.

Структуры экономической эффективности интеллектуальных сетей, в том числе используемые Министерством энергетики США, основаны на

структуре стандартного практического руководства Калифорнии. Есть много параллелей с оценкой затрат и преимуществ интеллектуальной сети и управления спросом. Протоколы управления спросом в Калифорнии кажутся наиболее полными, наиболее проверенными и наиболее адаптируемыми рамками, разработанными на сегодняшний день.

Затраты и выгоды программ управления спросом отличаются от затрат и выгод на ресурсы управления предложением тем, что они имеют разные последствия для разных сторон. В результате в США было разработано пять тестов экономической эффективности для рассмотрения затрат и выгод со стороны спроса с разных точек зрения.[25] Каждый из этих тестов объединяет различные затраты и выгоды программ энергоэффективности по-разному, в зависимости от того, какие затраты и какие выгоды относятся к разным сторонам. Список тестов включает:

- тест стоимости участника,
- тест "Рентабельность",
- тест «Стоимость для администратора программы»,
- тест общей стоимости ресурсов,
- тест на социальные издержки.

Тест стоимости участника включает в себя затраты и выгоды, которые испытывает заказчик, участвующий в программе управления спросом. Затраты включают все прямые расходы, понесенные заказчиком на покупку, установку и эксплуатацию управления спросом. Выгоды включают сокращение счетов клиента за электроэнергию, а также любое финансовое вознаграждение, выплачиваемое администратором программы.

Тест "Рентабельность" показывает влияние программ управления спросом на тарифы на коммунальные услуги. Результаты этого теста показывают влияние программы на тех клиентов, которые не участвуют в программах, потому что, если ставки этих клиентов увеличиваются, их счета также увеличиваются. Затраты включают все расходы администратора программы плюс «потерянные доходы» для коммунального предприятия в

результате необходимости возмещения постоянных затрат за счет меньшего количества продаж. Выгоды включают снижение затрат на коммунальные услуги.

Тест «Стоимость для администратора программы» включает в себя затраты на электроэнергию и преимущества, которые испытывает администратор программы управления спросом. Затраты включают все затраты администратора программы на разработку, планирование, администрирование, реализацию, мониторинг и оценку программ управления спросом. Выгоды включают в себя все предотвращённые затраты на коммунальные услуги, в том числе предотвращенные затраты на электроэнергию, затраты на мощность, затраты на передачу и распределение и любые другие затраты (например, затраты на соблюдение экологических требований), которые в противном случае понесло бы коммунальное предприятие для предоставления электрических услуг (или газовые услуги в случае программ повышения энергоэффективности газа).

Тест общей стоимости ресурсов включает в себя затраты и выгоды для всех потребителей коммунальных услуг, включая как участников программы, так и не участников. Затраты включают все понесенные затраты, включая полную дополнительную стоимость меры эффективности, независимо от того, были ли они понесены администратором программы или участвующим клиентом. Выгоды включают в себя все предотвращенные затраты на коммунальные услуги плюс любые выгоды, которые получают участвующие потребители.

Тест на социальные издержки включает затраты и выгоды, которые испытывают все члены общества. Затраты включают все затраты, понесенные любым членом общества: администратором программы, заказчиком и кем-либо еще. Точно так же преимущества включают в себя все преимущества, которые испытывает любой член общества. Они также включают внешние факторы, такие как затраты, связанные с воздействием на окружающую среду, и снижение затрат на государственные услуги. В

соответствии с этим тестом любые корректировки федеральных, государственных или местных налогов будут считаться трансфертным платежом, а не расходами или выгодой.

Теоретически все вышеперечисленные тесты экономической эффективности следует учитывать при оценке программ повышения энергоэффективности, финансируемых плательщиками взносов, чтобы получить наиболее полную картину воздействия на разные стороны. Однако большинство штатов полагаются на один или два теста в качестве основного стандарта для проверки программ энергоэффективности из-за проблем, связанных с работой с несколькими тестами, которые дают разные результаты.

Также важно понимать, что разные тесты предоставляют разные типы информации и должны использоваться для разных целей. Например, тест "Рентабельность" и тест стоимости участника предоставляют «распределительную» информацию (информацию о том, как влияние программ управления спросом распределяется по разным типам клиентов) [27]. В частности, тест "Рентабельность" дает представление об основных воздействиях ресурсов со стороны спроса на тех клиентов, которые не участвуют в программах, поскольку основное влияние на этих клиентов оказывает корректировка ставок. С другой стороны, тест стоимости участника дает представление о главном влиянии ресурсов со стороны спроса на участников программы. Эти два теста вместе дают приблизительное представление о том, как преимущества распределяются между участниками программы и не участниками.

Тест социальных затрат является наиболее полным стандартом для оценки рентабельности эффективности, потому что это единственный тест, который включает все выгоды и издержки для всех членов общества. В идеале тест на социальные издержки должен включать все затраты и выгоды, независимо от того, кто их испытывает, включая внешние эффекты. Однако внешние эффекты по самой своей природе часто трудно определить

количественно. По этой причине определение соответствующих затрат и выгод для теста социальных затрат довольно сложно и противоречиво.

Тест общей стоимости ресурсов является следующим наиболее полным стандартом для оценки экономической эффективности ресурсов со стороны спроса, включая все воздействия на администратора программы и ее клиентов. Он предлагает преимущество включения определенных воздействий, которые важны при планировании программ повышения энергоэффективности, включая экономию других видов топлива и льготы для людей с низким уровнем дохода.

Тест «Стоимость для администратора программы» является более строгим, чем тест общей стоимости ресурсов, поскольку он сравнивает только затраты администратора программы с затратами на предотвращение ресурсов со стороны предложения. Один из способов подумать об этом тесте состоит в том, что он ограничен воздействиями, которые в конечном итоге будут отнесены на всех клиентов через требования к доходам; затраты - это те затраты, которые перекладываются на плательщиков ставок для реализации программ на стороне спроса, а выгоды - это затраты на стороне предложения, которых избегают и не перекладывают на плательщиков сборов в результате программ на стороне спроса.

Тест «Стоимость участника» в корне отличается от других тестов тем, что он использует экономию счетов клиентов в качестве основного преимущества программ. Ставки для клиентов обычно выше, чем предельные предотвращенные затраты на энергосистему, что приводит к более высоким программным выгодам со стороны спроса на единицу сэкономленной энергии. Кроме того, единственными затратами в этом тесте являются затраты клиента, которые во многих случаях ниже, чем затраты, понесенные администратором программы на планирование, разработку и реализацию программ, ориентированных на спрос. Следовательно, этот тест обычно наименее ограничительный из всех других тестов экономической эффективности. Как отмечалось выше, он дает представление о

распределительных эффектах программ управления спросом и может быть полезен при оптимизации дизайна программы для участия. Применительно к добровольным программам тест стоимости участника имеет ограниченную полезность для регулирующих органов, потому что программы, не прошедшие тест, редко, если вообще когда-либо, предлагаются, поскольку клиенты, как правило, не будут добровольно участвовать в программе, которая не снижает их чистых затрат. Большинство регулирующих органов по-прежнему предпочитают получать подтверждение того, что добровольная программа проходит этот тест, особенно для новых предлагаемых программ.

Затраты, связанные с повышенным потреблением энергии, включают любые затраты, понесенные коммунальным предприятием при обеспечении потребителей дополнительной электроэнергией в результате программы управления спросом. Например, программа управления спросом, которая переключает нагрузку с пиковых на непиковые часы, может привести к чистому увеличению общего потребления энергии. Эти затраты, связанные с увеличением производства, передачи и доставки энергии, представляют собой дополнительные затраты, которые следует отнести на счет программы управления спросом. При расчете затрат на электроэнергию, связанных с повышенным потреблением, важно учитывать цену покупки электроэнергии или стоимость производства электроэнергии в разное время. Покупка или производство электроэнергии в непиковые часы, как правило, будет стоить меньше, чем в часы пик, что обычно приводит к чистой экономии, если учесть предотвращенные затраты на генерацию.

Существует множество различных типов преимуществ программы управления спросом, которые необходимо учитывать при оценке экономической эффективности, в зависимости от применяемого теста. Например, если стоимость турбины, работающей на природном газе, используется для оценки стоимости предотвращенных затрат на мощность, то только стоимость мощности, вырабатываемая этой турбиной, должна использоваться для представления предотвращенных затрат на мощность.

Избегаемые затраты на энергию и вспомогательные услуги, связанные с турбиной, должны быть исключены из расчета затрат на предотвращенную мощность, потому что избегаемые затраты на энергию и вспомогательные услуги должны быть учтены другими элементами при оценке экономической эффективности.

Выводы по разделу

В данном разделе проведено изучение зарубежного опыта управления спросом на электроэнергию. Проведён анализ мирового рынка управления спросом. Проведён анализ технологий управления спросом в США.

Управление спросом на данный момент становится в мире эффективным инструментом, который дает возможность снижать стоимость электроэнергии для потребителя в часы пик, когда для покрытия дефицита электроэнергии требуется вводить дополнительные мощности. В таком случае даже небольшое снижение потребления энергии даст возможность для достаточно ощутимого снижения цен на электрическую энергию для конечного потребителя и также снизить общее потребление энергии, а все это позволит, в том числе и уменьшить существующие углеродные выбросы в атмосферу. В мировой практике особое внимание в управлении спросом уделяется розничному рынку электроэнергии.

2 Изучение управления спросом в России

2.1 Изучение ценозависимого снижения потребления

Способность покупателей исполнять условия контролируется путём тестирования до начала исполнения обязательств, а также путём регистрации случаев невыполнения покупателем с ценозависимым потреблением условий поддержания энергопринимающих устройств в состоянии готовности к ценозависимому снижению объёма покупки электрической энергии и мощности в момент выполнения условий договора. Тестирование энергопринимающих устройств покупателя с ценозависимым потреблением проводится не позднее 1 декабря предшествующего года. Покупатели, которые не смогли выполнить условия тестирования, оплату за ценозависимое снижение потребления объёмов электрической энергии получить не могут. Покупатели, которые не смогли выполнить условия тестирования, оплату за ценозависимое снижение потребления объёмов электрической энергии получить не могут. Для покупателей, которые работают в режиме ценозависимого снижения потребления объёмов электрической энергии, требования к работе могут считаться выполненными.

«Снижение объёма покупки электрической энергии подтверждается отсутствием увеличения отклонений по собственной инициативе объёмов фактического потребления электрической энергии относительно планового объёма на величину более 5% от величины ценозависимого снижения объёма покупки электрической энергии.»[9] При выполнении покупателем с ценозависимым потреблением всех требований фактический объём ценозависимого снижения потребления мощности признается равным объёму ценозависимого снижения потребления мощности, определённого по итогам конкурентного отбора мощности. «При невыполнении одного или нескольких условий работы в режиме ценозависимого потребления, фактический объём ценозависимого снижения потребления мощности, равен

произведению объёма ценозависимого снижения потребления мощности, определённого по итогам конкурентного отбора мощности, и понижающих коэффициентов, учитывающих степень исполнения покупателем обязательств. Заявка покупателя с ценозависимым потреблением, подаваемая для участия в конкурентном отборе мощности, должна содержать количество часов, в которых покупателем в каждые сутки периода поставки мощности будет обеспечена готовность к ценозависимому снижению покупки электрической энергии (2 часа, 4 часа или 8 часов), и месячную величину снижения потребления в указанные часы (не менее 5 МВт)»[9]. Для покупателей, которые работают в режиме ценозависимого снижения потребления электрической энергии, требования к работе могут считаться выполненными, если выполняется следующий список требований:

- покупатель уведомил системного оператора в отношении таких суток о готовности к ценозависимому снижению объёма покупки электроэнергии,
- «покупатель обеспечил ценозависимое снижение объёма покупки электрической энергии в соответствии с плановым почасовым потреблением, определённым по результатам торгов на рынке на сутки вперёд (РСВ)»[9].

Для того чтобы определить объем ценозависимого снижения потребления мощности необходимо выполнить произведение заявленного объёма закупки электроэнергии и следующих коэффициентов:

- определяемого в зависимости от указанного в заявке покупателя с ценозависимым потреблением количества часов (2 часа в сутки – 0,25, 4 часа в сутки – 0,5, 8 часов в сутки – 1);
- определяемого в зависимости от условий договора и исходя из информации об объёмах фактического ценозависимого снижения потребления мощности (если такой информации нет, тогда коэффициент равен единице) [8].

2.2 Анализ ценозависимого снижения потребления

«Коммерческий оператор (АО «АТС») при формировании торгового графика на 30.08.2019 в период с 10 по 17 час включительно осуществил ценозависимое снижение объёма покупки электрической энергии в соответствии с Регламентом проведения конкурентного отбора ценовых заявок на сутки вперёд. В период проведения тестирования покупателей с ценозависимым потреблением плановый объём потребления (торговый график) был снижен на величину от 49 до 69 МВт·ч. В то время как фактический объём потребления уменьшился на величину от 151 до 233 МВт·ч.»[12] Полученные результаты применения механизма ценозависимого снижения потребления электроэнергии относительно плановых показателей отбора мощности и влияние на ценовые показатели электроэнергии, а также фактический режим потребления по группе точек поставки более подробно представлены на рисунке 5.

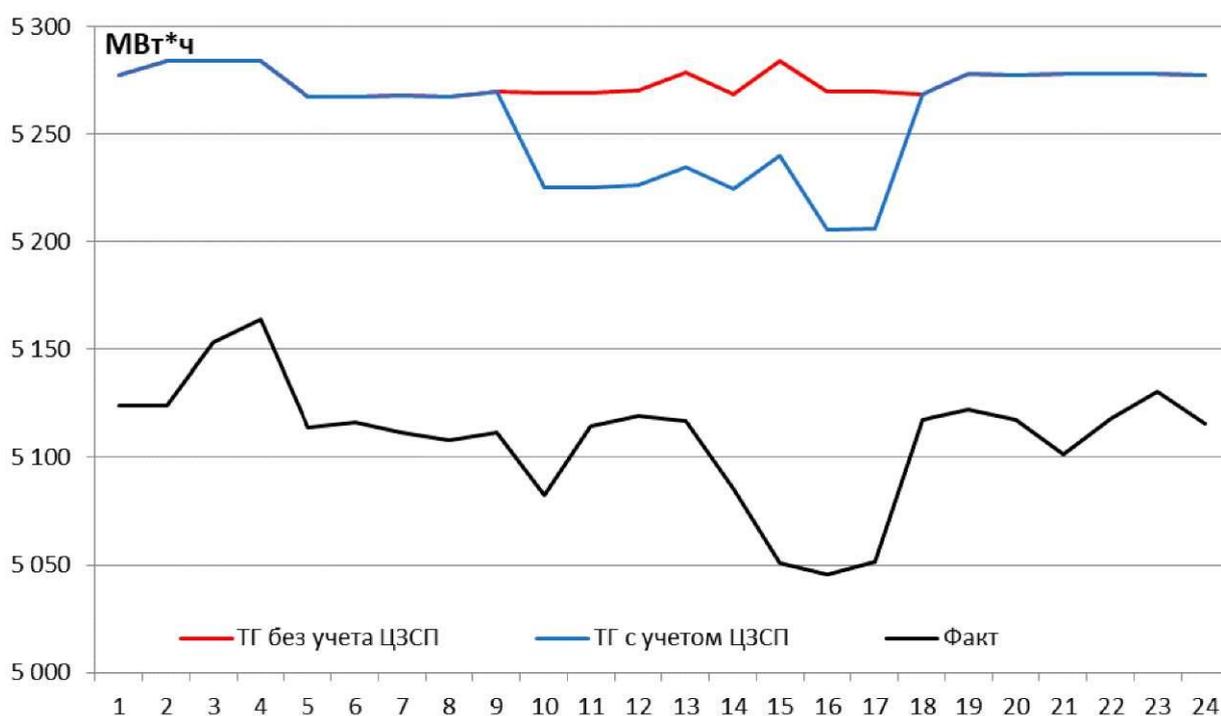


Рисунок 5 - Режим работы потребителей за 30.08.2019

26.09.2019 в период с 11 по 18 часов включительно произведено ценозависимое тестовое снижение потребления электроэнергии. В период проведения тестирования фактическая величина потребления электроэнергии была снижена на величину от 49 до 69 МВт·ч. В то время как фактический объём потребления уменьшился на величину от 15 до 39 МВт·ч.[18] Полученные результаты применения механизма ценозависимого снижения потребления электроэнергии относительно плановых показателей отбора мощности и влияние на ценовые показатели электроэнергии, а также фактический режим потребления по группе точек поставки более подробно представлены рисунке 6.

