

ОТЧЕТ КОМПАНИИ ENVIROS – МАЙ 2020 Г.

**ПОДДЕРЖКА В РАЗРАБОТКЕ
НАЦИОНАЛЬНОГО ПЛАНА ДЕЙСТВИЙ В
ОБЛАСТИ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ДЛЯ
БЕЛАРУСИ**

**ЗАДАЧА 3 - ДЕТАЛЬНЫЙ ОБЗОР ПОТЕНЦИАЛА УВЕЛИЧЕНИЯ
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСТВА В ЖИЛИЩНОМ СЕКТОРЕ
И ОБЩИЙ ОБЗОР ПОТЕНЦИАЛА В ПРОМЫШЛЕННОМ И
КОММЕРЧЕСКОМ СЕКТОРАХ**





КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ

Вступление

В декабре 2017 года Администрация Президента Республики Беларусь обратилась с запросом к ЕБРР рассмотреть возможность оказания поддержки в разработке Национального Плана Действий в области энергоэффективности (в дальнейшем “НПДЭЭ”) для Беларуси.

Общей целью Задания является оказание помощи Департаменту энергоэффективности Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь (в дальнейшем “Департамент”) в разработке первого НПДЭЭ для Беларуси. Задание включает три основные Задачи:

- i. Критический обзор существующих актуальных правовых актов, целей, программ и обязательств Республики Беларусь в области энергоэффективности, возобновляемых источников энергии и изменения климата.
- ii. Оказание поддержки Департаменту в подготовке, разработке, утверждении и опубликовании первого НПДЭЭ, который отвечает согласованному шаблону ЕС.
- iii. Разработка более детального обзора одного выбранного сектора или темы из тех, которые описаны в НПДЭЭ.

Задача 1 была завершена в декабре 2018 года, а окончательный проект Задачи 2 был завершен в сентябре 2019 года. НПДЭЭ в настоящее время находится на этапе одобрения со стороны руководства Департамента. ЕБРР и консультанты изучили и согласовали процесс одобрения НПДЭЭ с руководством Департамента и Министерства экономики.

На основе обсуждений с сотрудниками Департамента и членами созданной Рабочей группы было принято решение о том, что в рамках Задачи 3 необходимо рассмотреть увеличение использования электроэнергии для отопления и горячего водоснабжения в жилом секторе с замещением использования природного газа. Необходимо также сделать общий обзор потенциала увеличения использования электроэнергии в промышленности и коммерческом секторе.

Этот документ является Заключительным Отчетом для Задачи 3. Он охватывает следующее:

- ◆ Анализ текущих и прогнозных графиков потребления электроэнергии в Беларуси (после ввода в эксплуатацию новой атомной станции – АЭС);
- ◆ Обзор электрических технологий электроэнергии для использования отопления и для горячего водоснабжения в жилищно-коммунальном хозяйстве, включая индивидуальные жилые дома, многоквартирные здания и системы центрального теплоснабжения, как в городских, так и сельских районах;
- ◆ Обзор тарифов на электроэнергию в странах ЕС;
- ◆ Моделирование количества сценариев, а также сочетания сценариев для электрификации отопления и горячего водоснабжения в Беларуси с использованием модели ДСПЭА¹, которая была разработана как часть НПДЭЭ.
- ◆ Моделирование влияния на экологию с учетом повышения энергоэффективности и расчетом сокращения выбросов CO₂, а также других загрязняющих веществ (с использованием ДСПЭА);
- ◆ Обзор влияния на системы передачи и распределения электроэнергии в смоделированных сценариях;
- ◆ Краткое описание экономических аспектов электрификации, включая капитальные и эксплуатационные затраты новых систем и структуры тарифов в Беларуси.
- ◆ Обзор потенциала электрификации в промышленности и коммерческом секторе

Выводы и рекомендации представлены ниже.

¹ Долгосрочная система планирования энергетических альтернатив (<https://www.sei.org/projects-and-tools/tools/leap-long-range-energy-alternatives-planning-system/>)



Выводы

Профили потребления электроэнергии

Анализ профилей потребления электроэнергии в Беларуси показывает, что максимальное зимнее пиковое потребление составляет примерно 5,700 МВт, падая приблизительно до 3,700 МВт между полночью и 6-00. Профиль зимнего рабочего дня относительно плоский между 9-00 и 20-00 только с неглубокой 'впадиной' между 14-00 и 6-00. Это свидетельствует о том, что существуют ограниченные возможности для роста электрического отопления в течение зимнего дня без увеличения общего максимального потребления. В период с 23-00 до 6-00 существует потенциал для внедрения систем хранения энергии.

Электрические технологии для воздушного и водяного отопления

Основными технологиями для отопления в жилищном хозяйстве и секторе центрального теплоснабжения, являются:

- *Электрические радиаторы, панели и конвекторы.* Они приемлемы для отдельных помещений или квартир. Это простые, хорошо освоенные технологии с высокой эффективностью в месте использования, а также с низкими капитальными и текущими затратами.
- *Электрические котлы.* В них для подогрева воды могут использоваться резистивные элементы (трубчатые электронагреватели – ТЭН) или электроды. ТЭНы являются простыми приборами с невысокими капитальными и текущими затратами. Диапазон мощности составляет от 20 кВт до 2 МВт и, они могут использоваться в индивидуальных домах или квартирах, многоквартирных зданиях, малых системах центрального теплоснабжения. Электродные котлы имеют большую мощность (2 - 60 МВт) и, поэтому, они приемлемы для крупных многоквартирных домов и систем центрального теплоснабжения. Оба типа электродных котлов применяются в ЕС, но их использование для отопления широко не распространено в связи со значительно более высокими тарифами на электроэнергию по сравнению с природным газом.
- *Тепловые насосы.* Тепловые насосы являются более сложными устройствами, чем электрические котлы и, имеют высокие капитальные затраты и затраты на техобслуживание. Однако, их энергетические затраты намного ниже, чем затраты для электрических котлов, поскольку тепловой насос используя теплоту окружающей среды через компрессор повышает температуру теплоносителя.. Меньшая мощность (до 100 кВт_{тепл}) позволяет их эффективно использовать с отопительными приборами с температурой до 50°C и, они наиболее эффективны для жилых зданий с высокими стандартами энергетической эффективности. Большие тепловые насосы могут давать температуру теплоносителя на выходе до 90°C, и они широко используются в ЕС в промышленных установках и системах центрального теплоснабжения, где работают в сочетании с традиционными источниками тепла для обеспечения высокотемпературного теплоснабжения.
- *Аккумуляция тепла.* Системы аккумуляции тепла являются, в основном, большими резервуарами воды (теплоносителя), которые нагреваются ('заряжаются') в течение периода низкого спроса в сети (как правило, в периоды низких тарифов), или когда при наличии избыточной энергии от ВИЭ. Затем тепло используется в период пикового потребления. В суточном диапазоне баки-аккумуляторы тепла широко используются в ЕС в системах центрального теплоснабжения. Применяются также сезонные баки-аккумуляторы, которые намного больше по объему и используются для балансирования потребления тепла между зимним и летним периодами.

Тарифы на электроэнергию в ЕС

Рассмотрены структуры тарифов в трех странах (Чешская Республика, Польша и Франция). Во всех трех странах используются три структуры тарифов:

- ◆ Одноставочный тариф (или единая цена по тарифу) для небольших потребителей, как домохозяйств, так и юридических лиц;



- ◆ Дифференцированный тариф (как правило, дневной/ночной) для небольших потребителей для стимулирования потребления во внепиковые периоды;
- ◆ Сложные тарифы с многоставочными временными периодами для крупных потребителей. Эти типы тарифов отражают оптовую цену электроэнергии.

Такой принцип дифференциации тарифов, как правило, применяется во всех странах ЕС. Похожая структура тарифов уже используются в Беларуси, таким образом, стимулируя использование электроэнергии и баков-аккумуляторов во время внепиковых периодов с низкими затратами на её покупку.

Моделирование ДСПЭА

Модель ДСПЭА использовалась для моделирования сценариев и сочетаний сценариев использования электроэнергии для водяного и воздушного отопления в индивидуальных жилых домах и квартирах, многоквартирных зданиях, системах центрального теплоснабжения, городских сельских районов. Моделирование проведено на базе пяти конкретных сценариев, определенных в ТЗ. Ниже наводятся общие выводы:

- ◆ Ввод в эксплуатацию АЭС приведет к значительному снижению с $\approx 45\%$ до $\approx 25\%$ использования установленных мощностей существующих ТЭЦ. Кроме того, это также приводит к дефициту до 2500 МВт установленной тепловой мощности для систем центрального теплоснабжения. Необходимо подчеркнуть, что нехватка установленной тепловой мощности прогнозируется в системах централизованного теплоснабжения, которые получают энергию от ТЭЦ, а не в системах, которые получают энергию с котельных.
- ◆ Доля отопления с использованием электроэнергии, которая вырабатывается котельными, может составить до 40%, с сохранением необходимых резервных мощностей, при отсутствии перехода на электроэнергию в локальных и централизованных системах воздушного и водяного отопления.
- ◆ Доля отопления с использованием электроэнергии, которая вырабатывается котельными, может достигать до 30%, с сохранением необходимых резервных мощностей, при замещении природного газа, торфа и биомассы электроэнергией в локальных и централизованных системах воздушного и водяного отопления.
- ◆ В рамках всех рассмотренных сценариев можно также значительно снизить дефицит установленной мощности на КЭС, поскольку они улучшают годовое использование существующих ТЭЦ. Размер дефицита различен в зависимости от различных сценариев, но ввод электрических котлов сможет сократить дефицит примерно до 1000 МВт, в то время как в рамках сценариев, предусматривающих использование тепловых насосов, можно полностью покрыть нехватку мощности систем центрального теплоснабжения.
- ◆ Большинство сценариев приводят к увеличению использования природного газа между 30 тыс.т у.т. до 1024 тыс.т у.т. Этого не происходит только в сценариях с использованием тепловых насосов в новых зданиях.

Влияние на экологию

Экологическая оценка сценариев показала следующее:

- При замещении ископаемых видов топлива на электрическую энергию экономия в конечном потреблении отсутствует, т.к., внутреннее потребление здания не меняется. Потребление *первичных энергоносителей* увеличивается в связи с низким КПД преобразования на КЭС (около 35%) по сравнению с прямым использованием ископаемых видов (80-95%). Наибольший эффект достигается в сценариях с использованием тепловых насосов.
- Во всех сценариях, кроме одного (тепловые насосы в индивидуальном жилом доме), увеличиваются выбросы CO_2 , экв. по сравнению базовым сценарием НПДЭЭ. В сценариях с использованием электрических котлов растут выбросы CO_2 , по сравнению со сценариями с тепловыми насосами. Все смоделированные сценарии по сравнению со сценарием НПДЭЭ не превышают объемы выбросов на 5% от общего количества.