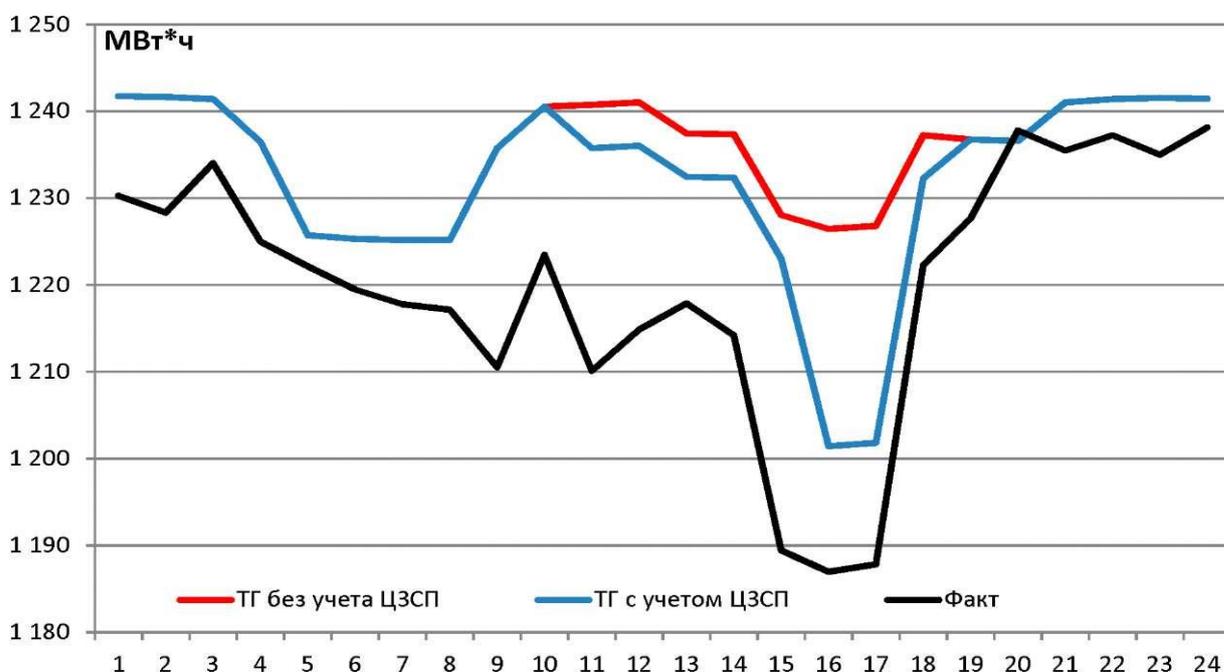


Рисунок 6 - Режим работы потребителей за 26.09.2019

28.10.2019 в период с 9 по 16 час и 29.10.2019 в период с 13 по 20 час произведено ценозависимое тестовое снижение потребления электроэнергии. В период проведения тестирования фактическая величина потребления электроэнергии была снижена от 49 до 69 МВт·ч. В то время как фактический объём потребления 28.10.2019 увеличивался на величину до 9

МВт·ч. и уменьшался до 30 МВт·ч., а 29.10.2019 уменьшился от 19 до 55 МВт·ч.[17] Полученные результаты применения механизма ценозависимого снижения потребления электроэнергии относительно плановых показателей отбора мощности и влияние на ценовые показатели электроэнергии, а также фактический режим потребления по группе точек поставки более подробно представлены на рисунках 7, 8.

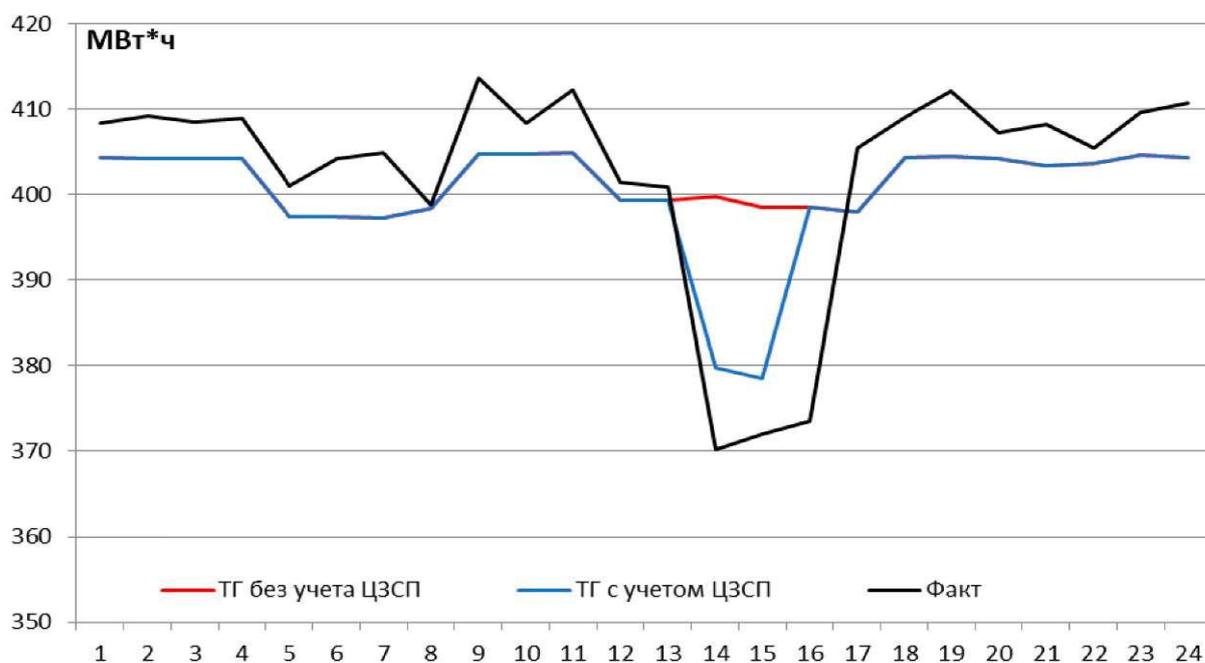


Рисунок 7 - Режим работы потребителей за 28.10.2019

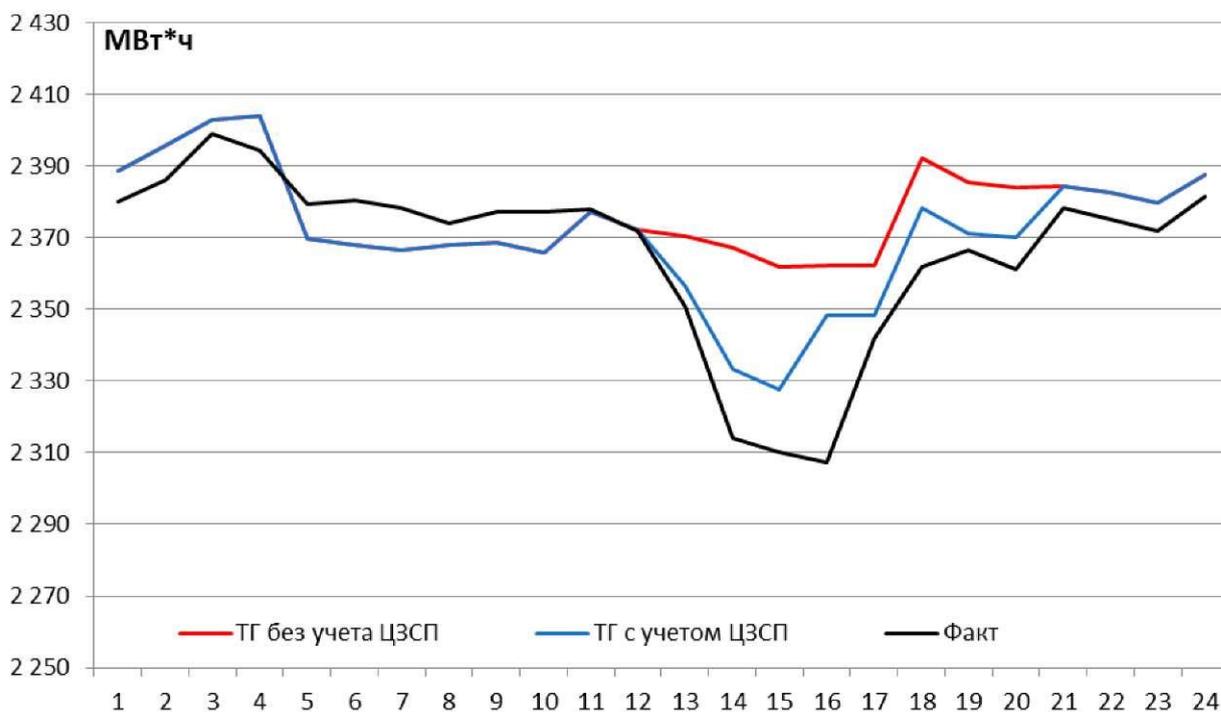


Рисунок 8 - Режим работы потребителей за 29.10.2019

08.11.2019 в период с 12 по 19 час включительно произведено ценозависимое тестовое снижение потребления электроэнергии. В период проведения тестирования фактическая величина потребления электроэнергии была снижена на величину от 49 до 69 МВт·ч. В то время как фактический объём потребления уменьшился на величину от 19 до 58 МВт·ч.[16] Полученные результаты применения механизма ценозависимого снижения потребления электроэнергии относительно плановых показателей отбора мощности и влияние на ценовые показатели электроэнергии, а также фактический режим потребления по группе точек поставки более подробно представлены на рисунке 9.

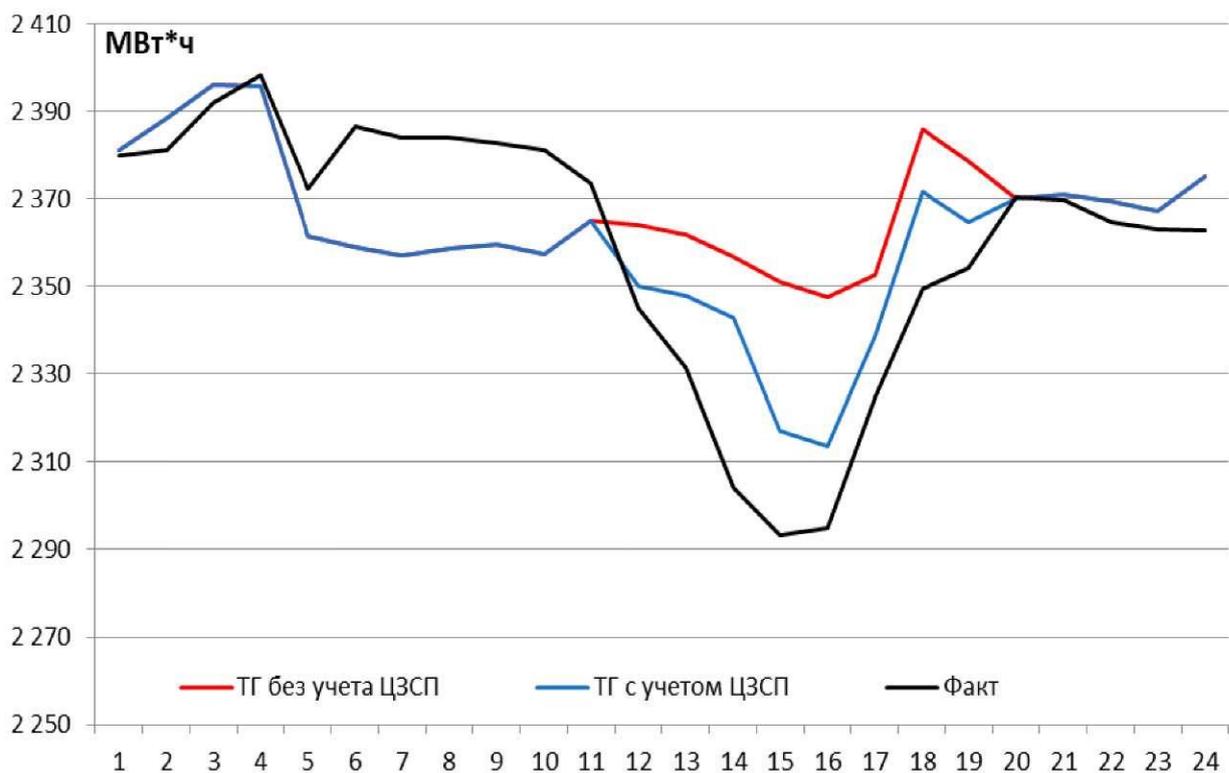


Рисунок 9 - Режим работы потребителей за 08.11.2019

09.01.2020 в период с 10 по 17 час включительно произведено ценозависимое тестовое снижение потребление электроэнергии. В период проведения тестирования фактическая величина потребления электроэнергии была снижена на величину от 5 МВт·ч.[21] Полученные результаты применения механизма ценозависимого снижения потребления электроэнергии относительно плановых показателей отбора мощности и влияние на ценовые показатели электроэнергии, а также фактический режим потребления по группе точек поставки более подробно представлены на рисунке 10.

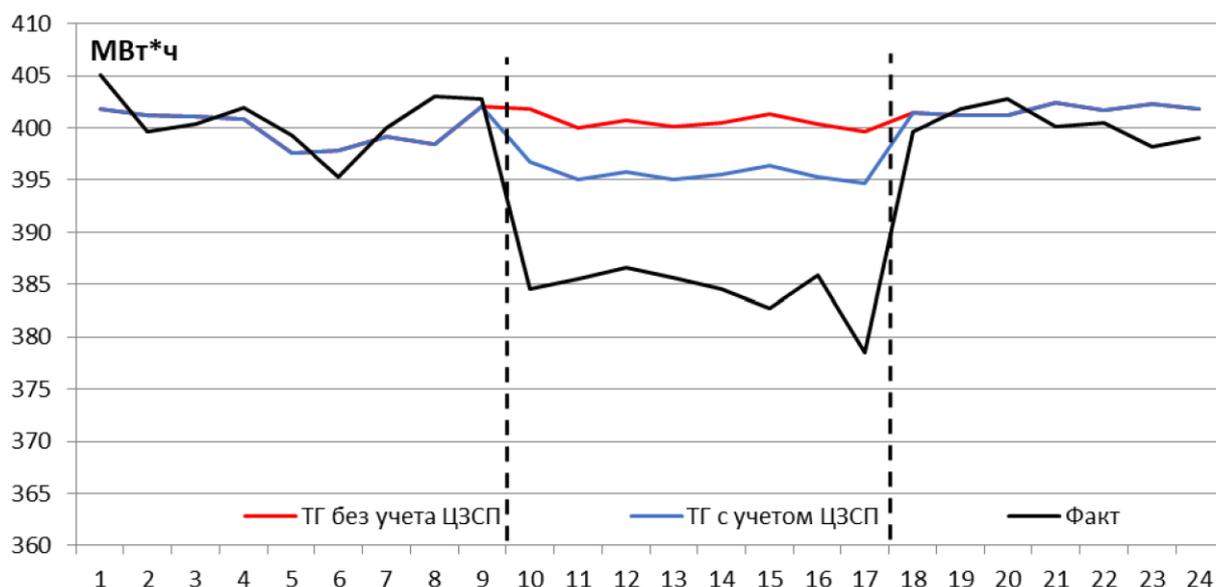


Рисунок 10 - Режим работы потребителей за 09.01.2020

10.01.2020 в период с 12 по 19 час включительно произведено ценозависимое тестовое снижение потребление электроэнергии. В период проведения тестирования фактическая величина потребления электроэнергии была снижена на величину от 5 МВт·ч.[21] Полученные результаты применения механизма ценозависимого снижения потребления электроэнергии относительно плановых показателей отбора мощности и влияние на ценовые показатели электроэнергии, а также фактический режим потребления по группе точек поставки более подробно представлены рисунке 11.

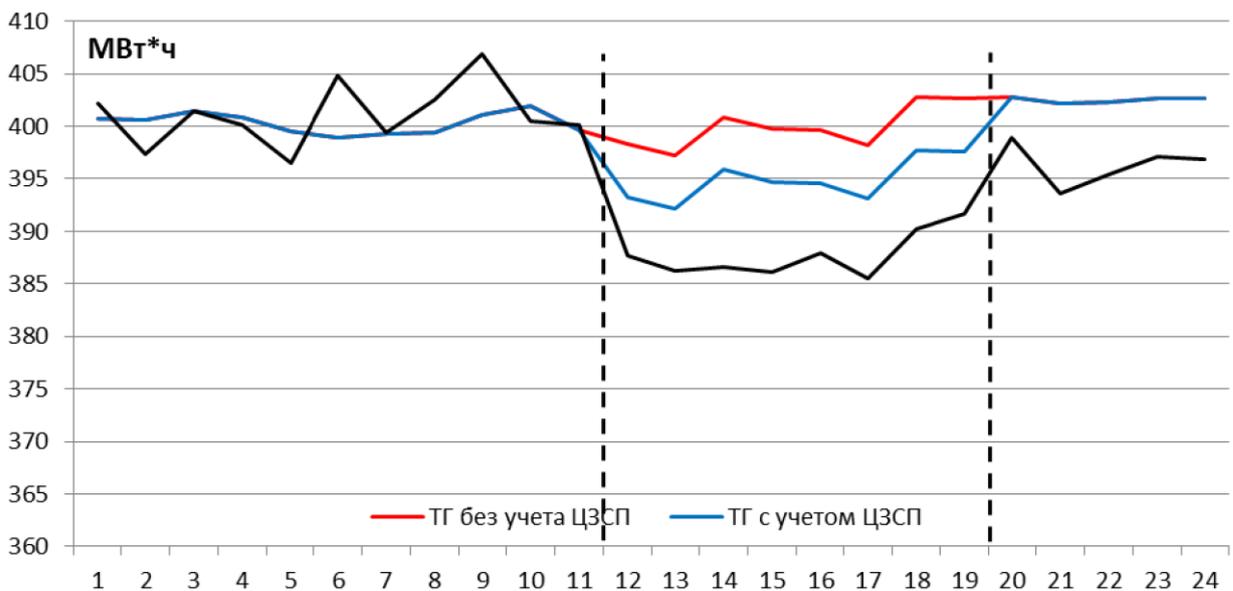


Рисунок 11 - Режим работы потребителей за 10.01.2020

13.01.2020 в период с 8 по 15 час включительно произведено ценозависимое тестовое снижение потребление электроэнергии. В период проведения тестирования фактическая величина потребления электроэнергии была снижена на величину. В период проведения плановый объем потребления был снижен на величину от 5 МВт·ч.[21] Полученные результаты применения механизма ценозависимого снижения потребления электроэнергии относительно плановых показателей отбора мощности и влияние на ценовые показатели электроэнергии, а также фактический режим потребления по группе точек поставки более подробно представлены на рисунке 12.

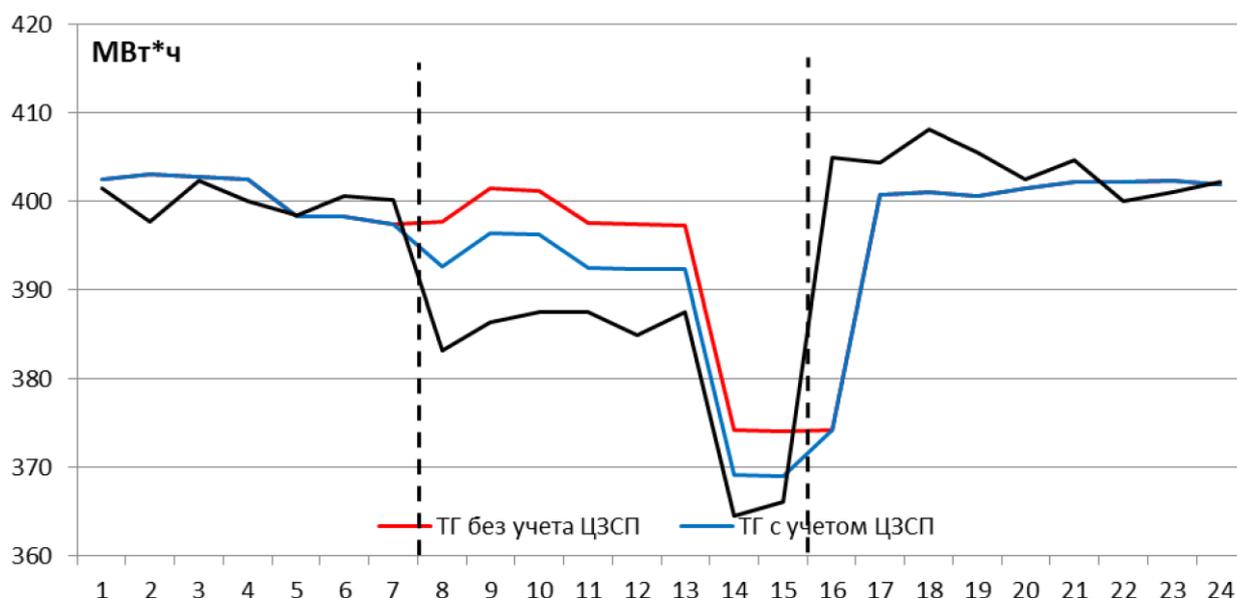


Рисунок 12 - Режим работы потребителей за 13.01.2020

14.01.2020 в период с 10 по 17 час включительно произведено ценозависимое тестовое снижение потребление электроэнергии. В период проведения тестирования фактическая величина потребления электроэнергии была снижена на величину от 5 МВт·ч.[21] Полученные результаты применения механизма ценозависимого снижения потребления электроэнергии относительно плановых показателей отбора мощности и влияние на ценовые показатели электроэнергии, а также фактический режим потребления по группе точек поставки более подробно представлены рисунке 13.

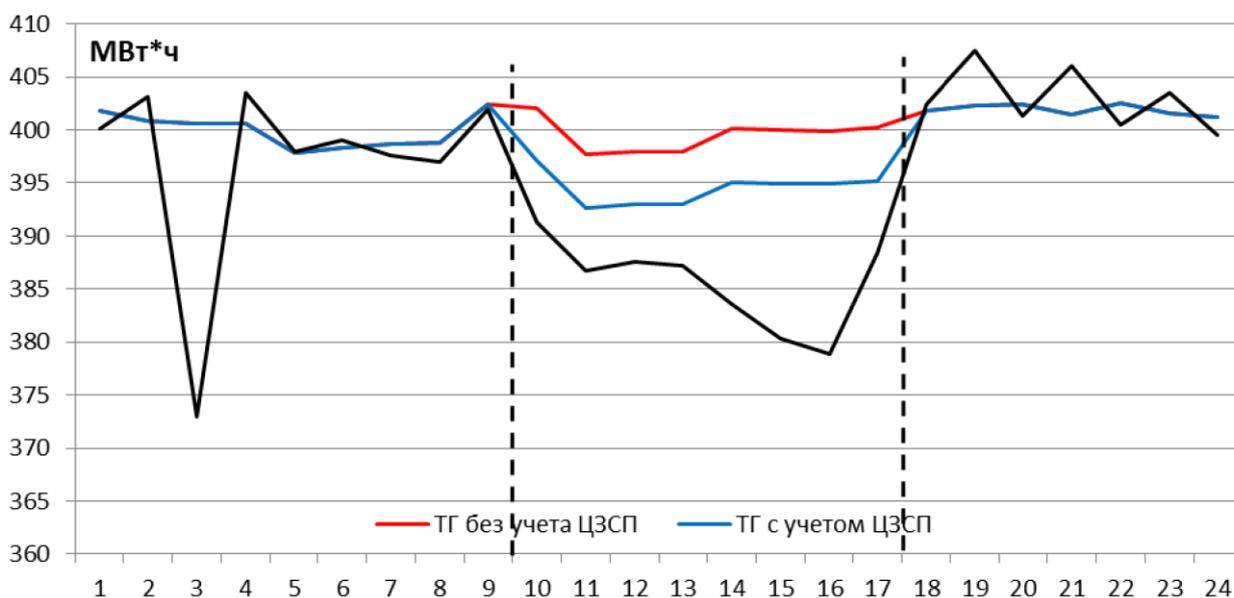


Рисунок 13 - Режим работы потребителей за 14.01.2020

15.01.2020 в период с 10 по 17 час включительно произведено ценозависимое тестовое снижение потребление электроэнергии. В период проведения тестирования фактическая величина потребления электроэнергии была снижена на величину от 5 МВт·ч.[21] Полученные результаты применения механизма ценозависимого снижения потребления электроэнергии относительно плановых показателей отбора мощности и влияние на ценовые показатели электроэнергии, а также фактический режим потребления по группе точек поставки более подробно представлены рисунке 14.

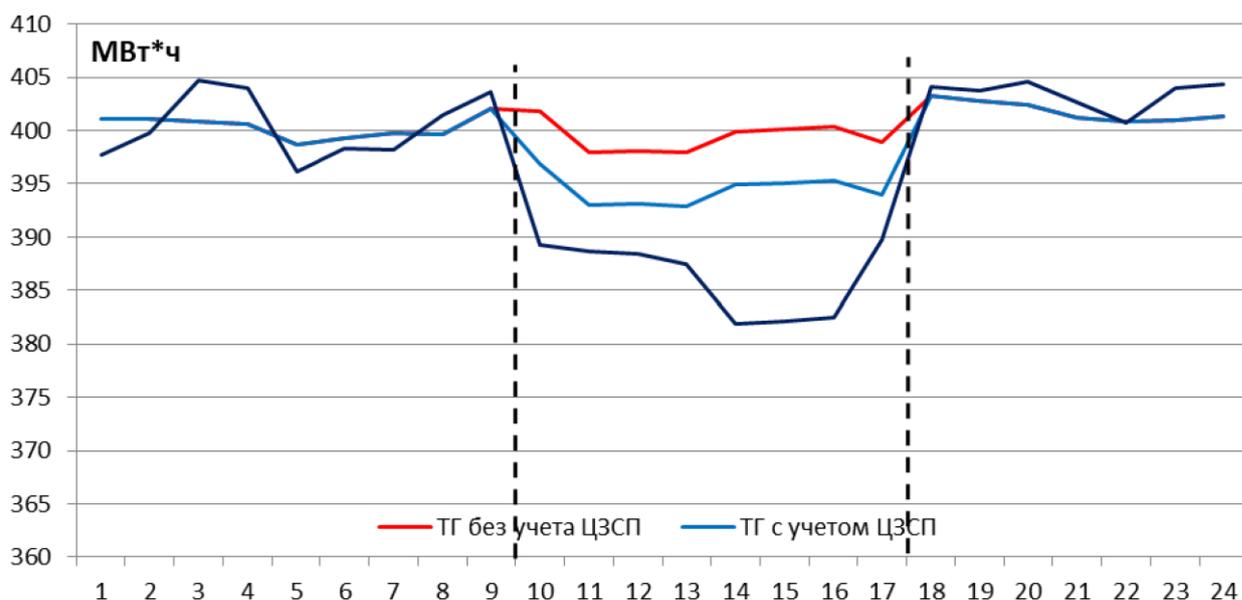


Рисунок 14 - Режим работы потребителей за 15.01.2020

27.02.2020 в период с 14 по 21 час включительно произведено ценозависимое тестовое снижение потребление электроэнергии. В период проведения тестирования фактическая величина потребления электроэнергии была снижена на величину от 5 МВт·ч.[19] Полученные результаты применения механизма ценозависимого снижения потребления электроэнергии относительно плановых показателей отбора мощности и влияние на ценовые показатели электроэнергии, а также фактический режим потребления по группе точек поставки более подробно представлены рисунке 15.

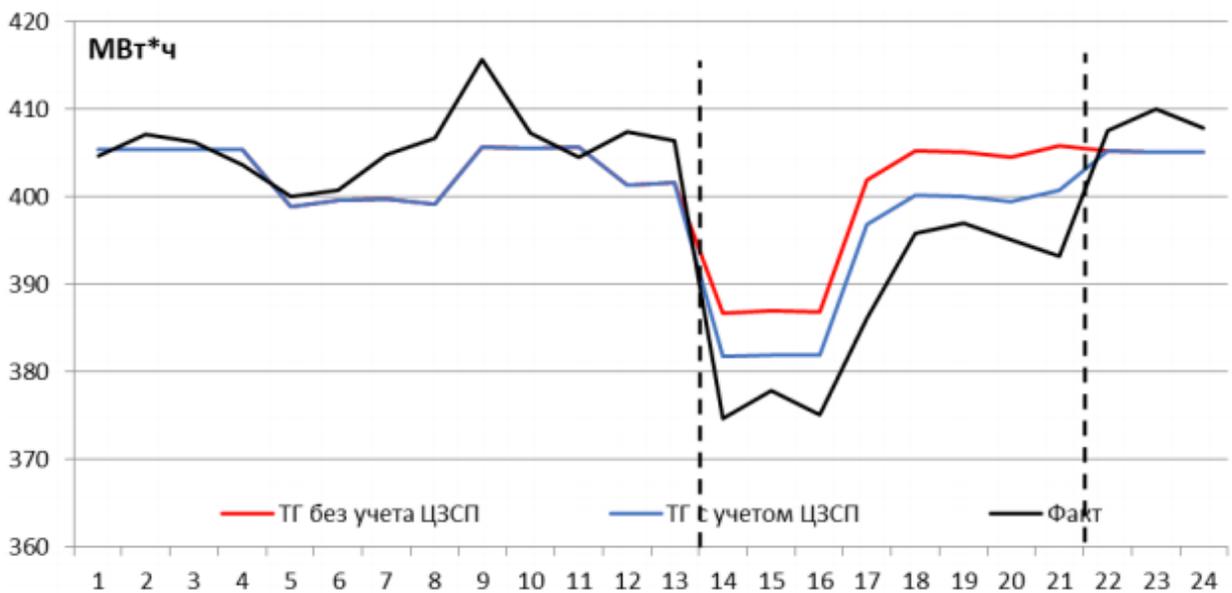


Рисунок 15 - Режим работы потребителей за 27.02.2020

27.03.2020 в период с 9 по 16 час включительно произведено ценозависимое тестовое снижение потребление электроэнергии. В период проведения тестирования фактическая величина потребления электроэнергии была снижена на величину от 5 МВт·ч.[15] Полученные результаты применения механизма ценозависимого снижения потребления электроэнергии относительно плановых показателей отбора мощности и влияние на ценовые показатели электроэнергии, а также фактический режим потребления по группе точек поставки более подробно представлены рисунке 16.