- Выбросы SO₂ и NO_x растут во всех сценариях, в то время как выбросы ЛОС (Летучие органические соединения) и CO снижаются. Выбросы SO₂ и NO_x связаны, в основном, с сектором преобразования.

Исходя из результатов моделирования, ни один из сценариев для жилого сектора не может рассматриваться как проект повышения энергоэффективности, поскольку он приводит к увеличению потребления первичной энергии и соответствующих выбросов CO₂.

Влияние на систему передачи и распределения электрической энергии

Системы центрального теплоснабжения, как правило, подключены к распределительным сетям напряжением от 0.4 до 10 кВ. Состояние распределительных подстанций, удовлетворительное, но значительная доля распределительных сетей и кабельных линий отработала свой срок службы. Для электрификации систем центрального теплоснабжения с использованием электрических котлов необходимо выполнить технико-экономическую оценку с учетом существующих электрических нагрузок и состояния распределительных линий для минимизации капитальных вложений, необходимых для подключения нагрузок к электрической сети.

Переход к отоплению с использованием электроэнергии в многоквартирных зданиях и индивидуальных жилых домах, увеличивает в два раза потребление электроэнергии во внутренних системах электроснабжения. В большинстве случаев существующее электрическое оборудование и размер сечений не требуемый прирост мощности и, соответственно, необходимы значительные дополнительные капитальные вложения.

В случае использования тепловых насосов, прирост электрической нагрузки составит 30-50% по сравнению прямым преобразованием электроэнергии в тепло. В системах центрального теплоснабжения тепловые насосы, как правило, работают в сочетании с существующими источниками тепла, следовательно, их присоединение возможно без значительных дополнительных затрат в распределительные системы. В существующих многоквартирных зданиях и индивидуальных жилых домах проектные характеристики и расчетные сетевые графики для не позволяют применять тепловые насосы для систем отопления. Т.е. использование тепловых насосов будет ограничено новым строительством и капитальной реконструкцией с приведением систем отопления к требуемым проектным условиям с низкотемпературным теплоносителем.

Высоковольтные системы передачи электроэнергии в последнее время были модернизированы и их состояние позволяет обеспечить прирост мощности без дополнительных затрат.

Экономическая эффективность

Для электрических котлов инвестиционные затраты и затраты на техобслуживание ниже, чем у тепловых насосов, у которых ниже энергетические затраты (коэффициент преобразования 3 и выше). Затраты на электросетевое строительство в зданиях зависят от конкретного проекта и принятие решений относительно необходимости их перевода в каждом случае индивидуально.

Общие затраты зависят от применения систем аккумулирования энергии в проектах. Системы аккумулирования увеличивают капитальные затраты, но снижают текущие из-за дифференцированных тарифов на электроэнергию и ВИЭ.

В Беларуси введены тарифы на электроэнергию для отопления, в том числе, для тепловых насосов, но стоимость использования электроэнергии пока выше, тепла или газа, для отопления, что снижает экономическую целесообразность электрификации существующих зданий.

Промышленность и коммерческие сектора

Ни один из промышленных и коммерческих секторов не предлагает больших возможностей для электрификации в существующих процессах, по сравнению с жилым сектором. Ниже представлены самые лучшие возможности:

- ◆ Электрические котлы для пара и горячей воды в химической промышленности, секторах производства продуктов питания и напитков. Вероятно, есть также возможности относительно тепловых насосов для горячей воды;



- ◆ Электрические котлы или тепловые насосы для горячей воды или отопления в зданиях системы государственного управления, образования, охраны здоровья и сферы услуг.
- ◆ Электропечи для вторичных (тепловая обработка) процессов в производстве стеклянной тары и при обработке металлов.

Вполне вероятно, что более широкие возможности существуют на новых производственных предприятиях, где электротехнические технологии могут быть включены в этап проектирования.

Как и в жилом секторе, баки-аккумуляторы могут использоваться в сочетании с электрическими котлами или тепловыми насосами для сглаживания графика потребления и/или оптимизации экономики функционирования.

Основной будущей возможностью использования избыточной электроэнергии, либо от возобновляемых источников, либо от АЭС, является производство водорода для использования в транспорте с низкими выбросами и в промышленных процессах.

Общий вывод из обзора сектора промышленности состоит в том, что возможность для дальнейшей электрификации в существующих промышленных процессах является низкой по сравнению с жилым сектором, хотя, вероятно, есть больше возможностей на новых производственных предприятиях.

Рекомендации

Принимая во внимание все вышеупомянутые выводы, рекомендации для программы электрификации в жилом секторе будут следующими:

- В качестве основного приоритета, использование тепловых насосов в новых и реконструированных зданиях, где высокие стандарты изоляции. Этого можно достичь при самой низкой стоимости, поскольку понадобятся незначительные инвестиции или их совсем не понадобится в распределительное оборудование зданий.
- Параллельно, использование либо электрических котлов, либо тепловых насосов в выбранных котельных центрального теплоснабжения до 40% от существующей установленной мощности, в то же время, сохраняя некоторые существующие котельные, работающие на ископаемых видах топлива. Не все газовые котлы должны быть полностью заменены, поскольку многие из них могут быть оборудованы элементами электрического отопления в рамках существующей структуры. Выбор того, какие станции должны быть трансформированы, будет зависеть от местных условий в распределительной сети и затрат на модернизацию.
- Рассмотрение электрификации водяного и воздушного отопления в индивидуальных жилых домах или многоквартирных зданиях, где усовершенствование внутренних распределительных сетей электроэнергии не вызывает значительных финансовых затрат.
- С учетом каждого конкретного сценария, рассмотреть использование систем аккумулирования тепла, которые бы работали в сочетании с электрическими источниками с учетом экономики (капитальные и текущие затраты) и влияния на профиль потребления электроэнергии.

С помощью этой стратегии можно достичь требуемого уровня электрификации в жилом секторе с наименьшим требованием к дополнительной мощности системы центрального теплоснабжения, а также с наименьшими инвестиционными затратами. Это приведет также к относительно небольшому увеличению подачи первичной энергии, выбросам CO₂ и выбросам других загрязняющих веществ таких, как SO₂, NO_x, ЛОС и CO.

В секторах промышленности надо изучить возможности использования электрических котлов и тепловых насосов в процессах, где используется большое количество горячей воды (например, при производстве продуктов питания и напитков, некоторые вторичные химические процессы). Подобным образом, надо проанализировать сценарий для электрических решений в нежилых зданиях, где условия будут похожими на те, что существуют в жилом секторе. Необходимо внедрить, там, где это возможно, электротехнические технологии, в новые производственные предприятия.



СОДЕРЖАНИЕ

СПИСОК РИСУНКОВ И ТАБЛИЦ	9
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ	12
1 ВСТУПЛЕНИЕ	14
2 ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ	15
2.1 Графики потребления электроэнергии	15
2.1.1 Существующая ситуация	15
2.1.2 Графики прогнозного потребления электроэнергии	19
2.2 Обзор современных технологий подачи тепла с использованием электрической энергии.....	23
2.2.1 Системы центрального теплоснабжения	23
2.2.2 Электрическое отопление и горячее водоснабжение для многоквартирных зданий	30
2.2.3 Электроотопление и горячее водоснабжение для индивидуальных жилых домов	36
2.2.4 Возможность сочетания сетевых возобновляемых источников энергии.	37
2.3 Обзор структур тарифов, которые используются в ЕС.....	39
2.3.1 Чешская Республика	39
2.3.2 Польша	43
2.3.3 Франция	45
2.3.4 Краткие выводы	46
3 АНАЛИЗ ВАРИАНТОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ОТОПЛЕНИЯ В ДОМОХОЗЯЙСТВАХ	47
3.1 Профили нагрузки	47
3.2 Рассчитанные варианты	48
3.3 Результаты моделирования	52
3.3.1 Базовые варианты использования электроэнергии касательно потребления	57
3.3.2 Базовые варианты использования электроэнергии касательно подачи	61
3.3.3 Обзор сценариев, предусмотренных ТЗ	65
3.3.4 Комбинированные сценарии	68
3.3.5 Влияние различных источников электроэнергии на профили нагрузки	78
3.4 Выводы на основании результатов моделирования.....	78
4 ВЛИЯНИЕ НА ЭКОЛОГИЮ	80
4.1 Энергосбережение	80
4.2 Экономия CO ₂	81
4.3 Другие загрязняющие вещества	82
5 ВЛИЯНИЕ НА СИСТЕМУ ПЕРЕДАЧИ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ	88



5.1	Мероприятия по замене подачи тепла из системы ЦТ	88
5.2	Переход к прямым источникам электрического отопления	90
5.3	Переход к использованию тепловых насосов	92
5.4	Системы электропередачи	92
5.5	Краткие выводы об аспектах электропередачи и распределения	93
6	ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ	94
6.1	Инвестиционные затраты на электротехнические технологии.....	94
6.2	Политика ценообразования на энергию в Беларуси.....	96
6.3	Тарифы на энергию в Беларуси	97
6.3.1	Тарифы в странах ЕС.....	99
6.4	Краткие выводы	100
7	ОБЗОР ПРОМЫШЛЕННОГО СЕКТОРА	101
7.1	Отрасли промышленности	101
7.1.1	Сельское хозяйство, лесное хозяйство и рыболовство.....	101
7.1.2	Добывающая промышленность	102
7.1.3	Отрасли производства	102
7.1.4	Подача электроэнергии, газа, пара, горячей воды и кондиционирования воздуха	105
7.1.5	Водоснабжение; сбор, обработка и утилизация отходов, мероприятия по устранению загрязнения	106
7.1.6	Строительство	106
7.1.7	Секторы обслуживания	106
7.1.8	Государственное управление, образование и здравоохранение	106
7.1.9	Крупные коммерческие здания и аэропорты	106
7.2	Планы электрификации в Беларуси.....	107
7.3	Опыт ЕС.....	107
7.4	Краткие выводы	111
8	ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ.....	113
8.1	Выводы	113
8.2	Рекомендации	116
ПРИЛОЖЕНИЕ А СРАВНЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВЫБРОСОВ В ОТДЕЛЬНЫХ СЦЕНАРИЯХ МОДЕЛИРОВАНИЯ		118
ПРИЛОЖЕНИЕ Б ВЛИЯНИЕ ПРОФИЛЕЙ НАГРУЗКИ НА РАЗЛИЧНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ		123
ПРИЛОЖЕНИЕ В УЧЕБНЫЕ ПРИМЕРЫ.....		127



СПИСОК РИСУНКОВ И ТАБЛИЦ

Таблица 2-1	Базовая информация об использовании электрических котлов в системе центрального теплоснабжения в Скандинавии.....	24
Таблица 2-2	Выбранные установки больших тепловых насосов в Европейском Союзе и Норвегии	26
Таблица 2-3	Общий обзор выбранных баков-аккумуляторов в Германии	29
Таблица 2-4	Типичный диапазон выходных значений электрических источников питания (прямой нагрев).....	31
Таблица 2-5	Диапазоны типичных мощностей и COP теплового насоса.....	33
Таблица 2-6	Сравнение баланса выработки электроэнергии с 2018 года.....	39
Таблица 2-7	Обзор ежегодного потребления в отдельных секторах потребителей.....	40
Таблица 2-8	Обзор тарифных продуктов в сегменте низкого потребления.....	41
Таблица 2-9	График тарифов в зонах дневного и ночного периодов.....	44
Таблица 2-10	График тарифов в пиковых и внепиковых зонах.....	44
Таблица 2-11	Описание тарифных групп для коммерческого сектора.....	44
Таблица 3-1	Обзор базовых рассчитанных вариантов	49
Таблица 3-2	Сложные сценарии использования электроэнергии для воздушного отопления и водяного отопления	51
Таблица 3-3	Сравнение общего конечного энергопотребления в домохозяйствах (сценарии из ТЗ).....	65
Таблица 3-4	Сравнение конечного потребления электроэнергии в домохозяйствах (сценарии из ТЗ).....	66
Таблица 3-5	Сравнение конечного потребления природного газа в домохозяйствах (сценарии из ТЗ).....	67
Таблица 3-6	Сравнение общего первичного бытового потребления природного газа (сценарии из ТЗ).....	68
Таблица 4-1	Различия внутреннего потребления первичной энергии в отдельных сценариях и сценариях НПДЭЭ.....	80
Таблица 5-1	Местоположение, мощность и состояние распределительных трансформаторов.....	89
Таблица 6-1	Обзор инвестиционной стоимости электрических котлов.....	94
Таблица 6-2	Обзор инвестиционной стоимости тепловых насосов для систем ЦТ.....	94
Таблица 6-3	Обзор инвестиционной стоимости тепловых насосов в многоквартирном здании	95
Таблица 6-4	Обзор инвестиционной стоимости тепловых насосов в индивидуальных жилых домах.....	95
Таблица 6-5	Обзор инвестиционной стоимости газовых котлов.....	95
Таблица 6-6	Обзор инвестиционной стоимости аккумулирования тепла в ЦТ	96
Таблица 6-7	Принципы ценообразования на энергию в Беларуси	97
Таблица 6-8	Цены на энергию в Беларуси в 2019 г.	98
Таблица 7-1	Энергоисточники в секторе промышленности в Беларуси	101
Таблица 7-2	Потенциал для электрификации в секторах промышленности	111
Рисунок 2-1	Графики потребления электроэнергии за рабочий день в 2017 г. (Источник: НДЦ, Беларусь, обработано экспертами компании ENVIROS)	16
Рисунок 2-2	Графики потребления электроэнергии за выходной день в 2017 г. (Источник: НДЦ, Беларусь, обработано экспертами компании ENVIROS)	16
Рисунок 2-3	Эталонные профили ежемесячного потребления электроэнергии за рабочий день в 2017 г. (Источник: НДЦ, Беларусь, обработано экспертами компании ENVIROS).....	17
Рисунок 2-4	Эталонные профили ежемесячного потребления электроэнергии за выходной день в 2017 г. (Источник: НДЦ, Беларусь, обработано экспертами компании ENVIROS).....	18



Рисунок 2-5	Сравнение модели потребления в Беларуси и Чешской Республике 19 декабря 2017 года (рабочий день) (Источник: НДЦ, Беларусь и ĆEPS a.s., обработано экспертами компании ENVIROS)	19
Рисунок 2-6	Сравнение модели потребления в Беларуси и Чешской Республике 16 декабря 2017 года (выходной день) (Источник: НДЦ, Беларусь и ĆEPS a.s., обработано экспертами компании ENVIROS)	19
Рисунок 2-7	Пример регулирования нагрузки и сети в течение обычного летнего дня работы фотоэлектрической электростанции (Источник: ĆEPS a.s.)	22
Рисунок 2-8	Диаграмма электродного котла с подачей тепла воде (Источник: www.parat.no)	23
Рисунок 2-9	Ожидаемое использование электрических котлов в системах ЦТ в Дании к 2050 году (Источник: Наилучшие практики отопления от Дании и Германии)	24
Рисунок 2-10	Схема выбранных конструкций сезонных баков-аккумуляторов большой мощности (Источник: Energistyrelsen)	28
Рисунок 2-11	Потенциал влияния графика потребления с баками-аккумуляторами, установленными в системе центрального теплоснабжения (Источник: НДЦ Беларуси, обработано экспертами компании ENVIROS)	29
Рисунок 2-12	Тенденция в эволюции монтажа тепловых насосов в Чешской Республике (Источник: tzb-info.cz)	34
Рисунок 2-13	Количество тепловых насосов в Государствах-членах ЕС в 2016 г. (Источник: tzb-info.cz)	34
Рисунок 3-1	Ежегодный график нагрузки потребления электроэнергии	47
Рисунок 3-2	Ежегодный график нагрузки потребления тепла	48
Рисунок 3-3	Конечное энергопотребление домохозяйствами в разрезе энергоносителей (сценарий НПДЭЭ)	53
Рисунок 3-4	Выработка электроэнергии по типу станции (сценарий НПДЭЭ)	53
Рисунок 3-5	Выработка тепла от ТЭЦ (сценарий НПДЭЭ)	54
Рисунок 3-6	Выработка тепла по типу отопительной котельной (сценарий НПДЭЭ)	54
Рисунок 3-7	Резерв мощности системы выработки электроэнергии (сценарий НПДЭЭ)	55
Рисунок 3-8	Резерв мощности отопительных котельных (сценарий НПДЭЭ)	56
Рисунок 3-9	Развитие электрической установленной мощности (сценарий НПДЭЭ)	56
Рисунок 3-10	Развитие тепловой установленной мощности отопительных котельных (сценарий НПДЭЭ)	57
Рисунок 3-11	Различия в конечном энергопотреблении домохозяйствами сценария SFD_RURAL_OCAL по сравнению со сценарием НПДЭЭ	58
Рисунок 3-12	Различия в выработке электроэнергии сценария SFD_RURAL_LOCAL по сравнению со сценарием НПДЭЭ	58
Рисунок 3-13	Резервная мощность системы выработки электроэнергии (сценарий SFD_RURAL_LOCAL)	59
Рисунок 3-14	Различие в подаче первичной энергии в рамках сценария SFD_RURAL_LOCAL по сравнению со сценарием НПДЭЭ	60
Рисунок 3-15	Различие в подаче первичной энергии в рамках сценария SFD_RURAL_LOCAL_HP по сравнению со сценарием НПДЭЭ	60
Рисунок 3-16	Различие в выработке тепла на отопительных котельных в рамках сценария OMAB_CITY_DH по сравнению со сценарием НПДЭЭ	61
Рисунок 3-17	Различие в выработке тепла на ТЭЦ в рамках сценария OMAB_CITY_DH по сравнению со сценарием НПДЭЭ	62
Рисунок 3-18	Различие в выработке электроэнергии в рамках сценария OMAB_CITY_DH по сравнению со сценарием НПДЭЭ	63
Рисунок 3-19	Резервная мощность системы выработки электроэнергии (сценарий OMAB_CITY_DH)	64
Рисунок 3-20	Различие в подаче первичной энергии в рамках сценария OMAB_CITY_DH по сравнению со сценарием НПДЭЭ	64
Рисунок 3-21	Сравнение общего конечного энергопотребления в домохозяйствах (сценарии с ТЗ)	65



Рисунок 3-22	Сравнение конечного потребления электроэнергии в домохозяйствах (сценарии из ТЗ).....	66
Рисунок 3-23	Сравнение конечного потребления природного газа в домохозяйствах (сценарии из ТЗ).....	67
Рисунок 3-24	Сравнение общего первичного бытового потребления природного газа (сценарии из ТЗ).....	68
Рисунок 3-25	Уровень резерва мощности производства электроэнергии в сценариях DH_LOW и DH_HIGH	69
Рисунок 3-26	Различие в показателях производства электроэнергии по сценарию DH_LOW и сценарию НПДЭЭ	70
Рисунок 3-27	Различие в показателях производства тепла на отопительных котельных по сценариям DH_LOW и НПДЭЭ	70
Рисунок 3-28	Различие в показателях производства тепла на ТЭЦ по сценарию DH_LOW и сценарию НПДЭЭ.....	71
Рисунок 3-29	Сравнение первичной подачи природного газа в рамках сценария DH_LOW со сценарием НПДЭЭ.	72
Рисунок 3-30	Различие в конечном энергопотреблении домохозяйств по сценарию ALL_LOCAL и НПДЭЭ	73
Рисунок 3-31	Различие в конечном энергопотреблении домохозяйств по сценарию ALL_LOCAL_HP и сценарию НПДЭЭ	73
Рисунок 3-32	Сравнение первичной подачи природного газа по сценариям ALL_LOCAL и ALL_LOCAL_HP со сценарием НПДЭЭ.....	74
Рисунок 3-33	Уровень резерва мощности производства электроэнергии по сценариям ALL_LOCAL и ALL_LOCAL_HP	75
Рисунок 3-34	Уровень резерва мощности системы производства электроэнергии сценариев ALL_LOW, ALL_HIGH и ALL_LOW_HP	76
Рисунок 3-35	Различие в показателях производства электроэнергии по сценарию ALL_LOW и сценарию НПДЭЭ	76
Рисунок 3-36	Различие в показателях производства электроэнергии по сценарию ALL_LOW_HP и сценарию НПДЭЭ	77
Рисунок 3-37	Сравнение показателей первичной подачи природного газа по сценариям ALL_LOCAL и ALL_LOCAL_HP со сценарием НПДЭЭ	77
Рисунок 4-1	Сравнение динамики примерных выбросов CO ₂ в отдельных сценариях.....	81
Рисунок 4-2	Динамика примерных выбросов SO ₂ (сценарий НПДЭЭ)	82
Рисунок 4-3	Сравнение динамики примерных выбросов SO ₂ в отдельных сценариях.....	83
Рисунок 4-4	Динамика выбросов NO _x (сценарий НПДЭЭ).....	83
Рисунок 4-5	Сравнение динамики примерных выбросов NO _x в отдельных сценариях	84
Рисунок 4-6	Динамика примерных выбросов неметановых летучих органических соединений (ЛОС) (сценарий НПДЭЭ).....	85
Рисунок 4-7	Сравнение динамики предполагаемых выбросов ЛОС в отдельных сценариях	85
Рисунок 4-8	Динамика предполагаемых выбросов CO (сценарий НПДЭЭ)	86
Рисунок 4-9	Сравнение динамики предполагаемых выбросов CO в отдельных сценариях ...	86
Рисунок 7-1	Обзор цен для конечных потребителей электроэнергии и газа в промышленности (2016 г., источник: ЕВРОПЕЙСКАЯ КОМИССИЯ - Информационный бюллетень Энергетического Союза)	108
Рисунок 7-2	Потребление топлива в промышленности Норвегии в 2017 году	109



СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

ABP	Автоматическое включение резерва
Млрд.	Миллиард
СРЗ	Стратегия реновации зданий
BYN	Белорусский рубль (третий рубль, с 2016 года и далее)
BYR	Белорусский рубль (второй рубль, с 2000 по 2016 гг.)
CEPS, a.s.	Оператор чешской системы передачи
ТЭЦ	Теплоэлектроцентраль
CO ₂ эквивалент	Эквивалент двуокиси углерода
Департамент/ДЭЭ	Департаменту энергоэффективности Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь
ЦТ	Центральное теплоснабжение
ЕБРР	Европейский банк реконструкции и развития
ЭЭ	Энергетическая эффективность
ДирЭЭ	Директива по энергоэффективности (Директива 2012/27/ЕС)
ЭС	Энергетическое Сообщество
СЭС	Секретариат Энергетического Сообщества
СЭМ	Система энергоменеджмента
ЭСКО	Энергосервисная компания
Гкал	Гигакалория
Гкал/час	Гигакалория в час
ВВП	Валовый внутренний продукт
ПГ	Парниковые газы
ВУ	Вводное устройство
ВРУ	Вводно распределительное устройство
К. у. т.	Килотонна условного топлива
ДСПЭА	Долгосрочная система планирования энергетических альтернатив (Энергетическая модель)
Млн.	Миллион
МВYR	Миллион белорусских рублей
Минприроды	Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды
МВтчас	Мегаватт час
МВтчасэ	Мегаватт час электроэнергии
НОВ	Национально определенный вклад (для Парижского соглашения)
НДЦ	Национальный диспетчерский центр (www.odu.by)
НПДЭЭ	Национальный План Действий в области энергоэффективности
АЭС	Атомная электростанция
nZEB	Здания с почти нулевым уровнем потребления энергии
ВЛ	Воздушная линия
КТП	Комплексная трансформаторная подстанция
ВИЭ	Возобновляемые источники энергии
ПДУЭК	План действий в области устойчивой энергии и климата
МСП	Малое и среднее предприятие
ПУГМ	План устойчивой городской мобильности



ТКУП	Технический кодекс установившейся практики
ТЗ	Техническое задание
ОППЭ	Общая подача первичной энергии
ТП	Трансформаторная подстанция
ПРООН	Программа развития ООН
ВБ	Всемирный банк
РГ	Рабочая группа
ЛОС	Летучие органические соединения



1 ВСТУПЛЕНИЕ

В декабре 2017 года Администрация Президента Республики Беларусь обратилась с запросом к ЕБРР рассмотреть возможность оказания поддержки в разработке Национального Плана Действий в области энергоэффективности (в дальнейшем “НПДЭЭ”) для Беларуси.

Общей целью Задания является оказание помощи Департаменту энергоэффективности Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь (в дальнейшем “Департамент”) в разработке первого НПДЭЭ для Беларуси. Задание включает три основные Задачи:

1. Критический обзор существующих актуальных правовых актов, целей, программ и обязательств Республики Беларусь в области энергоэффективности, возобновляемой энергии и изменений климата.
 2. Оказание поддержки Департаменту в подготовке, разработке, утверждении и опубликовании первого НПДЭЭ, который отвечает согласованному шаблону ЕС.
 3. Разработка более детального обзора одного выбранного сектора или темы из тех, которые описаны в НПДЭЭ.
- ♦ Задача 1 была завершена в декабре 2018 года, а окончательный проект Задачи 2 был завершен в сентябре 2019 года. НПДЭЭ в настоящее время находится на этапе одобрения со стороны руководства Департамента. ЕБРР и консультанты изучили и согласовали процесс одобрения НПДЭЭ с руководством Департамента и Министерства экономики.
 - ♦ На основе обсуждений с сотрудниками Департамента и членами созданной Рабочей группы было принято решение о том, что в рамках Задачи 3 необходимо рассмотреть увеличение использования электроэнергии для отопления, и горячего водоснабжения в жилом секторе с замещением использования природного газа. Необходимо также сделать общий обзор потенциала увеличения использования электроэнергии в промышленности и коммерческом секторе.

Этот документ является Заключительным Отчетом для Задачи 3. Он охватывает следующее:

- ♦ Анализ текущих и прогнозных графиков потребления электроэнергии в Беларуси (после ввода в эксплуатацию новой атомной станции – АЭС);
- ♦ Обзор электрических технологий электроэнергии для использования отопления и для горячего водоснабжения в жилищно-коммунальном хозяйстве, включая индивидуальные жилые дома, многоквартирные здания и системы центрального теплоснабжения, как в городских, так и сельских районах;
- ♦ Обзор тарифов на электроэнергию в странах ЕС;
- ♦ Моделирование сценариев, а также сочетания сценариев для электрификации отопления и горячего водоснабжения в Беларуси с использованием модели ДСПЭА², которая была разработана как часть НПДЭЭ.
- ♦ Моделирование влияния на экологию с учетом повышения энергоэффективности и расчетом сокращения выбросов CO₂, а также других загрязняющих веществ (с использованием ДСПЭА);
- ♦ Обзор влияния на системы передачи и распределения электроэнергии в смоделированных сценариях;
- ♦ Краткое описание экономических аспектов электрификации, включая капитальные и эксплуатационные затраты новых систем и структуры тарифов в Беларуси.
- ♦ Обзор потенциала электрификации в промышленности и коммерческом секторе.
- ♦ Некоторые учебные примеры использования электрических котлов, тепловых насосов в системах ЦТ и жилых зданиях.

² Долгосрочная система планирования энергетических альтернатив (<https://www.sei.org/projects-and-tools/tools/leap-long-range-energy-alternatives-planning-system/>)



2 ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

2.1 Графики потребления электроэнергии

В этом разделе описано изучение текущих и потенциальных прогнозных графиков потребления электроэнергии для рабочих дней/выходных и сезонные колебания для понимания масштаба увеличения потребления электроэнергии в различные периоды дня/недели/года.

2.1.1 Существующая ситуация

Были составлены и изучены отдельные репрезентативные графики потребления электроэнергии на основе почасовых данных за 2017 год³. Январь, февраль, март, ноябрь и декабрь рассматриваются как зимние месяцы. Летние месяцы включают июнь, июль и август. Оставшиеся месяцы рассматриваются как переходный период.

Графики потребления электроэнергии в рабочие дни в Беларуси показаны на Рисунке 2-1 следующим образом:

- ◆ Зимний средний график рабочего дня
- ◆ Летний средний график рабочего дня
- ◆ Средний график переходного периода рабочего дня
- ◆ Годовой средний график рабочего дня
- ◆ Максимальный зимний средний график рабочего дня
- ◆ Минимальный летний средний график рабочего дня.

Графики потребления электроэнергии в выходные дни в Беларуси показаны на Рисунке 2-2 следующим образом:

- ◆ Зимний средний график выходного дня
- ◆ Летний средний график выходного дня
- ◆ Средний график переходного периода выходного дня
- ◆ Годовой средний график выходного дня
- ◆ Максимальный зимний средний график выходного дня
- ◆ Минимальный летний средний график выходного дня.

Кроме того, характерные профили потребления электроэнергии в отдельные месяцы за каждый рабочий день показаны на Рисунке 2-3, а за каждый выходной день – на Рисунке 2-4. Максимальное потребление электроэнергии за рабочий день на уровне 120,825 МВтчас было 19 декабря 2017 года, в то время как минимальное потребление электроэнергии за выходной день было зафиксировано 16 июля 2017 года.

Максимальное ежечасное потребление было на уровне 5,731 МВтчас в 11-00 19 декабря 2017 года, в то время как минимальное ежечасное потребление составляло 2,292 МВтчас в 5-00 17 июля 2017 года, разница составляет 3,439 МВтчас. Максимальное ежедневное потребление составляло 120,825 МВтчас также 19 декабря, минимальное ежедневное потребление составляло 67,462 МВтчас 16 июля 2017 г.

Тенденции в потреблении электроэнергии

1. График потребления за рабочий день показывает увеличение 1,000 МВтэ между 6-00 и 9-00, что является увеличением примерно на уровне 25 – 35% от потребления в утренние часы. Во время максимального дня (19 декабря 2017 г.) составляет примерно 1,500 МВтэ. Максимальное потребление достигается между 9-00 и 10-00. Следующие часы показывают незначительно понижающую тенденцию с впадиной между 16-00 и 18-00. Следовательно, второй максимум достигается между 19-00 и 21-00, что находится на похожем уровне, как и первый максимум дня. Начиная с 22-00 график потребления показывает понижающую тенденцию с возвращением к базовым ночным значениям. Более отчетливый пик для второго максимума показан в течение зимних месяцев. Потребление в течение летних месяцев смещается примерно на один час позже, чем во время зимних дней.

³ Источник: Национальный диспетчерский центр Беларуси, сентябрь 2019 г. (www.odu.by)



2. Начало графика потребления в выходной день постепенное повышение. Максимум достигается между 18-00 и 21-00. Впадина между 16-00 и 18-00 не является явно выраженной. Изменение средней дневной выработки, т.е., разница между максимумом и минимумом в течение выходных дней колеблется от 34 до 39% относительно базового минимального значения. Потребление в течение летних дней смещается примерно на один час позже, чем во время зимних дней.