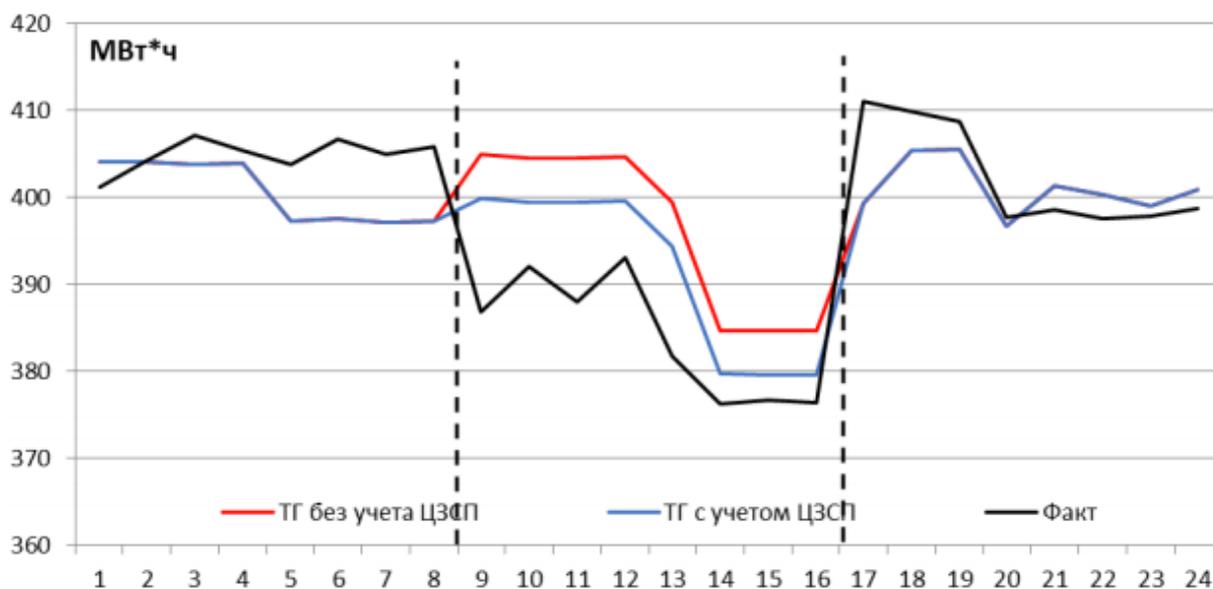


Рисунок 16 - Режим работы потребителей за 27.03.2020

01.06.2020 в период с 9 по 16 час включительно произведено ценозависимое тестовое снижение потребление электроэнергии. В период проведения тестирования фактическая величина потребления электроэнергии была снижена на величину от 5 МВт·ч.[14] Полученные результаты применения механизма ценозависимого снижения потребления электроэнергии относительно плановых показателей отбора мощности и влияние на ценовые показатели электроэнергии, а также фактический режим потребления по группе точек поставки более подробно представлены рисунке 17.

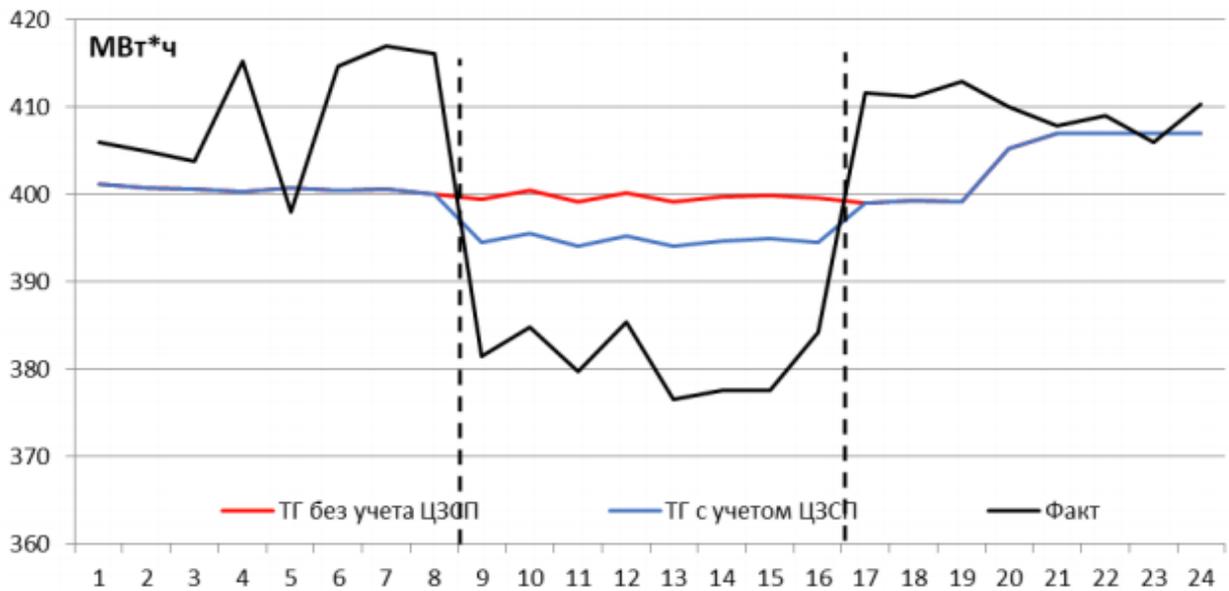


Рисунок 17 - Режим работы потребителей за 01.06.2020

08.06.2020 в период с 9 по 16 час включительно произведено ценозависимое тестовое снижение потребление электроэнергии. В период проведения тестирования фактическая величина потребления электроэнергии была снижена на величину от 5 МВт·ч.[14] Полученные результаты применения механизма ценозависимого снижения потребления электроэнергии относительно плановых показателей отбора мощности и влияние на ценовые показатели электроэнергии, а также фактический режим потребления по группе точек поставки более подробно представлены рисунке 18.

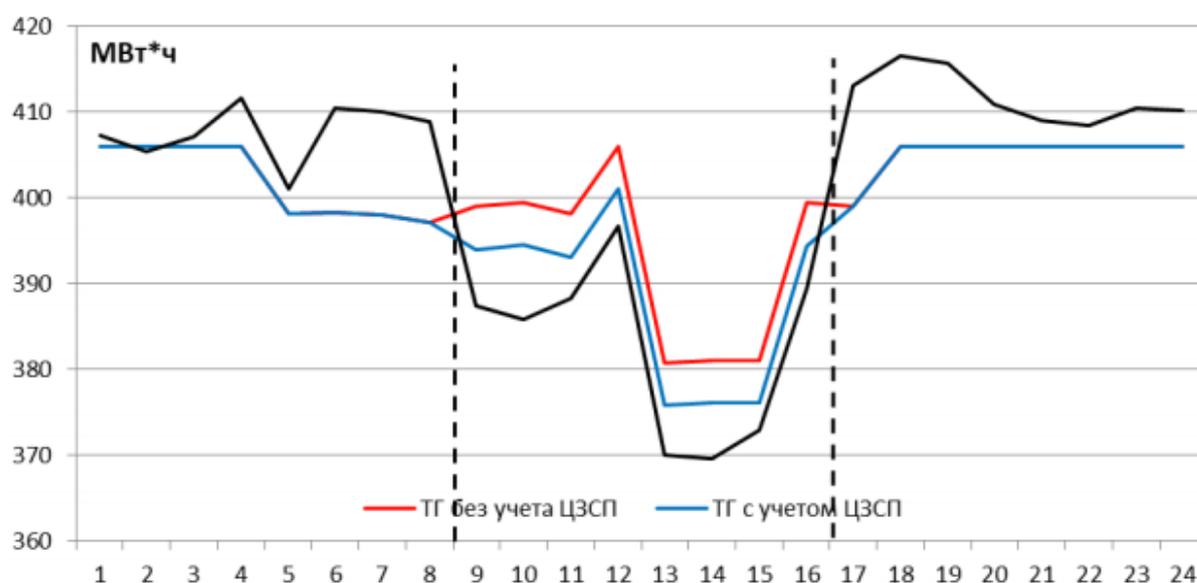


Рисунок 18 - Режим работы потребителей за 08.06.2020

15.06.2020 в период с 11 по 18 час включительно произведено ценозависимое тестовое снижение потребление электроэнергии. В период проведения тестирования фактическая величина потребления электроэнергии была снижена на величину от 5 МВт·ч.[14] Полученные результаты применения механизма ценозависимого снижения потребления электроэнергии относительно плановых показателей отбора мощности и влияние на ценовые показатели электроэнергии, а также фактический режим потребления по группе точек поставки более подробно представлены рисунке 19.

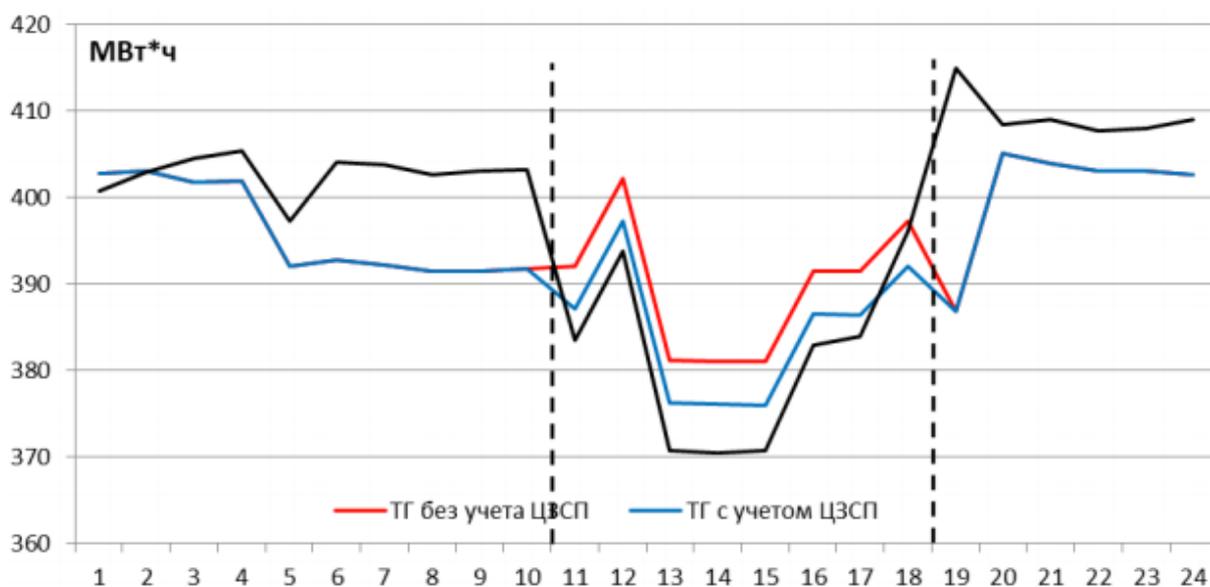


Рисунок 19 - Режим работы потребителей за 15.06.2020

22.06.2020 в период с 9 по 16 час включительно произведено ценозависимое тестовое снижение потребление электроэнергии. В период проведения тестирования фактическая величина потребления электроэнергии была снижена на величину от 5 МВт·ч.[14] Полученные результаты применения механизма ценозависимого снижения потребления электроэнергии относительно плановых показателей отбора мощности и влияние на ценовые показатели электроэнергии, а также фактический режим потребления по группе точек поставки более подробно представлены рисунке 20.

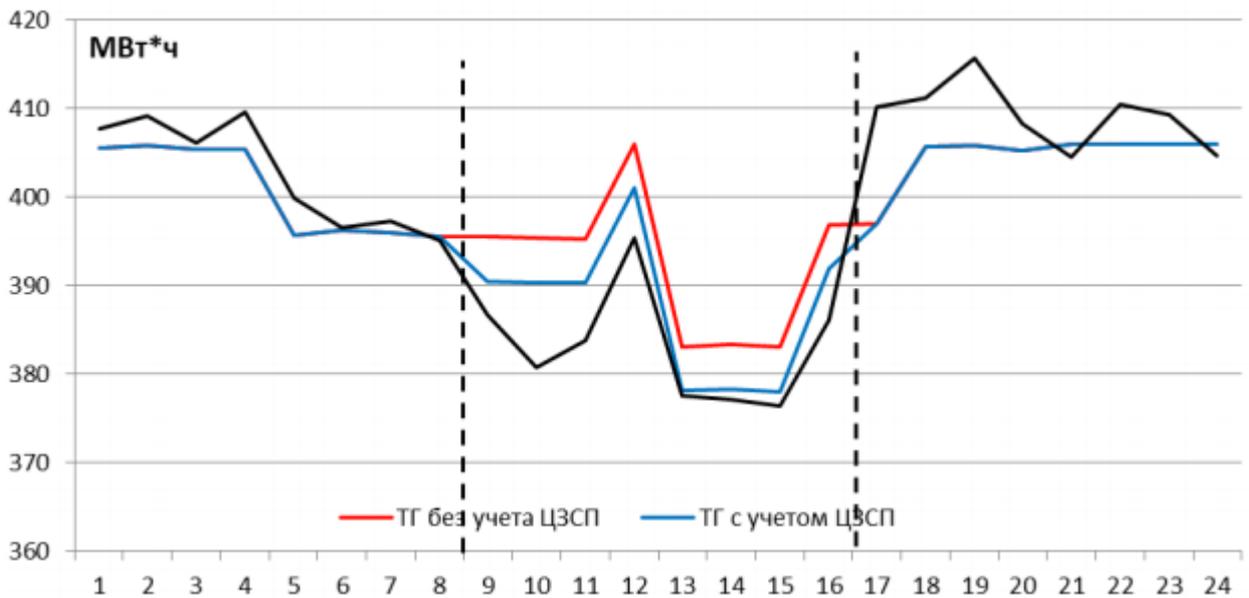


Рисунок 20 - Режим работы потребителей за 22.06.2020

30.06.2020 в период с 13 по 20 час включительно произведено ценозависимое тестовое снижение потребление электроэнергии. В период проведения тестирования фактическая величина потребления электроэнергии была снижена на величину от 5 МВт·ч.[14] Полученные результаты применения механизма ценозависимого снижения потребления электроэнергии относительно плановых показателей отбора мощности и влияние на ценовые показатели электроэнергии, а также фактический режим потребления по группе точек поставки более подробно представлены рисунке 21.

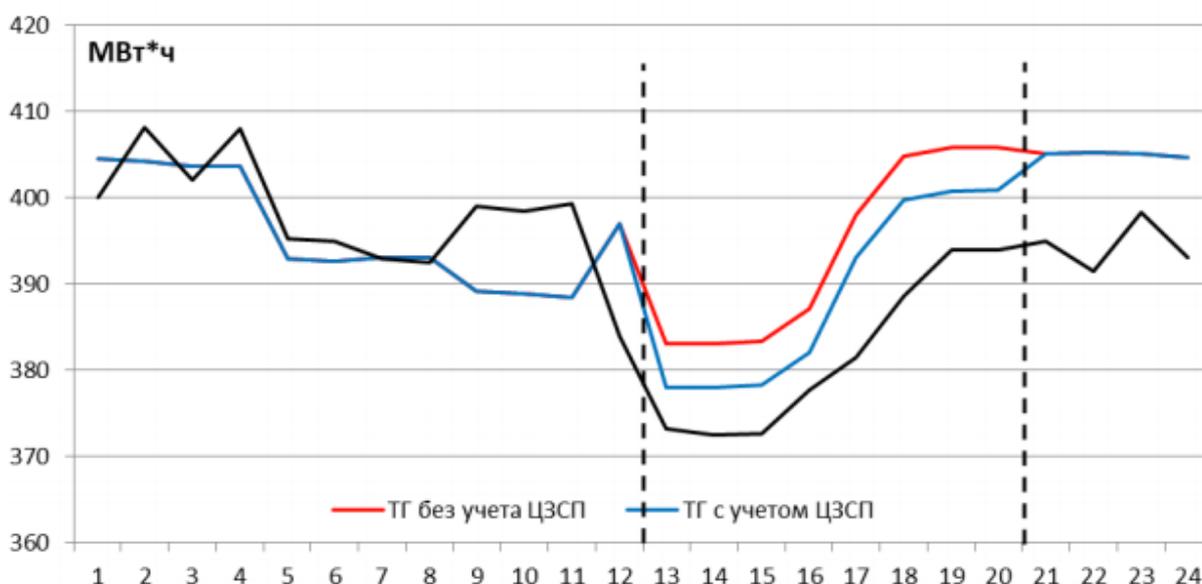


Рисунок 21 - Режим работы потребителей за 30.06.2020

15.07.2020 в период с 11 по 18 час включительно произведено ценозависимое тестовое снижение потребление электроэнергии. В период проведения тестирования фактическая величина потребления электроэнергии была снижена на величину от 5 МВт·ч.[13] Полученные результаты применения механизма ценозависимого снижения потребления электроэнергии относительно плановых показателей отбора мощности и влияние на ценовые показатели электроэнергии, а также фактический режим потребления по группе точек поставки более подробно представлены рисунке 22.