Рисунок 2-1 Графики потребления электроэнергии за рабочий день в 2017 г. (Источник: НДЦ, Беларусь, обработано экспертами компании ENVIROS)

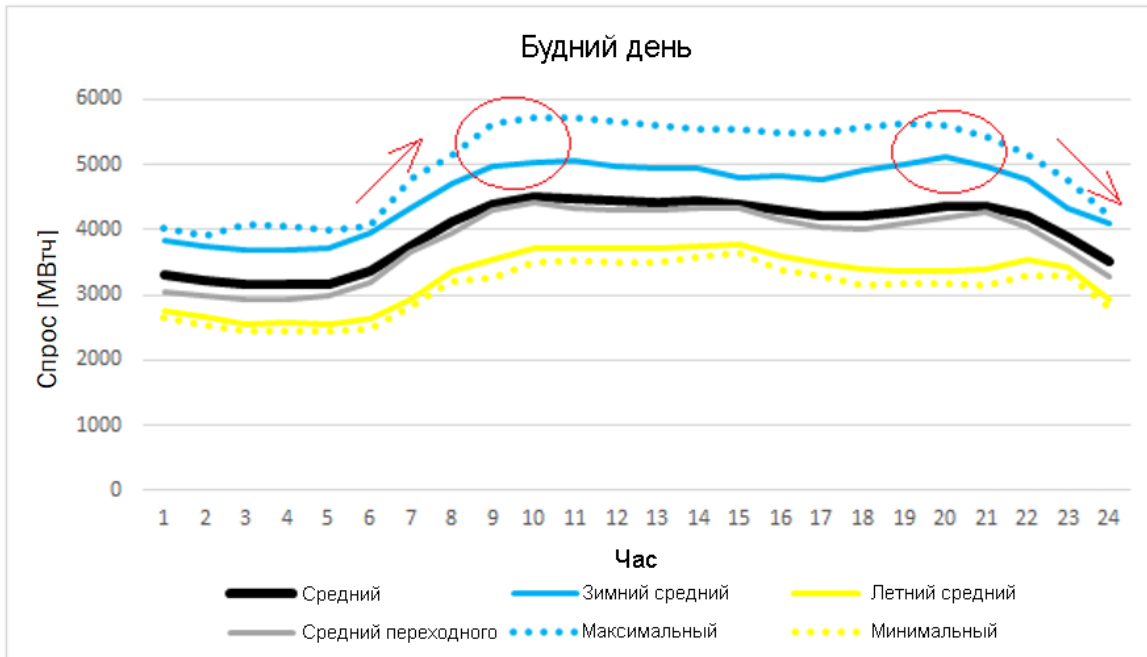
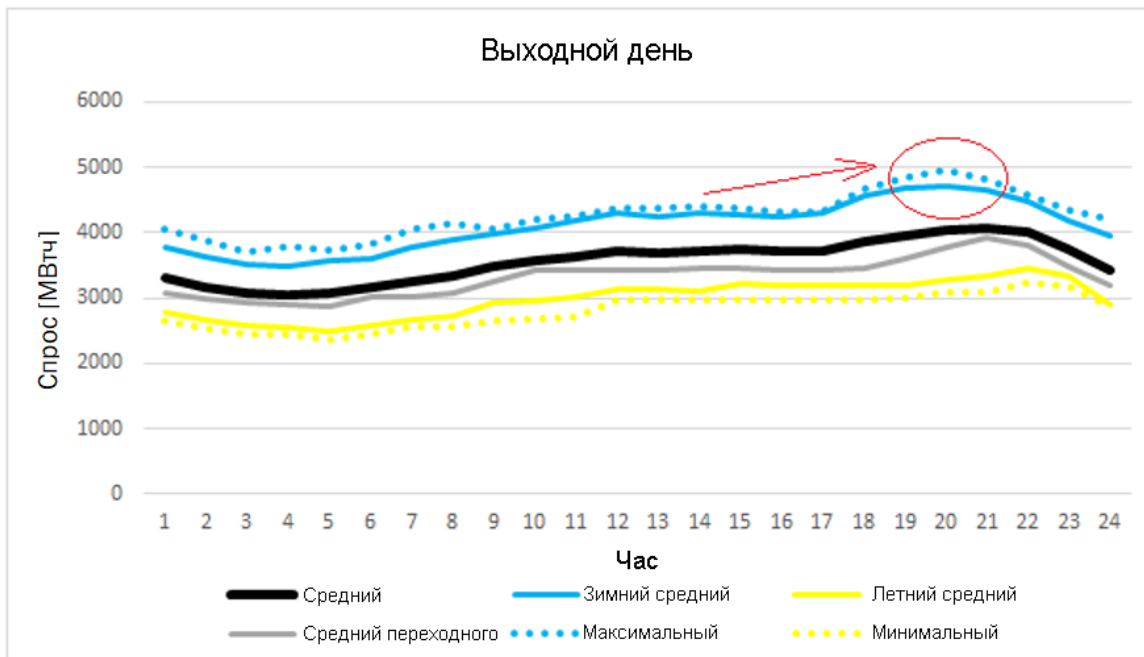


Рисунок 2-2 Графики потребления электроэнергии за выходной день в 2017 г. (Источник: НДЦ, Беларусь, обработано экспертами компании ENVIROS)



Пиковое потребление электроэнергии происходит в течение зимнего рабочего дня. И наоборот, самое низкое потребление электроэнергии происходит в течение летних выходных дней.



Профиль потребления повседневного рабочего дня, а также выходного дня переходного периода соответствует также среднему годовому графику потребления электроэнергии. Общее потребление за летний рабочий день составляет примерно 70% от зимнего потребления. Общее потребление за рабочий день в течение переходного периода составляет около 85% от зимнего периода. Общее потребление за летний выходной день составляет примерно 73% от потребления за зимний выходной день.

Рисунок 2-3 Эталонные профили ежемесячного потребления электроэнергии за рабочий день в 2017 г. (Источник: НДЦ, Беларусь, обработано экспертами компании ENVIROS)

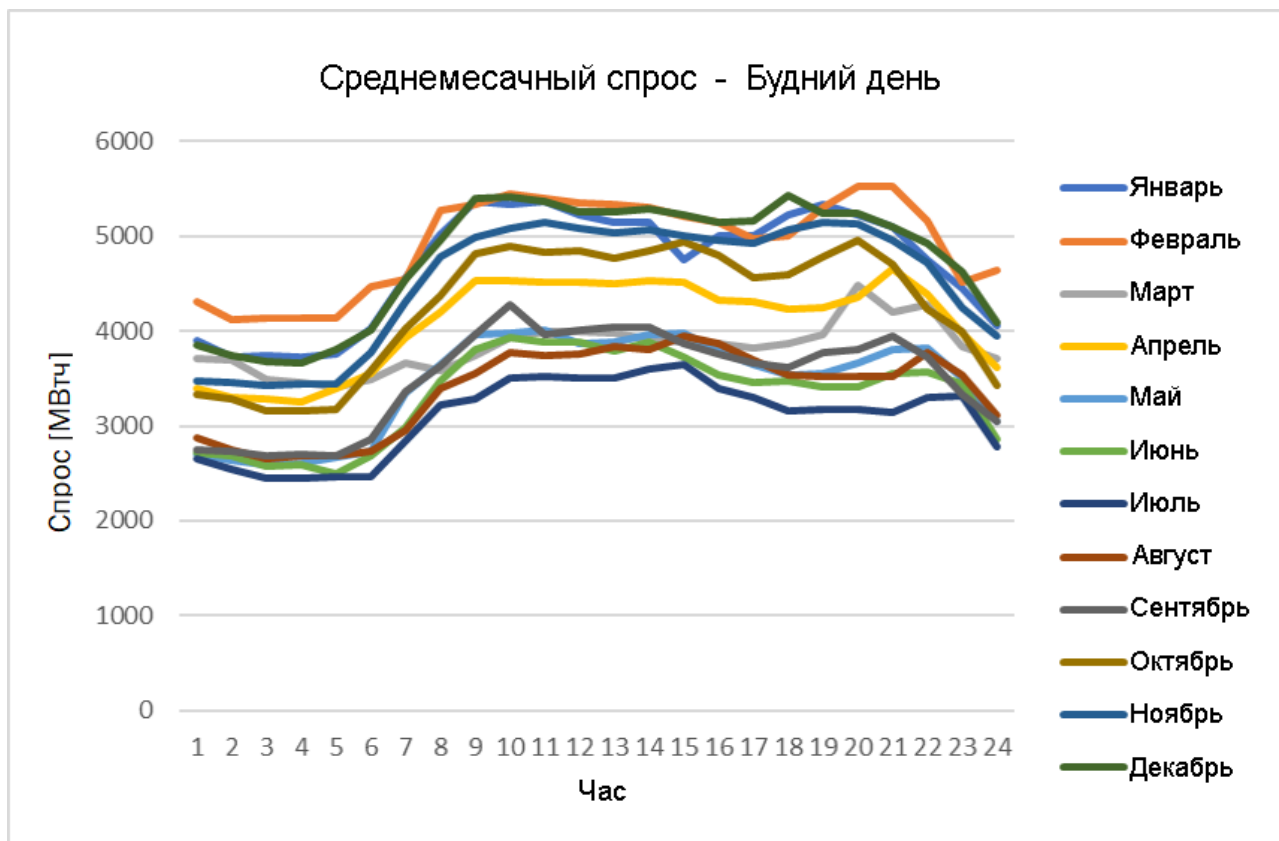
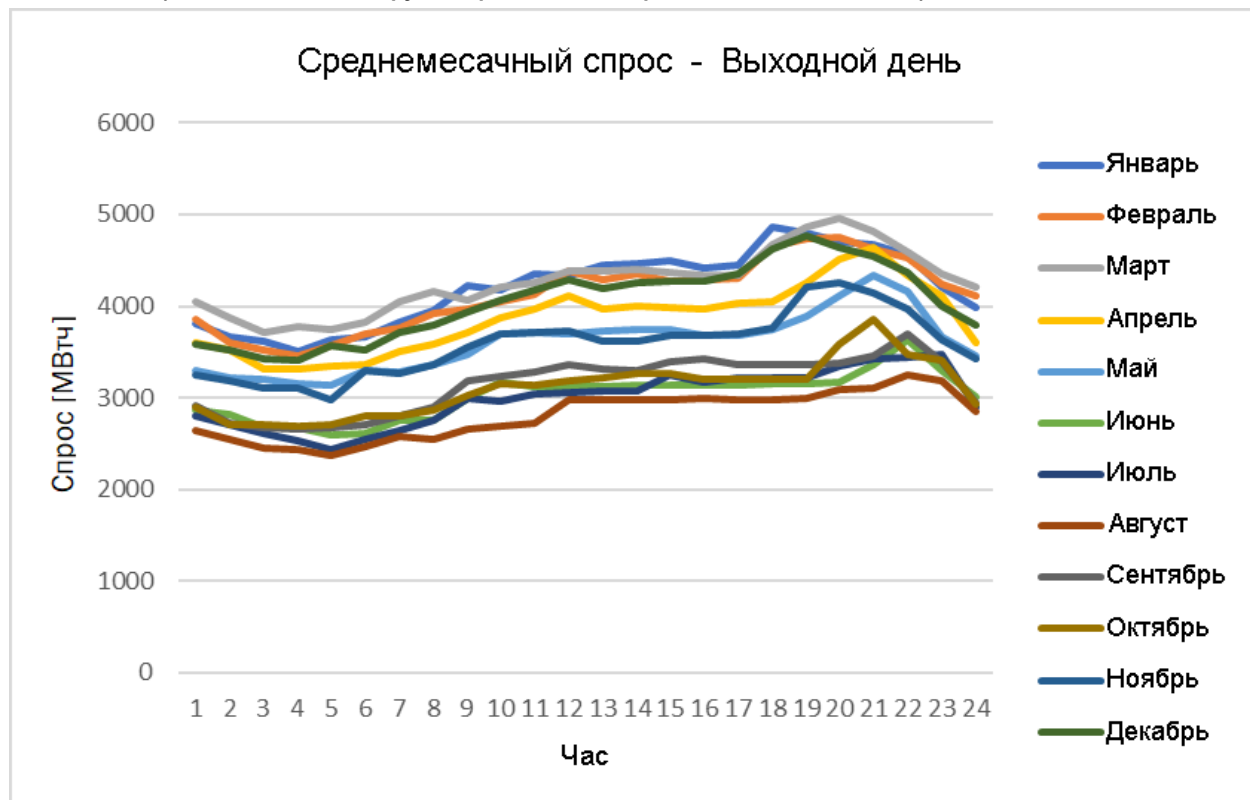




Рисунок 2-4 Эталонные профили ежемесячного потребления электроэнергии за выходной день в 2017 г.
(Источник: НДЦ, Беларусь, обработано экспертами компании ENVIROS)



Для сравнения, на Рисунках 2-5 и 2-6 показаны профили за 19 декабря 2017 года (рабочий день) и 16 декабря 2017 года (выходной день), как в Беларуси, так и в Чешской Республике. Базовая форма графиков, т.е., тенденция, является похожей. С вышеупомянутых графиков можно увидеть, что тенденция в изменениях в потреблении электроэнергии и, особенно, острота пиков, хуже выделена в Беларуси. Этот факт является благоприятным, особенно, с точки зрения качества подачи электроэнергии и регулирования всей сети. График потребления в Беларуси более предсказуемый и более низкая необходимая динамика изменений позволяет реагировать на изменения нагрузки в пределах регуляторного диапазона сектора производства энергии. Можно предположить, что большая доля природного газа в энергетическом балансе Беларуси косвенно содействует вышеупомянутой регуляторной мощности.



Рисунок 2-5 Сравнение модели потребления в Беларуси и Чешской Республике 19 декабря 2017 года (рабочий день) (Источник: НДЦ, Беларусь и ČEPS a.s., обработано экспертами компании ENVIROS)

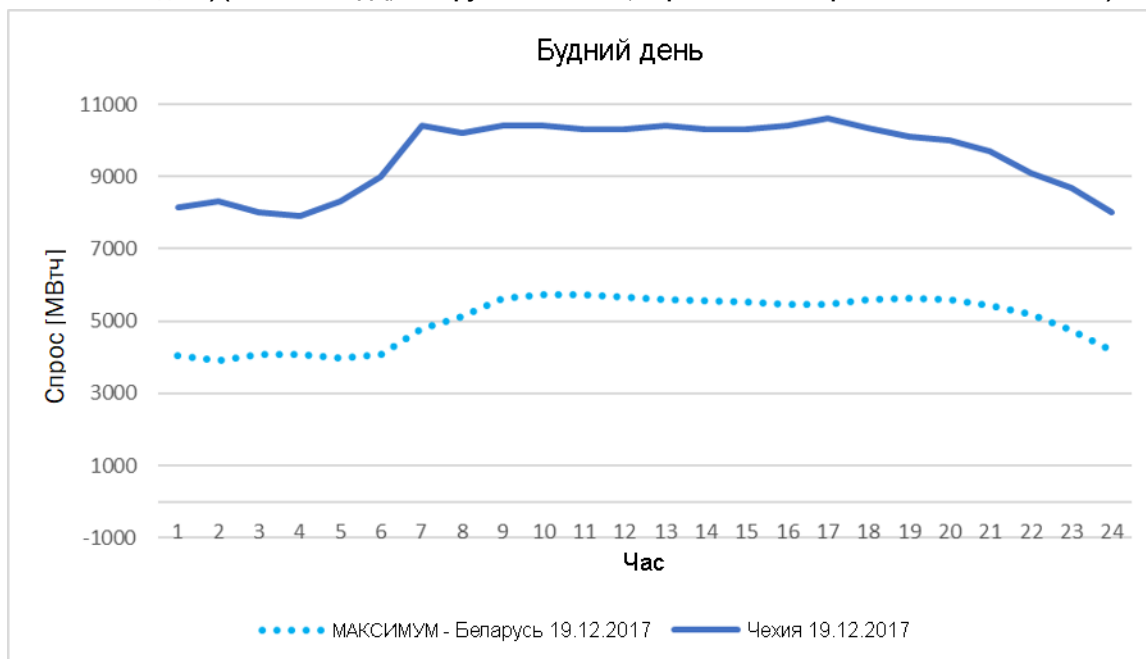
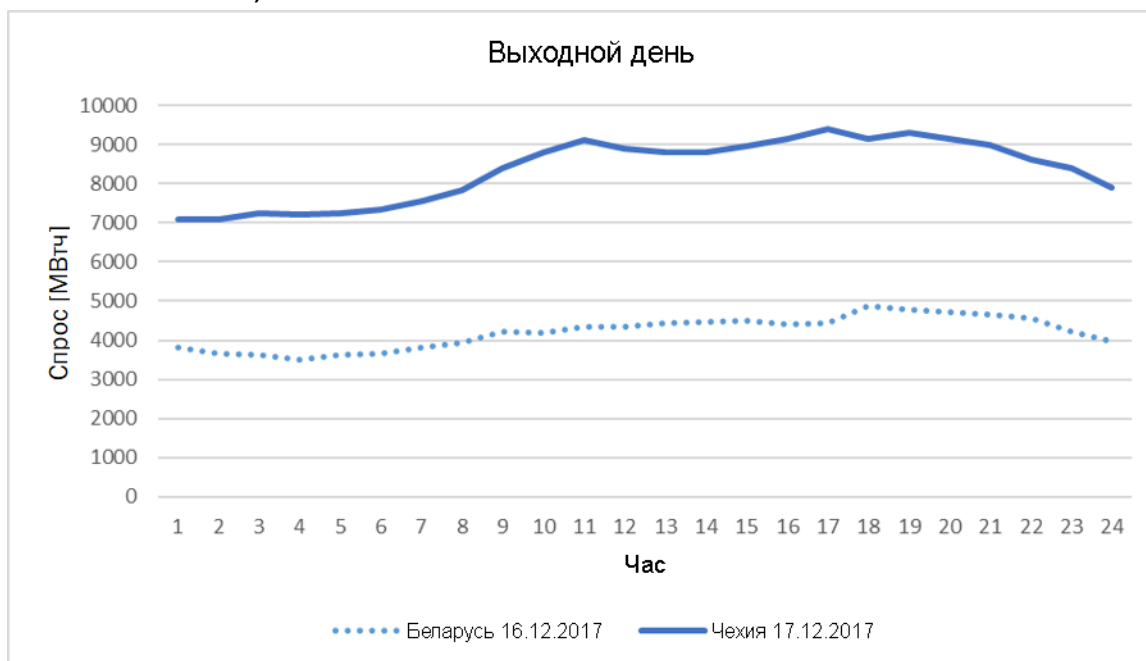


Рисунок 2-6 Сравнение модели потребления в Беларуси и Чешской Республике 16 декабря 2017 года (выходной день) (Источник: НДЦ, Беларусь и ČEPS a.s., обработано экспертами компании ENVIROS)



2.1.2 Графики прогнозного потребления электроэнергии

На форму графиков в будущем будет влиять несколько основных факторов, которые будут зависеть, особенно, от энергетической концепции Беларуси и выбранной стратегии мероприятий в рамках НПДЭЭ. Хотя, в проекте НПДЭЭ внимание уделяется, в основном, потребителям и влияющему графику потребления, важные факты и предположения, которые негативно влияют на выработку (подачу) электроэнергии, являются также актуальными. Следовательно, возможности определены, как для подачи, так и для потребления.



Факторы потребления и их влияние на график потребления

1. Пассивные и активные мероприятия по экономике, направленные на сокращение потребления электроэнергии

Применение мероприятий НПДЭЭ снизит потребление электроэнергии. Форма графика и временная задержка максимума могут предполагаться на одинаковом уровне, хотя абсолютный дневной объем потребленной электроэнергии будет меньшим. Иногда, особенно, в течение переходных месяцев может быть сложно покрыть переход между дневным минимумом и дневным максимумом ввиду установленной рабочей точки медленно контролируемых источников и замедления функционирования источников с большим динамичным диапазоном. Например, это может быть период с высокой долей генерации атомной энергии с энергетическим балансом, дополненным очень низкой долей выработки на основе энергии из традиционных видов ископаемого топлива благодаря применяемым мероприятиям по экономии и, таким образом, низкому фиксированному уровню средней подачи электроэнергии. В течение дней переходного периода происходит несколько рабочих состояний, которые ускорят потребление с целью быстрого увеличения подачи электроэнергии или, наоборот, сокращения. Как правило, потребление для ежедневной пиковой подачи электроэнергии в утренние часы связано с неожиданным падением температуры или, более часто, это может быть краткосрочное требование для одновременного снижения подачи тепла и электроэнергии в течение осенних или весенних дней. Риск таких ситуаций может быть снижен путем правильного распределения энергетического баланса относительно прогнозов погоды.

2. Мероприятия по энергосбережению для приборов, рассчитанные на экономию первичной энергии в топливе (или CO₂) с влиянием на увеличение потребления электроэнергии.

Применение недавно установленных промышленных электрических приборов в качестве замены процессам сгорания повысит потребление электроэнергии на диаграмме ежедневного потребления. Форма графика потребления, а также временная задержка максимума будут колебаться в зависимости от характера спроса на оборудование. В случае с большой технологической установкой, которая используется, в основном, в промышленности, ожидается, что график потребления может меняться в двух направлениях в зависимости от характера и возможностей функционирования. Просто:

- ◆ Если возможно работать с новыми большими технологическими приборами, а функционирование происходит прерывисто относительно ежедневного графика потребления, т.е., предпочтительно в ночное время, а также в выходные дни, и переключать их работу в ежедневном режиме во время максимального потребления – тогда станет возможным оптимизировать форму графика потребления электроэнергии и сбалансировать источники генерации.
- ◆ Если возможно работать с новыми большими технологическими установками, функционирование происходит непрерывно, а характер выработки и оборудования дадут возможность постоянно регулировать в двух направлениях в соответствии с формой графика ежедневного потребления, т.е., замедлять выработку во время максимума и увеличивать нагрузку в ночное время и в выходные дни – тогда это будет очень эффективным способом регулирования сети, особенно, в случаях существования значительных возобновляемых источников.
- ◆ Если невозможно работать с новым большим технологическим оборудованием, а функционирование происходит прерывисто или в диапазоне высокого регулирования – это ухудшит форму графика потребления и увеличит требование к регуляторным службам. В частности, если функционирование новых приборов будет прерывистым в соответствии с утренними или послеобеденными сдвигами, тогда увеличится первый и второй максимум.
- ◆ В случае нового электрического оборудования, которое используется для отопления и выработки горячей воды, форма графика потребления будет меняться в зависимости от отопительного периода. В общем, ежедневное потребление увеличится как в летний, так и в зимний периоды. Увеличенное ежедневное потребление в летний период не будет влиять на максимальное потребление (в зимний период) в Беларуси (поскольку, потребление в летний период ниже); вместо этого, оно, в основном, негативно повлияет на профиль летнего максимума и увеличит его значение. Потребление горячей воды, как правило, на 1 - 2 час раньше, чем максимум потребления электроэнергии.