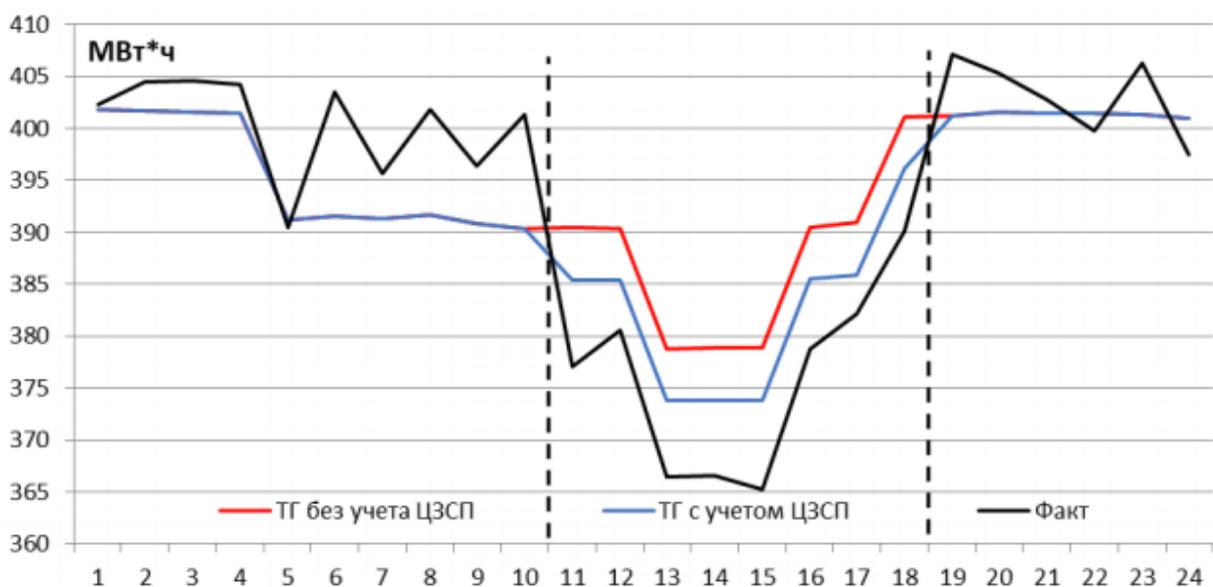


Рисунок 22 - Режим работы потребителей за 15.07.2020

22.07.2020 в период с 13 по 20 час включительно произведено ценозависимое тестовое снижение потребление электроэнергии. В период проведения тестирования фактическая величина потребления электроэнергии была снижена на величину от 5 МВт·ч.[13] Полученные результаты применения механизма ценозависимого снижения потребления электроэнергии относительно плановых показателей отбора мощности и влияние на ценовые показатели электроэнергии, а также фактический режим потребления по группе точек поставки более подробно представлены рисунке 23.

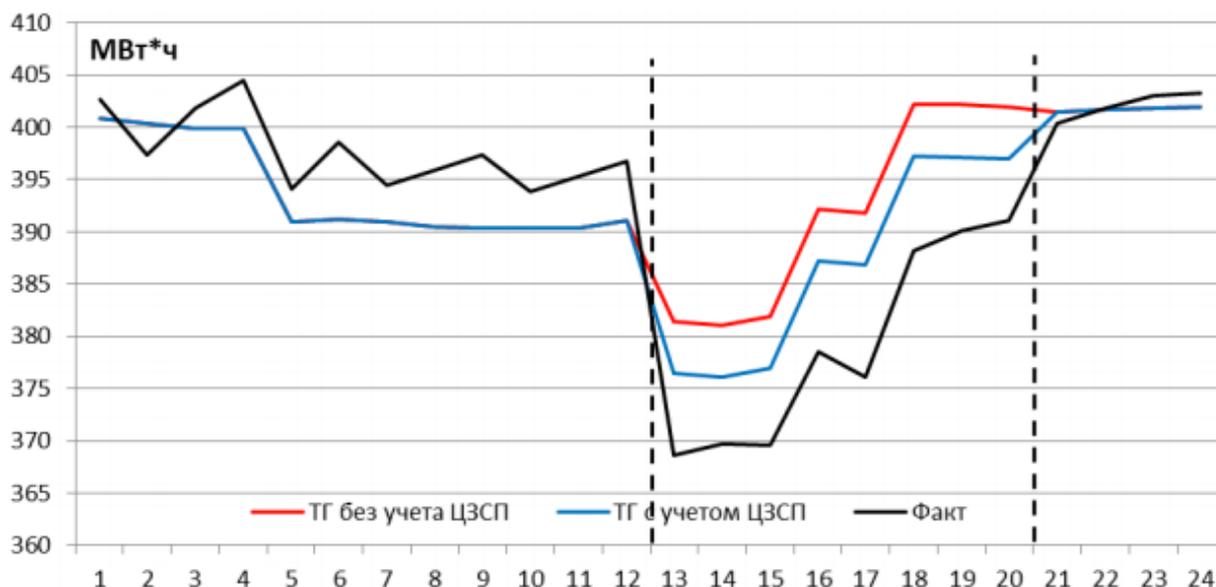


Рисунок 23 - Режим работы потребителей за 22.07.2020

29.07.2020 в период с 12 по 19 час включительно произведено ценозависимое тестовое снижение потребление электроэнергии. В период проведения тестирования фактическая величина потребления электроэнергии была снижена на величину от 5 МВт·ч.[13] Полученные результаты применения механизма ценозависимого снижения потребления электроэнергии относительно плановых показателей отбора мощности и влияние на ценовые показатели электроэнергии, а также фактический режим потребления по группе точек поставки более подробно представлены рисунке 24.

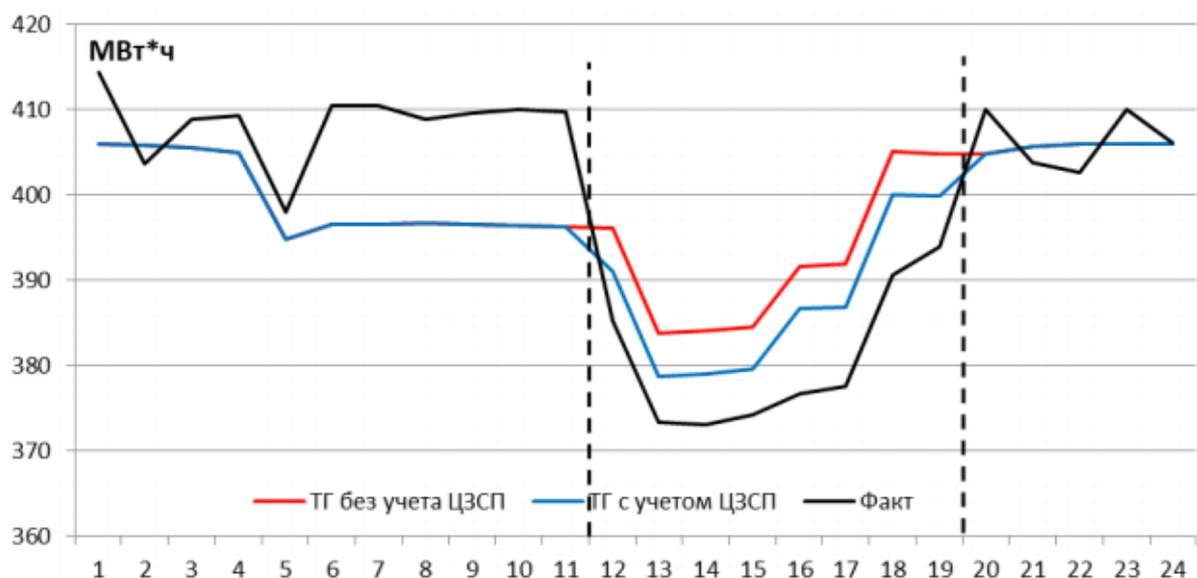


Рисунок 24 - Режим работы потребителей за 29.07.2020

28.01.2021 в период с 11 по 18 час включительно произведено ценозависимое тестовое снижение потребление электроэнергии. В период проведения тестирования фактическая величина потребления электроэнергии была снижена на величину от 49 до 69 МВт·ч.[22] Полученные результаты применения механизма ценозависимого снижения потребления электроэнергии относительно плановых показателей отбора мощности и влияние на ценовые показатели электроэнергии, а также фактический режим потребления по группе точек поставки более подробно представлены рисунке 25.

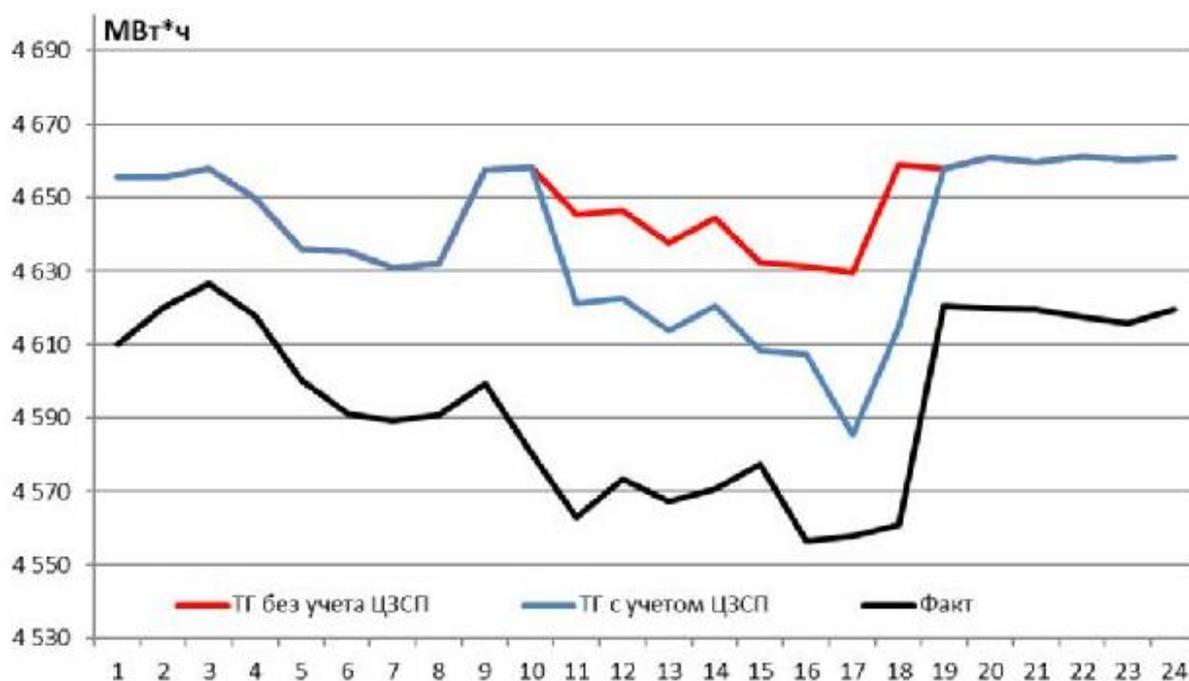


Рисунок 25 - Режим работы потребителей за 28.01.2021

25.02.2021 в период с 6 по 13 час включительно произведено ценозависимое тестовое снижение потребление электроэнергии. В период проведения тестирования фактическая величина потребления электроэнергии была снижена на величину от 49 до 69 МВт·ч.[20] Полученные результаты применения механизма ценозависимого снижения потребления электроэнергии относительно плановых показателей отбора мощности и влияние на ценовые показатели электроэнергии, а также фактический режим потребления по группе точек поставки более подробно представлены рисунке 26.

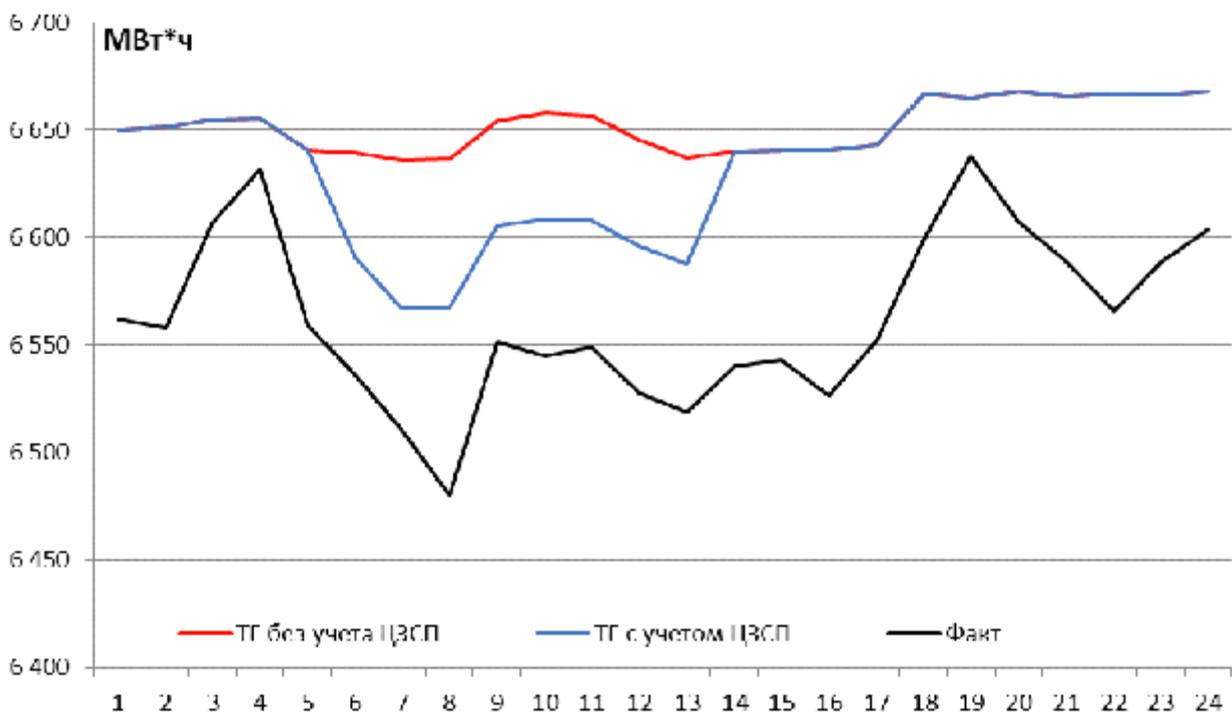


Рисунок 26 - Режим работы потребителей за 25.02.2021

Выводы по разделу

В данном разделе изучено управление спросом в России. Проведено изучение технологии ценозависимого снижения потребления. Проведен анализ технологии ценозависимого снижения потребления.

Вовлечение оптовых потребителей в управление спросом заключается, в основном, в допуске таких потребителей к участию во всех сегментах рынка с формированием необходимых экономических стимулов. Однако этих мер недостаточно для вовлечения в управление спросом розничных потребителей в связи с тем, что:

- правила работы оптовых рынков слишком сложны для розничного потребителя,
- отсутствует интерфейс между инфраструктурой оптового рынка и потребителем розничного рынка.

3 Разработка системы расчета графика потребления электроэнергии

3.1 Область применения

На сегодняшний день возросла потребность предприятий в более специализированных системах расчёта потребления электроэнергии. Наиболее простым и эффективным решением данной задачи является создание автоматизированной системы, обеспечивающей обработку, анализ и расчёт данных по потреблению электроэнергии.

Информационные системы сегодня играют стратегическую роль, так как помогают организации получить преимущества. Информационные системы обеспечивают сбор, хранение, обработку, поиск, выдачу информации, необходимой в процессе принятия решений задач. Если говорить коротко, то преимущества информационных систем сводятся к следующим ключевым понятиям: быстрее, лучше и больше.

Программное обеспечение может быть реализовано с использованием определенной архитектуры. Наиболее распространенной архитектурой для реализации является клиент-серверная архитектура.

В соответствии с ГОСТ 34.321-96 «Эталонная модель управления данными» существует несколько вариантов архитектур приложений, наиболее соответствующей требованиям к модулю является модель экспорта-импорта.

Модель экспорта-импорта является специализированной общей моделью.

Использование услуги экспорта требует определения данных, которые должны экспортироваться из среды базы данных: экземпляры конкретного типа данных, число типов данных или данные вместе с соответствующими определениями схем. Файл должен быть переименован. Должен быть выбран тип формата файла, соответствующий определенным данным.

Составляющими архитектурной модели экспорта-импорта являются:

- пользователь (лицо или программа, которые заказывают услуги для управления данными);
- процессор пользователя (процессор, который обеспечивает услуги управления для своих клиентов);
- контроллер базы данных (абстрактное представление для набора услуг, которые согласованы с конкретными средствами моделирования данных и реализуют его);
- процессор экспорта-импорта (объект, обеспечивающий конкретное применение совокупности команд для экспорта или импорта данных из базы в необходимый формат);
- схема базы данных (формальное описание данных в соответствии с конкретной схемой данных, то есть логическим представлением организации данных);
- файл экспорта-импорта.

Архитектурная модель экспорта и импорта основывается на декомпозиции, которая разделяет контроллеры базы данных, обеспечивающие услуги для любых типов среды базы данных из процессора экспорта-импорта, который обеспечивает требуемые услуги. Использование услуг экспорта и импорта может быть параллельными с другими услугами контроллера распределенной базы данных [3].

3.2 Анализ необходимого инструментария

При проектировании системы расчёта необходимо провести просмотр современных методов и технологий, позволяющих обеспечить создание удобного и понятного интерфейса взаимодействия[11].

Для выбора инструментария разработки, определяются основные функции будущей системы. Использование современных подходов и

технологий разработки ПО позволит снизить количество ошибок и сократить время, затрачиваемое на реализацию и тестирование.

Система расчёта должна выполнять следующие функции:

- возможность осуществления входа с определенным уровнем доступа,
- возможность выбора варианта отчета,
- возможность моделирования нового отчета,
- возможность непосредственного создания отчета,
- возможность архивации созданных отчетов,
- возможность редактирования существующих отчетов,
- возможностью экспорта документов в формат Microsoft Office Word и Microsoft Office Excel,
- возможность расширения формы ввода данных,
- возможность корректировки имеющейся информации.

Работа в системе предполагается в трех режимах, приведенных в таблице 3, с учетом разработчика данных модулей.

Таблица 3 – Режимы работы приложения

| Режим работы | Роли |
|-------------------------------|---------------|
| Режим управления данными | Модератор |
| Режим администрирования | Администратор |
| Режим формирования отчетности | Пользователь |

С точки зрения администратора целесообразно выделить С-требования, которые напрямую относятся к его работе:

- возможность выбора режима работы,
- возможность расширения формы ввода данных,
- возможность корректировки имеющейся информации.

С точки зрения пользователя к С-требованиям относятся:

- возможность выбора вида вводимых данных (для ряда отчетов – личные данные, данные по конференциям и публикациям);

- возможность ввода информации в систему;
- возможность изменения введенных данных;
- интуитивно-понятный интерфейс.

В силу того, что данные, необходимые для отчетности меняются из года в год, то и форма заполнения соответствующей информации не должна быть статичной, а должна моделироваться в зависимости от выдвигаемых требований не только программно (вручную) но и посредством визуальных данных.

Таким образом, предполагается, что Администратор будет расширять ту или иную форму для дальнейшего ввода данных Пользователем или Модератором.

До того как Администратор или Модератор будет осуществлять ввод необходимых данных или расширять существующую форму, ему необходимо выбрать соответствующую панель для дальнейших действий.

В процессе работы с информацией Модератор должен иметь возможность подкорректировать ранее существующие данные и заменить соответствующие.

Одной из основных задач в рассматриваемом случае является формирование отчетности, т.е. фактически для решения данной задачи нужно пройти следующие этапы: ввод данных, корректировка данных, моделирование формата отчета, выбор вида отчета, создание отчета, экспорт данных в необходимые форматы.

При дальнейшей работе, после обработки данных на выходе должны иметь сформированный отчет, представленный в виде документа MS Word или MS Excel. Начальный этап проектирования заключается в сборе и анализе входных данных, на котором осуществляется сбор и контроль качества результатов анализа предметной области базы данных. Для этого необходимо собрать необходимые отчеты, создание которых планируется автоматизировать.

Для взаимодействия пользователя с системой требуется графический веб-интерфейс. Помимо интерфейса в приложении будет находиться вся логика взаимодействия пользователя с системой, так и средства связи с системой управления базами данных. Для создания этого необходима технология создания веб-приложений. Некоторыми технологиями создания веб-приложений являются ASP.NET и PHP.

Для выбора технологии создания веб-приложений проводится сравнение этих технологий по определенным критериям (таблица 4) [5,23].

Таблица 4 – Сравнение технологий (оценка по критерию от 0 до 10)

| Критерии | Технологии | |
|-----------------------------|------------|-------|
| | ASP.NET 5 | PHP 8 |
| Уровень знания разработчика | 10 | 3 |
| Скорость работы | 9 | 7 |
| Поддержка ООП | 9 | 7 |
| Сообщество разработчиков | 9 | 9 |
| Статическая типизация | 10 | 1 |
| Итого | 47 | 27 |

Скорость работы – скорость работы приложений, созданных с помощью определенной технологии. Скорость определяется в зависимости от того, является ли язык интерпретированным или компилируемым.

Поддержка ООП – степень использования парадигмы объектно-ориентированного программирования.

Сообщество разработчиков – размер аудитории, которая разрабатывает и поддерживает, использует данный язык или технологию программирования.

Статическая типизация – приём, широко используемый в языках программирования, при котором переменная, параметр подпрограммы, возвращаемое значение функции связывается с типом в момент объявления и тип не может быть изменён позже (переменная или параметр будут принимать, а функция – возвращать значения только этого типа).

В результате проведенного анализа (таблица 4), для реализации системы расчёта был выбран язык программирования ASP.NET. Это язык программирования имеет наибольшую оценку согласно предъявляемым требованиям. Важным фактором является опыт разработчика веб-приложений на ASP.NET. В дополнение можно сказать, что для разработки на ASP.NET имеется специальная бесплатная версия среды разработки Microsoft Visual Studio – Microsoft Visual Studio Web Developer.

Преимуществами рассматриваемой технологии являются [1]:

- программный код компилируется, а не интерпретируется,
- перекомпиляция происходит автоматически при перезагрузке приложения или изменения соответствующего кода,
- отделение кода от дизайна сайта.

Основными языками разработки проектов ASP.NET являются: Visual Basic; C#; J#. При выборе одного из этих языков, следует отметить, что для данной задачи разницы нет: функциональные возможности любого языка практически идентичны; каждый из языков работает с единой библиотекой .NET Framework; для любой страницы при необходимости можно добавить ссылку на сборку .NET, Web-службу или COM-компонент на компьютере, написанный на любом языке. Поэтому с точки зрения выбора языков программирования можно выбирать любой язык, который наиболее привычен разработчику [2].

Неотъемлемой функцией систем учёта и анализа является хранение данных о пользователях и их действиях в системе, а также настроек системы. Выбор конкретной архитектуры построения информационной системы включает два основных компонента: выбор серверной платформы (выбор серверной операционной системы и системы управления базами данных) и выбор платформ для клиентских рабочих мест. Остановимся на особенностях выбора конкретной системы управления базами данных.

Решение задачи сбора и хранения информации является первостепенной при разработке модуля информационной системы,

включающая базу данных. Грамотное проектирование базы данных повышает вероятность того, что разрабатываемый модуль будет удовлетворять заданным функциональным и информационным требованиям, описанным в разделе формирования требований. Таким образом, база данных является сложным объектом, объединяющим аппаратное обеспечение, программное обеспечение, информацию в виде данных и персонал.

Для достижения цели можно выделить задачи, содержание которых будет совпадать этапами процесса разработки базы данных, поддерживаемых CASE-технологиями [7]:

- моделирование и анализ деятельности пользователей в рамках предметной области,
- концептуальное моделирование,
- реляционное моделирование,
- генерация схемы базы данных,
- генерация прототипов программных модулей по иерархии функций и потокам данных.

При выборе системы управления базами данных очень важно выбрать ту, которая в наибольшей степени соответствуют предъявляемым к информационной системе требованиям:

- взаимодействие с ASP.NET,
- наличие бесплатной версии,
- доступность документации и информации о системах управления базами данных в Интернете,
- возможность доступа к данным через web-интерфейс.

На сегодня известно большое число различных систем управления базами данных. Остановимся более подробно на следующих трех серверных системах управления базами данных – Oracle, Microsoft SQL Server и MySQL [6,10]. Анализ систем управления базами данных приведен в таблице 5.

Таблица 5 – Сравнение систем управления базами данных (оценка по критерию от 0 до 10)

| Критерии | Система управления базами данных | | |
|-----------------------------|----------------------------------|--------------------|-----------|
| | MySQL 8.0.23 | MS SQL Server 2019 | Oracle 19 |
| Взаимодействие с ASP.NET | 4 | 10 | 4 |
| Уровень знания разработчика | 5 | 10 | 3 |
| Наличие бесплатной версии | 10 | 5 | 5 |
| Поддержка web-интерфейса | 10 | 10 | 10 |
| Итого | 29 | 35 | 22 |

По техническим характеристикам все сравниваемые базы данных удовлетворяют техническим требованиям, необходимым для бесперебойной и быстрой работы системы. Но для интеграции с клиент-серверной технологией и сторонним Web-интерфейсом на основе ASP.NET, система управления базами данных MySQL и система управления базами данных Oracle, не удовлетворяют предъявляемым требованиям, так как они требуют сторонних библиотек для взаимодействия с технологией ASP.NET.

При дальнейшей работе, после обработки данных на выходе должны иметь сформированный отчет, представленный в виде документа MS Word или MS Excel. Начальный этап проектирования заключается в сборе и анализе входных данных, на котором осуществляется сбор и контроль качества результатов анализа предметной области базы данных. Для этого необходимо собрать необходимые отчеты, создание которых планируется автоматизировать.

Хотя система управления базами данных MS SQL Server и является коммерческим продуктом, что экономически не является практичным для дипломного проекта, существует бесплатная версия MS SQL Express Server, которая также отвечает поставленным функциональным требованиям к системам управления базами данных, поэтому для реализации системы хранения была выбрана система управления базами данных MS SQL Server. Так как процесс формирования отчетности является динамическим и шаблоны отчетов меняются каждый год, создание статической формы ввода

является нецелесообразным. Режим администрирования и подразумевает собой расширения ввода данных. Использование XML-технологии позволят создавать более сложную структуру базы данных, тем самым расширяя возможности формирования отчета.

Выбрана клиент-серверная архитектура для системы расчёта, которая позволит реализовать учёт и анализ данных. Дополнительным преимуществом этой архитектуры является простая масштабируемость. Использование другой архитектуры приведет к отрицательной избыточности программного кода и усложнит развертывание системы. Для создания системы расчёта выбрана технология создания веб-приложений ASP.Net, так как данная технология полностью удовлетворяет требованиям заказчика. В качестве системы управления базами данных выбрана MS SQL Server 2019, так как имеет наибольшую оценку согласно предъявляемым критериям.

3.3 Прикладной программный интерфейс балансирующего рынка

Для получения информации о ценах на рынке на сутки вперед необходимо использовать прикладной программный интерфейс сайта балансирующего рынка. Прикладной программный интерфейс сайта балансирующего рынка предназначен для приёма запросов от внешних систем.

Прикладной программный интерфейс реализуется в виде web-сервиса с использованием технологии Windows Communication Foundation (платформа для создания приложений, ориентированных на службы). Для работы сервиса требуется среда .NET Framework 4.0. При поступлении некоторого запроса от внешней системы создается отдельный экземпляр сервиса, отвечающий за обработку только этого запроса. Передача данных между процессами обработки разных запросов даже одного клиента не осуществляется. Работа ведётся по принципу «принял команду – обработал – отправил ответ – забыл (освободил ресурсы)».

Сложные типы данных, применяемые в прикладном программном интерфейсе сайта балансирующего рынка:

а) `DataInterval` – интервал, за который должны быть возвращены данные – перечисление:

- 1) `Day (0)` – день;
- 2) `Week (1)` – неделя;
- 3) `Month (2)` – месяц;

б) `RequestType` – тип заявки:

- 1) `Hour (0)` – часовая;
- 2) `Day (1)` – дневная;
- 3) `BiInterval (2)` – биинтервальная;

в) `RequestKind` – вид заявки:

- 1) `OSCPZ (0)` – ОЦПЗ (Оперативная ценопринимающая заявка);
- 2) `Price (1)` – Ценовая заявка;

г) `SessionState` – статус сессии:

- 1) `OpenForRequest (0)` – Открыта для приема заявок;
- 2) `CloseForRequest (1)` – Закрыта для приема заявок;
- 3) `Accepted (2)` – Акцептирована;
- 4) `Unvisible (3)` – Невидима. Этот статус сессия получает при создании во время загруз-ки данных;

д) `GtpType` – тип ГТП:

- 1) `Generator (0)` – ГТП Генерации;
- 2) `Consumer (1)` – ГТП Потребления;

е) `ReturnType` – вид, в котором следует вернуть результат – перечисление:

- 1) `Json (0)` – строка в формате JSON;
- 2) `Xml (1)` – строка в формате XML;
- 3) `Csv (2)` – строка в формате CSV;

ж) `DateHourFilter` – комбинированный фильтр по дате и по часу – класс с полями:

- 1) Date (DateTime) – дата;
 - 2) Hour (int) – час;
- з) DictionaryElement<T> – элемент справочника в общем виде – класс с полями:
- 1) Id (T) – идентификатор элемента справочника;
 - 2) Name (string) – наименование элемента справочника;
- и) EgoByGtp – коллекция ЕГО, сгруппированная по ГТП – класс с полями:
- 1) DictionaryElement<string> – ГТП;
 - 2) IList<DictionaryElement<int>> – коллекция ЕГО;
- к) EgoByRge – коллекция ЕГО, сгруппированная по РГЕ – класс с полями:
- 1) DictionaryElement<int> – РГЕ;
 - 2) IList<DictionaryElement<int>> – коллекция ЕГО;
- л) EgoByStation – коллекция ЕГО, сгруппированная по станциям – класс с полями:
- 1) DictionaryElement<string> – станция;
 - 2) IList<DictionaryElement<int>> – коллекция ЕГО;
- м) EgoGroupsByGtp – коллекция групп ЕГО, сгруппированная по ГТП – класс с полями:
- 1) DictionaryElement<string> – ГТП;
 - 2) IList<DictionaryElement<string>> – коллекция групп ЕГО;
- н) EgoGroupsByRge – коллекция групп ЕГО, сгруппированная по РГЕ – класс с полями:
- 1) DictionaryElement<int> – РГЕ;
 - 2) IList<DictionaryElement<string>> – коллекция групп ЕГО;
- о) EgoGroupsByStation – коллекция групп ЕГО, сгруппированная по станциям – класс с полями:
- 1) DictionaryElement<string> – станция;
 - 2) IList<DictionaryElement<string>> – коллекция групп ЕГО;