Просто:

- ◆ В течение рабочего дня максимум начнется быстрее для достижения первого максимального значения (утро), т.е., люди просыпаются и начинают свою деятельность.
- ◆ В течение выходного дня максимум начинается в утренние часы примерно между 7-00 и 9-00.
- ◆ Послеобеденный пик сохранится, но в течение рабочего дня и выходных дней, послеобеденный максимум, возможно, будет длиннее ввиду потребления электроэнергии для горячей воды (напр., для принятия душа и ванной).
- ◆ Ежедневный максимум потребления тепла в течение отопительного периода, как правило, следует за потреблением воды, что опять же продлевает длительность максимума. Это касается, например, отопления жилых домов и зданий в утреннее время, затем в дальнейшем отопление отапливаемых жилых домов и зданий в послеобеденные и вечерние часы. На абсолютные значения графика потребления электроэнергии будет влиять в значительной мере продолжительность отопительного периода. Поэтому, важно выбрать соответствующим образом:
 - Сектор, где потребление электроэнергии для отопления будет предпочтительно реализовано, т.е., местные источники отопления или ЦТ, государственный сектор или сочетание секторов.
 - Рекомендованное технологическое оборудование, которое должно использоваться (с влиянием на потребление электроэнергии).
 - Стратегию соответствия потребления для обеспечения подачи тепла, т.е., моновалентный⁴ электрический источник или бивалентный⁵ источник, либо сочетание возобновляемых источников.
 - Масштаб подачи электроэнергии отдельным секторам, например, территория с достаточной инфраструктурой распределения или распределение в национальном масштабе с частичной процентной заменой.

Факторы выработки и их влияние на форму графика подачи электроэнергии

Состав генерирующих мощностей будет влиять на способность, как подачи, так и на регуляторную способность для реагирования на потребление. Баланс с высокой долей атомной генерации является приемлемым для обеспечения базовой постоянной подачи электроэнергии с целью соответствия диаграмме потребления, но у него меньшая динамика выполнения регуляторных требований, т.е., для регулирования максимума и минимума.

Доля технологий возобновляемой энергии, в частности, фотоэлектрических и ветровых станций имеет значительное влияние на профиль подачи электроэнергии в сеть. В общем, чем выше доля возобновляемых источников в балансе энергии, тем выше требования к оперативности, точности и объему регуляторных услуг.

- ◆ В случае, когда возобновляемые источники в энергетическом балансе имеют централизованный характер с целью подачи электроэнергии в сеть и нет возможности для удаленного отключения подачи от сети, график выработки может продлеваться за пределы потребления в течение относительно короткого периода времени (15 – 30 минут). Это происходит, как правило, в летний период или в переходные периоды с колебаниями, зависящими от погоды. Для поддержания баланса между генерацией и потреблением электроэнергии, необходимо обеспечить снижение генерации на других работающих источниках (а именно, установках на ископаемых видах топлива) в похожей тенденции как начало использования возобновляемых источников. Второй возможностью регулирования является использование избыточной электроэнергии для запуска важного оборудования в течение относительно короткого времени запуска,

⁴ Моновалентный источник отопления – подача тепла только из одного источника на весь отопительный период.

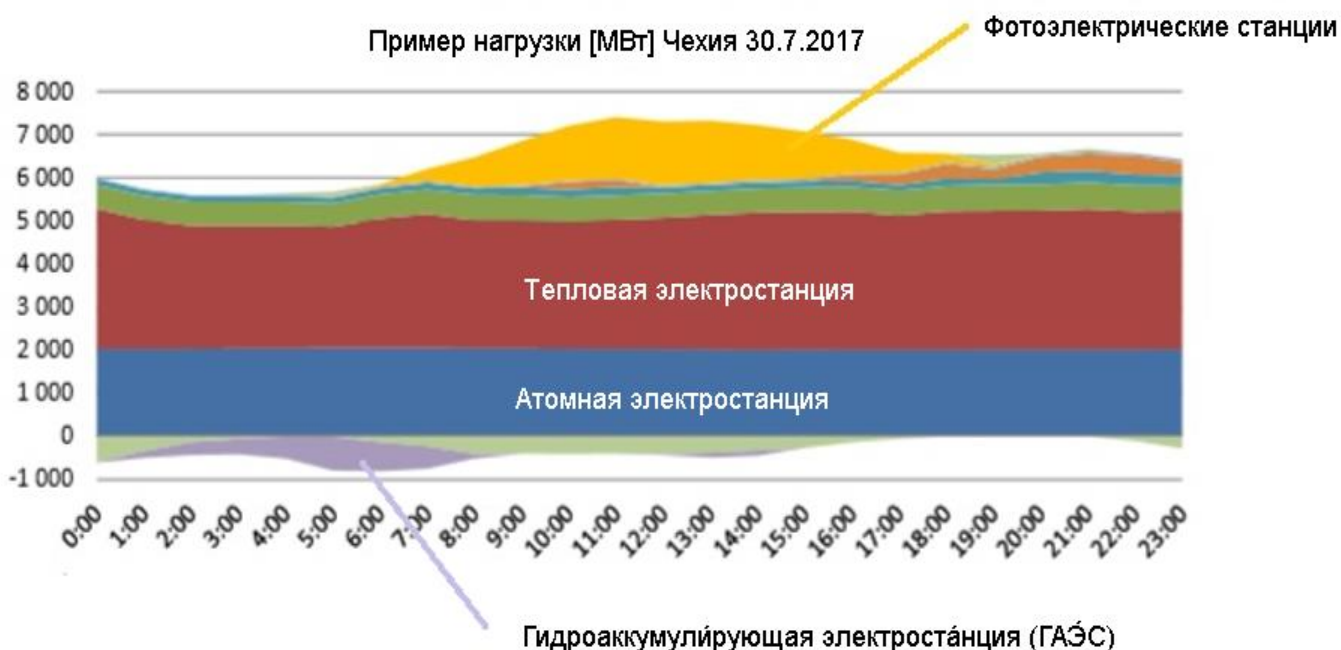
⁵ Бивалентный источник отопления – тепло поставляется из одного источника до достижения бивалентной температуры, а затем используется вспомогательный источник тепла. Бивалентная температура является точкой равновесия, когда мощность источника тепла равняется потере тепла зданием при температуре наружного воздуха на тот период.



например, жидкие насосные системы, системы аккумулирования энергии (батареи, вода, сжатый воздух, химические продукты и водород) либо оборудование, важное с точки зрения производственных процессов. Пример обычной динамики ежедневной нагрузки на сеть фотоэлектрических электростанций, включая противорегулирование избытка генерации для чешской энергетической сети показан на Рисунке 2-7. В этот день установленная мощность фотоэлектрических электростанций, подающих энергию в сеть, была 2,070 МВтэ, а максимум на выходе был близок к 72% от установленной мощности. Тенденция в динамике изменений в утренние часы составляла примерно 360 МВтэ в час.

- ◆ В случае, когда возобновляемые источники децентрализованы и находятся рядом со зданиями, в основном, для покрытия их собственного потребления и без возможности поставлять избыточную электроэнергию в сеть, ситуация значительно проще с точки зрения национального регулирования сети. Не будет значительных изменений формы национального графика потребления, будет только снижение абсолютной выработанной энергии. Для эффективного использования избыточной энергии считается приемлемым использовать системы аккумулирования отдельных децентрализованных источников, например, батареи, аккумулирование водяного отопления или электрические транспортные средства. Взаимосвязь возобновляемых источников и систем отопления на основе потребления электроэнергии в переходные периоды может влиять на профиль графика потребления в течение нескольких дней, особенно в дни или периоды дня, когда не достигнуто ожидаемого метеорологического явления. На график подачи электроэнергии из возобновляемых источников будет оказано влияние в незначительном количестве случаев.

Рисунок 2-7 Пример регулирования нагрузки и сети в течение обычного летнего дня работы фотоэлектрической электростанции (Источник: CEPS a.s.)



Увеличенное использование электромобилей также будет иметь влияние на графики потребления электроэнергии, но сектор транспорта не входит в сферу обзора Задачи 3.

2.2 Обзор современных технологий подачи тепла с использованием электрической энергии

2.2.1 Системы центрального теплоснабжения

Ниже описаны возможности использования электроэнергии в системах центрального теплоснабжения. Они включают следующее:

- ◆ Электрические котлы для непосредственного производства горячей воды и пара;
- ◆ Тепловые насосы, использующие электроэнергию для непосредственной подачи тепла и/или горячего водоснабжения;
- ◆ Аккумулирование тепла, используя избыточную электроэнергию.

Некоторые учебные примеры использования электрических котлов в сочетании с баками аккумуляторами в системах ЦТ показаны в Приложении В.