- п) RegionKey – ключ региона - класс с полями:
- 1) SubjectID(string)- идентификатор субъекта РФ;
 - 2) PowerSystemID(int?) – идентификатор ОЭС;
- р) SessionInfo – Информация о сессии – класс с полями:
- 1) SessionID<int> - идентификатор сессии;
 - 2) SessionDate< DateTime> - дата и время сессии;
 - 3) SessionNumber<int> - номер сессии;
 - 4) SessionState <int> - состояние сессии;
- с) GtpRequestData – Данные о заявке - класс с полями:
- 1) REQUEST_ID<int> - идентификатор заявки;
 - 2) SESSION_ID<int> - идентификатор заявки;
 - 3) GTP_ID<string> - идентификатор ГТП;
 - 4) SECHENIE_ID<int> - идентификатор сечения;
 - 5) IS_SIGNED<bool> - флаг подписи заявки;
 - 6) TYPE<int> - тип заявки;
 - 7) TIMESTAMP<DateTime> - временная метка;
 - 8) X509_ID<string> - идентификатор сертификата;
 - 9) SIGNED_DATE<DateTime?> - дата подписи заявки;
 - 10) SIGN_OWNER<string> - метка владельца подписи;
 - 11) REQUEST_KIND<int> - вид заявки;
 - 12) SIGN<string> - подпись;
- т) GtpRequestIntervalData – данные интервала заявки – класс с полями:
- 1) REQUEST_ID<int> - идентификатор заявки;
 - 2) INTERVAL<int> - номер интервала;
 - 3) OCPU<float?> - значение на повышение;
 - 4) OCPS<float?> - значение на понижение;
 - 5) Pmin<float?> - значение минимальной мощности;
 - 6) Vmin<float?> - значение минимального объема;
 - 7) Pmid<float?> - значение средней мощности;
 - 8) Vmid<float?> - значение среднего объема;

- 9) Pmax<float?> - значение максимальной мощности;
- 10) Vmax<float?> - значение максимального объема;
- у) GtpInfo – информация о ГТП/Сечении – класс с полями:
 - 1) GtpID<string> - идентификатор ГТП;
 - 2) SechenieId<int> - идентификатор сечения;
 - 3) Name<string> - наименование;

3.4 Разработка пользовательского интерфейса

Разработка пользовательского интерфейса ведется параллельно разработке программного продукта. Процесс разработки эргономичного пользовательского интерфейса разбивается на два этапа – постановку задачи и высокоуровневое проектирование [4]:

Постановка задачи включает:

- формализацию контекста использования,
- формализацию объективных критериев успеха,
- анализ целей,
- формализацию бизнес-ролей пользователей,
- формализацию сценариев действий пользователей.

Функциональность проектируемой системы разделяется на несколько ролей пользователей. Разные пользователи используют различные блоки функциональности. Соответственно навигация по системе должна учитывать выделенные бизнес-роли. Функционал необходимый для отображения в анализе требования к разрабатываемой системе в разделе.

Формализация сценариев действий пользователей. В результате формализации получим словесное описание взаимодействия пользователя с системой. Рассмотрим сценарий обращения преподавателя к системе. При дальнейшей разработке может быть изменено количество полей и порядок их следования;

Высокоуровневое проектирование предполагает проектирование структуры экранов системы. Общими для всех пользователей будет форма авторизации и выбор раздела для внесения данных. В зависимости от роли пользователя и выбранного раздела будут открываться формы.

При дальнейшей разработке возможно изменение количества форм для более наглядного предоставления информации.

3.5 Формализация задач Web-сервиса

Задачи Web-сервиса:

а) предоставление доступа к профилю пользователя через сеть Интернет:

- 1) предоставление пользовательского интерфейса посредством тонкого клиента (браузер);
- 2) авторизация входа пользователя в систему;
- 3) ввод данных;
- 4) формирование отчетов;
- 5) формирование расчётов;

б) обеспечение взаимодействия с базой данных системы;

в) хранение данных системы;

г) администрирование системы:

- 1) просмотр информации о пользователях;
- 2) регистрация пользователей;
- 3) редактирование информации о пользователях;
- 4) формирование отчетов.

Функциональность проектируемой системы разделяется на несколько ролей пользователей. Разные пользователи используют различные блоки функциональности. Соответственно навигация по системе должна учитывать выделенные бизнес-роли. Функционал необходимый для отображения в анализе требования к разрабатываемой системе в разделе.

Под предоставлением доступа к профилю пользователя через сеть Интернет подразумевают наличие средства для взаимодействия с системой. Для того чтоб пользователь смог работать в системе необходим пользовательский интерфейс взаимодействия с ней, который будет отображаться на тонком клиенте (браузере).

Для предоставления набора функций обычным пользователям и администраторам системы, необходима система авторизации, которая, посредством ввода логина и пароля, позволит определять роль неавторизованного пользователя. Администратору предоставляется функция редактирования информации о пользователях и формирование отчётов.

Вся информация о пользователях хранится в системе управления базами данных.

Во время работы с системой пользователь имеет возможность выйти из системы, не окончив ввод данных, или выйти из системы, сохранив ранее внесенные изменения. При дальнейшей разработке может быть изменено количество полей и порядок их следования.

3.6 Реализация пользовательского интерфейса

Главной задачей пользовательского интерфейса является предоставление средства взаимодействия пользователя с системой. Все веб-страницы состоят из двух основных блоков:

- навигационного меню сайта,
- рабочей области.

Навигационное меню отображает ссылки на информационные страницы приложения. На этих страницах хранится информация о пользователе, либо, в случае администратора, формы отчётов.

Функциональное меню администратора системы аналогично меню авторизованного пользователя, за исключением того, что администратор

выбирает пользователя, чью информацию ему необходимо посмотреть, а также может редактировать и удалять записи в информации о пользователях.

При разработке пользовательского интерфейса стоит уделить внимание ряду правил, разработанных американским специалистом в области проектирования интерфейсов Якобом Нильсеном (Jakob Nielsen) и исследователем Рольфом Моличем (Rolf Molich) [6].

К минимальным критериям, которым должен отвечать интерфейс программы относятся:

- информированность пользователя,
- равенство между системой и реальным миром,
- обода действий пользователя,
- предупреждение ошибок,
- эстетичный и минималистический дизайн,
- принцип последовательности, включающий.

Информированность пользователя предполагает, что он должен видеть, результат каждого действия: ввод данных, нажатие кнопки и т. п. Важно уделить внимание отсутствию перегруженности системы информационными сообщениями. С этой целью при вводе данных или их изменении пользователю открывается сообщение об успешности проделанной работы.

Равенство между системой и реальным миром состоит в том, что система должна общаться с пользователем на его языке, что означает использование понятий, образов и целых концепций, которые уже знакомы пользователю по реальному миру. Представление информации и объектов в программе должно быть организовано в естественном и логичном порядке. Название полей ввода и кнопок носят общепринятый для различного рода приложений вид, что позволяет пользователю быстро сориентироваться в новом интерфейсе.

Свобода действий пользователя заключается в том, что пользователь должен иметь контроль над системой и возможность изменить текущее состояние программы. Пользователь имеет возможность отменить процесс

заполнения данных, сохранить изменения и выйти из системы в любой момент времени.

Для предупреждения ошибок при заполнении данных происходит проверка на корректность вводимой информации. В случае неправильного ввода пользователю выводится сообщение об ошибке. Также при нажатии на кнопки перехода на следующий этап работы, в случае неполного заполнения формы на текущем этапе, выдается сообщение об ошибке, с возможными вариантами решения проблемы. Такой способ отслеживания ошибок ускоряет процесс работы пользователя с системой.

Принцип последовательности включает 3 момента:

- одинаковое расстояние между элементами управления,
- TabOrder – "Правильный" порядок,
- альтернативное управление.

Так как форма приложения представляет собой большой набор полей для ввода, соблюдение правильного порядка перехода при нажатии клавиши <Tab> является необходимым элементом. Альтернативное управление состоит в том, что работа с приложением может проводиться с использованием мыши и клавиатуры. При этом целесообразно воспользоваться стандартными комбинациями клавиш в Windows, приведенными в таблице 6.

Таблица 6 – Стандартные комбинации клавиш в Windows

| Действие | Комбинация клавиш |
|-----------------------------|-------------------|
| Сохранить | <Ctrl> + <S> |
| Печать | <Ctrl > + <P> |
| Отменить | <Ctrl> + <Z> |
| Вырезать | <Ctrl > + <X> |
| Копировать | <Ctrl > + <C> |
| Вставить (из буфера обмена) | <Ctrl> + <V> |
| Выделить все | <Ctrl> + <A> |
| Найти | <Ctrl> + <F> |
| Найти далее | <F3> |
| Обновить | <F5> |
| Справка | <F1> |

При проектировании пользовательского интерфейса также следует учесть прозрачность интерфейса и использование его стандартных элементов. Интерфейс должен быть легким для освоения и не создавать перед пользователем новую проблему.

Стоит сказать о том, что работа с системой предполагает среднюю подготовку пользователя и опыт работы с приложениями операционной системы Windows, которая является «законодателем мод» в индустрии массового программного обеспечения, поэтому целесообразно использовать стандартные элементы управления из библиотек для оформления стандартных функций Windows.

При генерации схемы базы данных важно указать набор SQL-операторов, описывающих создание схемы базы данных, с учетом особенностей системы управления базами данных. После разработки схемы базы данных, необходимо спроектировать пользовательский интерфейс приложения.

3.7 Модуль расчета графика потребления электроэнергии

Для участвующих в управлении спросом потребителей объем снижения потребления энергопринимающего устройства определяется путем сравнения сформированного математическими методами с использованием статистических данных базового графика потребления оборудования с информацией о фактическом потреблении. График базовой нагрузки – основной используемый метод, основанный на исторических результатах измерений интервальными счетчиками, это прогноз потребления, основанный на информации о потреблении в предыдущий период. Плюсы метода графика базовой нагрузки:

- подходит большому количеству потребителей,
- очень простой,
- устойчив к манипулированию,

– имеет обоснованные характеристики точности.

Для построения такого графика используются данные не менее 10 рабочих дней, предшествующих дню построения за исключением дней событий управления спросом, неготовности и отсутствия данных, затем высчитывается среднеарифметическое значение потребления для каждого часа по следующей формуле (1):

$$\bar{x}_t = \frac{\sum_{i=1}^n x_{ti}}{n}, \quad (1)$$

где \bar{x}_t – среднеарифметическое значение для каждого часа;

x_{ti} – значение потребления в час t и день i ;

n – количество дней.

Точность графика базовой нагрузки можно оценить, сравнивая его с фактическим потреблением в те дни, когда события управления спросом отсутствуют.

Рассмотрим более подробно построение графика базовой нагрузки. Пользователь загрузил данные фактического потребления электроэнергии за 10 рабочих дней, которые представлены в таблице 7. Высчитывается среднеарифметическое значение потребления в каждый час за все 10 дней (Σ в таблице 7).

Таблица 7 – Пользовательские данные по фактическому потреблению электроэнергии за 10 рабочих дней и среднеарифметическое потребления

| Время, ч | Фактическое потребление в указанный день, кВт | | | | | | | | | | Σ |
|----------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|
| | 08.02 | 09.02 | 10.02 | 11.02 | 14.02 | 15.02 | 16.02 | 17.02 | 18.02 | 19.02 | |
| 1 | 0,46 | 0,48 | 0,51 | 0,5 | 0,61 | 0,49 | 0,57 | 0,65 | 0,52 | 0,45 | 0,524 |
| 2 | 0,50 | 0,47 | 0,48 | 0,53 | 0,58 | 0,52 | 0,55 | 0,58 | 0,47 | 0,46 | 0,514 |
| 3 | 0,49 | 0,48 | 0,50 | 0,49 | 0,59 | 0,50 | 0,48 | 0,6 | 0,49 | 0,44 | 0,506 |
| 4 | 0,53 | 0,42 | 0,53 | 0,55 | 0,57 | 0,48 | 0,51 | 0,5 | 0,53 | 0,54 | 0,516 |
| 5 | 0,51 | 0,44 | 0,51 | 0,46 | 0,49 | 0,53 | 0,52 | 0,56 | 0,49 | 0,5 | 0,501 |

Продолжение таблицы 7

| | | | | | | | | | | | |
|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| 6 | 0,48 | 0,47 | 0,49 | 0,48 | 0,48 | 0,52 | 0,53 | 0,56 | 0,57 | 0,52 | 0,51 |
| 7 | 0,49 | 0,48 | 0,49 | 0,47 | 0,49 | 0,52 | 0,53 | 0,55 | 0,54 | 0,53 | 0,509 |
| 8 | 0,51 | 0,53 | 0,52 | 0,54 | 0,53 | 0,55 | 0,56 | 0,58 | 0,57 | 0,6 | 0,549 |
| 9 | 0,68 | 0,69 | 0,69 | 0,71 | 0,66 | 0,68 | 0,67 | 0,72 | 0,74 | 0,68 | 0,692 |
| 10 | 0,76 | 0,77 | 0,74 | 0,8 | 0,79 | 0,82 | 0,81 | 0,86 | 0,89 | 0,72 | 0,796 |
| 11 | 0,82 | 0,75 | 0,85 | 0,75 | 0,9 | 0,77 | 0,91 | 0,89 | 0,84 | 0,85 | 0,833 |
| 12 | 0,88 | 0,92 | 0,8 | 0,95 | 0,98 | 0,86 | 0,82 | 0,73 | 0,92 | 0,87 | 0,873 |
| 13 | 0,93 | 0,83 | 0,85 | 0,9 | 0,92 | 0,88 | 0,84 | 0,75 | 0,84 | 0,86 | 0,86 |
| 14 | 0,91 | 0,85 | 0,78 | 0,86 | 0,78 | 0,86 | 0,78 | 0,76 | 0,81 | 0,85 | 0,824 |
| 15 | 0,82 | 0,81 | 0,75 | 0,84 | 0,75 | 0,82 | 0,74 | 0,74 | 0,73 | 0,71 | 0,771 |
| 16 | 0,8 | 0,85 | 0,81 | 0,75 | 0,83 | 0,74 | 0,76 | 0,7 | 0,76 | 0,78 | 0,778 |
| 17 | 0,78 | 0,84 | 0,79 | 0,7 | 0,86 | 0,83 | 0,77 | 0,72 | 0,74 | 0,73 | 0,776 |
| 18 | 0,73 | 0,74 | 0,74 | 0,72 | 0,8 | 0,78 | 0,65 | 0,77 | 0,68 | 0,71 | 0,732 |
| 19 | 0,67 | 0,72 | 0,78 | 0,69 | 0,75 | 0,74 | 0,69 | 0,73 | 0,71 | 0,65 | 0,713 |
| 20 | 0,58 | 0,61 | 0,69 | 0,62 | 0,64 | 0,59 | 0,63 | 0,61 | 0,62 | 0,59 | 0,618 |
| 21 | 0,53 | 0,57 | 0,52 | 0,54 | 0,53 | 0,51 | 0,54 | 0,55 | 0,49 | 0,51 | 0,529 |
| 22 | 0,52 | 0,55 | 0,53 | 0,56 | 0,52 | 0,54 | 0,56 | 0,53 | 0,5 | 0,52 | 0,533 |
| 23 | 0,5 | 0,53 | 0,51 | 0,57 | 0,53 | 0,55 | 0,59 | 0,54 | 0,48 | 0,53 | 0,533 |
| 24 | 0,49 | 0,5 | 0,5 | 0,59 | 0,51 | 0,56 | 0,63 | 0,5 | 0,47 | 0,53 | 0,528 |

На основе полученных данных строится график базовой нагрузки. На рисунке 27 представлен график базовой нагрузки, построенный из данных в таблице 7, также на рисунке 27, для наглядности, представлены графики потребления по дням.

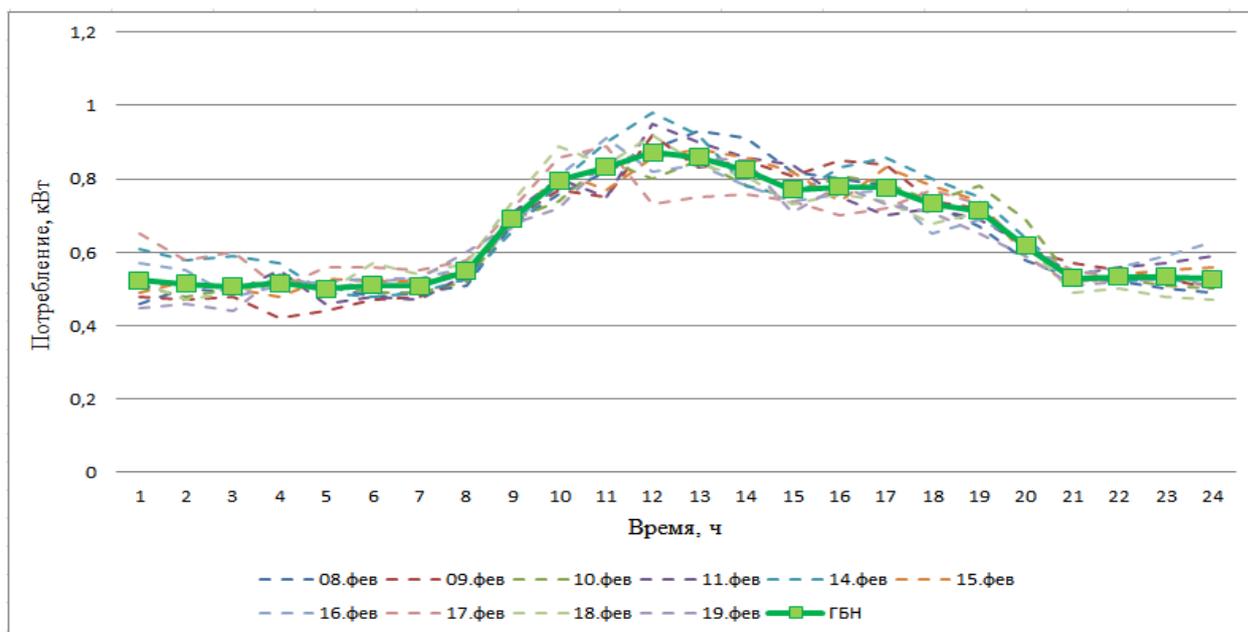


Рисунок 27 – Построение графика базовой нагрузки

Все данные, загруженные пользователями, хранятся в базе данных. За счёт накопления данных, пользователь может строить график базовой нагрузки за весь период, который он внёс или конкретную часть периода.

Обязательно стоит учитывать тот факт, что данный метод подходит не всем потребителям. Для подтверждения возможности применения данного метода необходимо чтобы относительное среднеквадратическое отклонение последних 20 построенных графиков базовой нагрузки составляло менее 0,25.

3.8 Стоимость разработки системы

Процесс создания данной системы подразумевает под собой работу инженера-программиста, затраты на приобретение инструментальных средств и затраты на электроэнергию. Таким образом, стоимость ИС будет рассчитываться по формуле (2):

$$C_c = C_{\text{работы}} + C_{\text{инст}} + C_{\text{эл}}, \quad (2)$$

где C_c – стоимость создания автоматизированной системы, руб.;

$C_{\text{работы}}$ – стоимость работы инженера-программиста, руб.;

$C_{\text{инст}}$ – стоимость аренды сервера;

$C_{\text{эл}}$ – затраты на электроэнергию.

Стоимость затрат на электроэнергию определяется как произведение потребляемой электроэнергии одним компьютером на стоимость одного кВт электроэнергии и время, выделяемое на создание продукта. Стоимость можно вычислить по формуле (3):

$$C_{\text{эл}} = P_{\text{эл}} \cdot C_{\text{кВт}} \cdot V_{\text{работы}}, \quad (3)$$

где $C_{\text{эл}}$ – стоимость затрат на электроэнергию, руб.;

$P_{эл}$ – потребляемая электроэнергия одним компьютером, кВт;

$C_{кВт}$ – стоимость одного кВт электроэнергии, руб.;

$V_{работы}$ – время, выделяемое на создание продукта, час.

Один компьютер в среднем потребляет 0,3 кВт в час, стоимость одного кВт электроэнергии составляет 2,2 руб., время, необходимое для создания системы составляет 320 рабочих часов. Подставим данные значения в формулу 3:

$$C_{эл} = 0,3 \cdot 2,2 \cdot 320 = 211,2 \text{ руб.}$$

Таким образом, стоимость затрат на электроэнергию составляет 211,2 рубля. Округлим до 212 рублей.

Стоимость работы инженера-программиста определяется как время, затраченное на проектирование и создание системы, умноженное на зарплату инженера-программиста за час работы. Стоимость можно вычислить по формуле:

$$C_{работы} = V_{зт} \cdot Z_{час}, \quad (4)$$

где $C_{работы}$ – стоимость работы инженера-программиста, руб.;

$V_{зт}$ – время, затраченное на создание системы, час;

$Z_{час}$ – зарплата инженера-программиста за час работы, руб.

Время, затраченное программистом на создание системы, составляет 320 часов, что равно 40 дням с 8-ми часовым рабочим днем. Почасовая оплата труда инженера-программиста определяется по формуле (5):

$$Z_{час} = \frac{O_{инж}}{Ч_{сп}}, \quad (5)$$

где $Z_{час}$ – почасовая оплата труда инженера-программиста, руб.;

$O_{\text{инж}}$ – средний оклад инженера-программиста, руб.;

$Ч_{\text{ср}}$ – среднее количество рабочих часов в месяц, час.

Средний оклад инженера-программиста составляет около 50000 руб.
Среднее количество рабочих часов в месяц можно вычислить по формуле (6):

$$Ч_{\text{ср}} = \frac{D_{\text{раб}}}{12} \cdot 8, \quad (6)$$

где $Ч_{\text{ср}}$ – среднее количество рабочих часов в месяц, час;

$D_{\text{раб}}$ – количество рабочих дней в году.

В 2021 году количество рабочих дней должно составить 247 дней, так как в 2021 году общее количество дней равно 365 дням, а количество выходных и праздничных дней равно 118 дням. Подставив эти значения в формулу 6 получим:

$$Ч_{\text{ср}} = \frac{247}{12} \cdot 8 \approx 165 \text{ часов}$$

Зная среднее количество рабочих часов в месяц, по формуле 5, найдём почасовую оплату труда инженера-программиста:

$$З_{\text{час}} = \frac{50000}{165} = 303 \text{ руб.}$$

Посчитав почасовую оплату труда инженера-программиста, по формуле 4, найдём стоимость работы инженера-программиста:

$$C_{\text{работы}} = 320 \cdot 303 = 96960 \text{ руб.}$$

Затраты на приобретение инструментальных средств представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Затраты на приобретение инструментальных средств

| Инструментальное средство | Стоимость, руб. |
|--|-----------------|
| Аренда сервера | 40000 |
| Лицензия на право использования СКЗИ "КриптоПро CSP" версии 5.0 на сервере | 37500 |
| Лицензия на право использования MS SQL Server Standart 2019 | 65000 |
| Лицензия на право использования Microsoft Visual Studio 2019 Professional | 35000 |
| Итого: | 177500 |

В итоге, подставив полученные значения в формулу (2) получаем, что стоимость разработки системы составляет:

$$C_c = 96960 + 177500 + 212 = 274672 \text{ руб.}$$

Обязательно необходимо учесть, что разработка системы подразумевает под собой ее внедрение и сопровождение.

Вывод по разделу

В данном разделе проведен анализ необходимого инструментария, приведена разработка пользовательского интерфейса, формализованы задачи web-сервиса системы, приведена реализация пользовательского интерфейса, описан модуль расчёта графика потребления электроэнергии, рассчитана стоимость разработки системы.

Построение системы на клиент-серверной архитектуре в виде веб-ресурса с доступом через сеть Internet предоставляет централизованное управление всеми функциями системы, которые будет осуществлять серверная часть, масштабируемость и дальнейшее развитие системы, за счет добавления дополнительных клиентских модулей и расширения функционала сервера.

Заключение

В магистерской диссертации рассмотрен мировой опыт применения технологий управления спросом, исследована работа технологии ценозависимого снижения потребления на оптовом рынке электроэнергии России, разработана системы расчёта графика потребления электроэнергии предприятием при ценозависимом снижении потребления, с помощью которой любой потребитель сможет рассчитать и скорректировать своё почасовое потребление с учётом рыночной цены на сутки вперёд.

Архитектура системы расчёта основана на клиент-серверной технологии с тонким клиентом. Одним из преимуществ данной технологии является тот факт, что клиенты не зависят от конкретной операционной системы пользователя.

Для разграничения доступа к функционалу системы расчёта используется система аутентификации, реализованная с помощью встроенной функциональности ASP.NET. Работа с системой осуществляется с помощью пользовательского интерфейса веб-страниц, который обеспечивает удобную и понятную навигацию по функциям системы, четко и ясно отображает необходимую информацию о ходе выполнения работ. Главное окно системы состоит из двух логических блоков - навигационного меню сайта и рабочей области.

Построение системы на клиент-серверной архитектуре в виде веб-ресурса с доступом через сеть Internet предоставляет централизованное управление всеми функциями системы, которые будет осуществлять серверная часть, масштабируемость и дальнейшее развитие системы, за счет добавления дополнительных клиентских модулей и расширения функционала сервера.

Список используемых источников

1. Академия специальных курсов по компьютерным технологиям : Выбор языка программирования .NET .
http://www.askit.ru/custom/asp_net/m3/03_02_asp_net_languages.htm
2. Вендров А.М. CASE-технологии. Современные методы и средства проектирования информационных систем. - М.: Финансы и статистика, 1998.- 176 с.
3. ГОСТ 24.602-86. Состав и содержание работ по стадиям создания [Текст]. – Введ. 1988–01–01. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 6 с.
4. Гультияев А.К., Машин В.А. Проектирование и дизайн пользовательского интерфейса. -М.: Корона-Принт, 2010 - 450 с.
5. Коггзолл Д. РНР 5. Полное руководство [Текст] : Д. Коггзолл. – М. : Диалектика, 2006. – 752 с.
6. Мастерская msDimdim : Эвристические правила Якоба Нильсена.
http://www.info-system.ru/interface/rule_nilsen_interfce.html
7. Обзор Microsoft SQL Server 2008 [Электронный ресурс] : Microsoft, 2013. - Режим доступа:
<http://www.microsoft.com/sqlserver/2008/ru/ru/overview.aspx> - Загл. с экрана.
8. Положение о Методологическом совете по вопросам экономического управления спросом на электрическую энергию [Электронный ресурс] : АО «СО ЕЭС». Режим доступа: https://so-ups.ru/fileadmin/files/company/markets/dr/docs/dr_regulat_method_council.pdf
9. Положение о порядке проведения отбора субъектов электроэнергетики и потребителей электрической энергии, оказывающих услуги по обеспечению системной надёжности [Электронный ресурс] : Утверждено решением Совета директоров АО «СО ЕЭС» (ред. от 29 мая 2019 года). Режим доступа: http://www.so-ups.ru/fileadmin/files/company/markets/order_syst_rel_310519.PDF

10. Постановление Правительства РФ от 03.03.2010 N 117 (ред. от 20.03.2019) "О порядке отбора субъектов электроэнергетики и потребителей электрической энергии, оказывающих услуги по обеспечению системной надежности, и оказания таких услуг"

11. Рейли Д. Дж. Создание приложений Microsoft ASP.NET [Текст] : Д. Дж. Рейли. – М.: Русская Редакция, 2002. – 464 с.

12. Функционирование механизма ценозависимого снижения потребления (август 2019) [Электронный ресурс] : АО «СО ЕЭС». Режим доступа: https://www.sosups.ru/fileadmin/files/company/markets/dr/review/2019/dr_review19_08.pdf

13. Функционирование механизма ценозависимого снижения потребления (июль 2020) [Электронный ресурс] : АО «СО ЕЭС». Режим доступа: https://www.sosups.ru/fileadmin/files/company/markets/dr/review/2020/dr_review20_07.pdf

14. Функционирование механизма ценозависимого снижения потребления (июнь 2020) [Электронный ресурс] : АО «СО ЕЭС». Режим доступа: https://www.sosups.ru/fileadmin/files/company/markets/dr/review/2020/dr_review20_06.pdf

15. Функционирование механизма ценозависимого снижения потребления (март 2020) [Электронный ресурс] : АО «СО ЕЭС». Режим доступа: https://www.sosups.ru/fileadmin/files/company/markets/dr/review/2020/dr_review20_03.pdf

16. Функционирование механизма ценозависимого снижения потребления (ноябрь 2019) [Электронный ресурс] : АО «СО ЕЭС». Режим доступа: https://www.sosups.ru/fileadmin/files/company/markets/dr/review/2019/dr_review19_11.pdf

17. Функционирование механизма ценозависимого снижения потребления (октябрь 2019) [Электронный ресурс] : АО «СО ЕЭС». Режим доступа: https://www.sosups.ru/fileadmin/files/company/markets/dr/review/2019/dr_review19_10.pdf

18. Функционирование механизма ценозависимого снижения потребления (сентябрь 2019) [Электронный ресурс] : АО «СО ЕЭС». Режим доступа: https://www.sops.ru/fileadmin/files/company/markets/dr/review/2019/dr_review19_09.pdf

19. Функционирование механизма ценозависимого снижения потребления (февраль 2020) [Электронный ресурс] : АО «СО ЕЭС». Режим доступа: https://www.sops.ru/fileadmin/files/company/markets/dr/review/2020/dr_review20_02.pdf

20. Функционирование механизма ценозависимого снижения потребления (февраль 2021) [Электронный ресурс] : АО «СО ЕЭС». Режим доступа: https://www.sops.ru/fileadmin/files/company/markets/dr/review/2021/dr_review21_02.pdf

21. Функционирование механизма ценозависимого снижения потребления (январь 2020) [Электронный ресурс] : АО «СО ЕЭС». Режим доступа: https://www.sops.ru/fileadmin/files/company/markets/dr/review/2020/dr_review20_01.pdf

22. Функционирование механизма ценозависимого снижения потребления (январь 2021) [Электронный ресурс] : АО «СО ЕЭС». Режим доступа: https://www.sops.ru/fileadmin/files/company/markets/dr/review/2021/dr_review21_01.pdf

23. Web-приложения. Создание Web приложений на технологии ASP.NET : Введение в ASP.NET. <http://simple-cs.ru/store/Web/1/>

24. A National Survey of State Policies and Practices for the Evaluation of Ratepayer-Funded Energy Efficiency Programs : American Council for an Energy-Efficiency Economy : February 2012

25. Best Practices in Energy Efficiency Program Screening: How to Ensure that the Value of Energy Efficiency is Properly Accounted For : Synapse Energy Economics : July 23, 2012

26. Cost-Effectiveness Workshop Four: Demand Response : California Public Utility Commission : October 19, 2012

27. Energy Efficiency Cost-Effectiveness Screening: How to Properly Account for Other Program Impacts and Environmental Compliance Costs : Synapse Energy Economics July 2012.

28. Glossary of Terms Used in NERC Reliability Standards : North American Electric Reliability Corporation : May 25, 2012

29. Sources of grid reliability services, The Electricity Journal, Volume 31, Issue 9, 2018, Pages 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.tej.2018.10.002>

30. US Experience with Efficiency as a Transmission and Distribution System Resource : Regulatory Assistance Project : February 2012