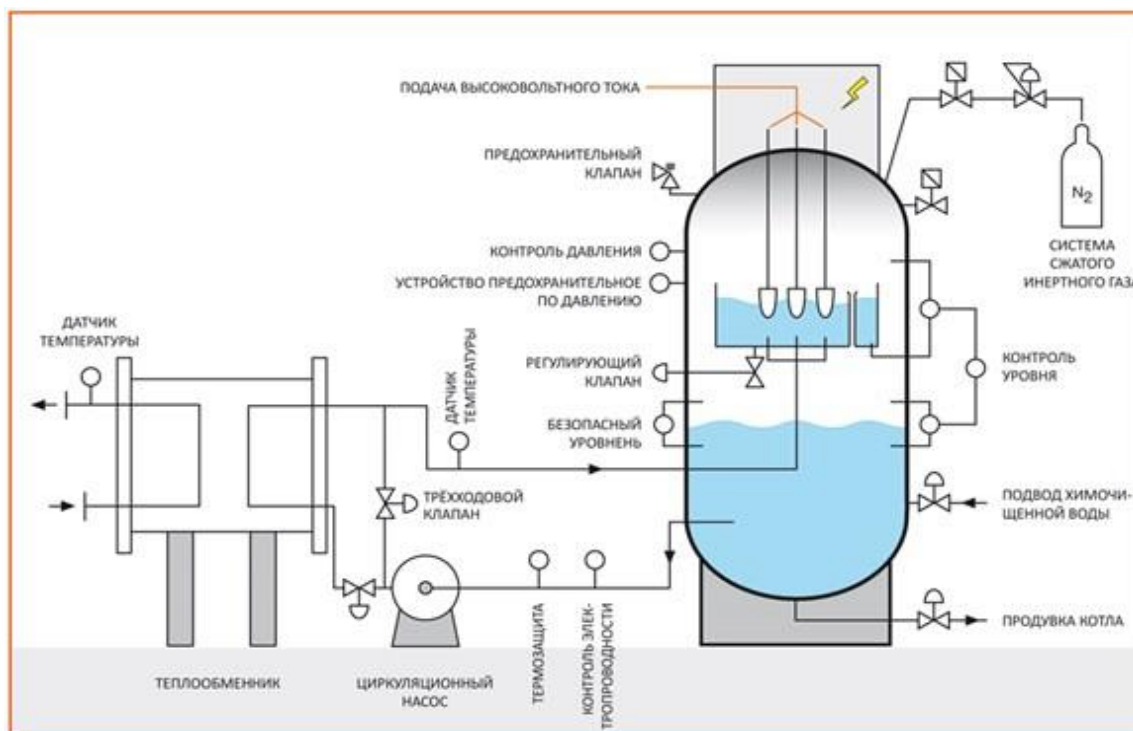
Электрические котлы

Первым вариантом электрической технологии, функционирующей в системе центрального теплоснабжения, является электрический котел, поскольку для него, как правило, нужны небольшие начальные инвестиции и техническое обслуживание. Перевод электрической энергии в тепло в большинстве случаев превышает 99%. Электрические котлы производятся в двух базовых технологических версиях, т.е., резистивного и электродного типов.

Элементы отопления с электросопротивлением: они основаны на том же принципе, что и подогреватели воды для горячего водоснабжения в обычном домохозяйстве. Они используются для небольших устройств до 2 МВт. Такие электрические котлы, как правило, подключены при невысоком напряжении.

Отопление с помощью электродов (Рисунок 2-8): Этот тип используется для больших устройств (более чем несколько МВт) и такие электроды непосредственно подключены к сети среднего или высокого напряжения. Самые крупные устройства в одной установке имеют мощность до 60 МВт.

Рисунок 2-8 Диаграмма электродного котла с подачей тепла воде (Источник: www.parat.no)





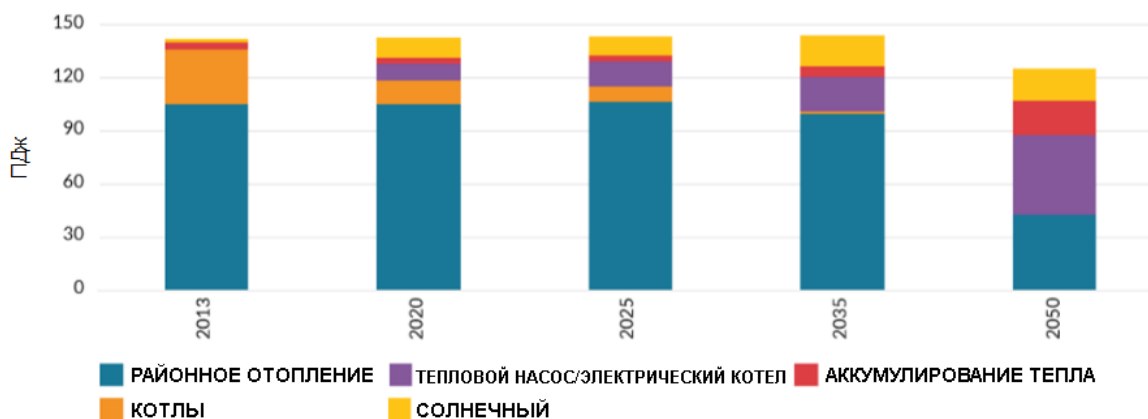
Электрические котлы могут производиться, как парогенераторы или как котлы, подающие горячую воду. С холодного состояния они достигают максимальной производительности в течение 5 минут; с состояния ненагруженного резерва максимум может достигаться в течение 30 секунд. Диапазон контроля составляет 0 – 100%. Требования к более высокой производительности выполняются путем установки большего количества установок. Максимальная температура подачи в высокотемпературной системе водяного отопления может достигать 190°C, в паре - 305°C, т.е., на самом деле, нет ограничений, особенно, в существующих системах распределения горячей воды и теплоты конденсации пара. Установки электрических котлов имеют компактный дизайн с очень небольшими размерами для монтажа. Риск увеличения инвестиций в монтаж электрических котлов при существующей выработке электроэнергии и тепла для систем центрального теплоснабжения должен быть очень низким ввиду технологического подключения оборудования к электросети.

Монтаж электрических котлов в системах центрального теплоснабжения в ЕС показывает тенденцию к увеличению, но доля выработанного тепла пока относительно низкая. В таблице 2-1 представлено информацию относительно монтажа и выработки электроэнергии от электрических котлов в Швеции, Дании и Норвегии⁶ в 2015 году (Источник: Электрические котлы в системах центрального теплоснабжения: Сравнительное изучение скандинавского рынка). На Рисунке 2-9 представлено ожидаемое развитие поступления тепла от электрических котлов для Дании.

Таблица 2-1 Базовая информация об использовании электрических котлов в системе центрального теплоснабжения в Скандинавии

	Швеция	Дания	Норвегия ⁷
Подача тепла от системы центрального теплоснабжения	32%	50%	5%
Тепло в системе центрального теплоснабжения от электрических котлов	Меньше чем 1%	Меньше чем 1%	13%

Рисунок 2-9 Ожидаемое использование электрических котлов в системах ЦТ в Дании к 2050 году (Источник: Наилучшие практики отопления от Дании и Германии)



В настоящее время основной функцией электрических котлов в системах центрального теплоснабжения ЕС является использование дешевой электроэнергии с возобновляемых источников. В то же время, таким способом обеспечивается негативное регулирование электрической энергии. Таким образом, котел, в основном, работает только тогда, когда ситуация на рынке экономически выгодная по сравнению с другими методами выработки тепла и электроэнергии (например, сгорание).

⁶ Норвегия не является членом ЕС, но она член Европейской экономической зоны (ЕЭЗ)

⁷ Норвегия вырабатывает примерно 98% электроэнергии из возобновляемых источников энергии. Производство энергии на гидроэлектростанциях составляет около 96%, а 2% производится с ветровой энергии. Баланс выработки энергии является уникальным, а цены на электроэнергию в Норвегии, обычно, самые низкие в Европе.



Важность вышеупомянутой основной современной роли электрических котлов является действительной также для систем центрального теплоснабжения в Германии. Предположения о потенциале избыточной электроэнергии в Германии (Источник: Потенциал технологий электрической и тепловой энергии в сетях центрального теплоснабжения в Германии) показывает избыток возобновляемой электроэнергии на 2015 год на уровне 0.04 ТВтчас^э в сумме примерно 200 часов, но на 2030 год прогнозируется 8.5 ТВтчас^э длительностью свыше 1,250 часов. Такие прогнозы рекомендуют также аккумулирование электроэнергии для теплоизлучающих целей на уровне примерно 30% от общей тепловой производительности систем центрального теплоснабжения.

Вторая, взаимодействующая роль электрических котлов в системах центрального теплоснабжения ЕС состоит в выравнивании профилей ежедневного потребления, с целью обеспечения пиковой выработки или работы в качестве резерва для подачи тепла. Использование электрического котла для выравнивания графиков ежедневного потребления тепла осуществляется, особенно, с целью экономической рентабельности.

Тепловые насосы

Тепловой насос является вторым вариантом в качестве источника электроэнергии для центрального теплоснабжения. По сравнению с электрическим котлом, тепловой насос является более сложным прибором. Сложность оборудования повышается, в частности, с более высокими требованиями к температурам на выходе и энергоэффективному функционированию. Стоимость прибора возрастает пропорционально его сложности. На самом деле, более крупные системы промышленных тепловых насосов показывают более низкую удельную инвестиционную стоимость (евро/кВт), чем установки в диапазоне от 50 до 100 кВт_{тыс.}

Превращение отпущенной электроэнергии в отпущенное тепло оценивается по так-называемому параметру COP (коэффициент полезного действия) или более точно SCOP (сезонный коэффициент полезного действия) или EER (коэффициент энергоэффективности). В общем, COP должен колебаться от 2.5 до 4.5, а EER - от 2 до 4. Однако значения обоих параметров сильно зависят от вводных условий и требований к выходным характеристикам. Как минимум, они могут быть близкими к $COP \rightarrow 1$, в благоприятных условиях COP может достигать 10. Тепловой насос использует для такой работы фазовое превращение жидкости внутреннего контура (хладагента), а его принцип работы может быть сравним с тем, что используется в бытовом холодильнике. Контур теплового насоса, так-называемый испаритель, получает низкопотенциальное тепло с окружающей среды или переработки отходов, в дальнейшем электроэнергия поступает для работы сжатия (или часть высокопотенциального тепла в зависимости от типа теплового насоса), а высокотемпературное тепло подается с использованием так-называемого конденсатора.

Технологическое проектирование высокоэффективных тепловых насосов (промышленные установки) может определяться в зависимости от среды получения низкопотенциального тепла и передачи высокопотенциального, т.е.:

- ♦ Воздухо-воздушные тепловые насосы вытягивают тепло из окружающего воздуха и подают тепло в местных условиях через воздушные теплообменники.
- ♦ Тепловые насосы с передачей тепла от воздуха к воде вытягивают тепло из окружающего воздуха и подают его через гидравлическую систему распределения тепла.
- ♦ Геотермальные тепловые насосы, как правило, используют энергию грунтовых вод с использованием водопроводных труб и затем распределяют тепло.

Для полноты технологического обзора существует также система “земля-вода”, но она используется, в основном, в небольших приборах. Большие промышленные установки наиболее часто обслуживаются системами с передачей тепла от воздуха к воде или геотермальными тепловыми насосами и очень часто предпринимаются усилия, чтобы подавать в насос сбросное тепло. Для некоторых установок тепловые насосы могут рассматриваться для использования низкопотенциального тепла от городских отходов, например, сбросное тепло от производственных процессов, сточных вод и т.д. Промышленные системы успешно используют двухступенчатый проект для достижения более высоких температур на выходе и для эффективности эксплуатации.



Внутреннее технологическое проектирование тепловых насосов можно разделить на:

- ◆ Тепловые насосы с компрессорным приводом: приводятся в действие с помощью электроэнергии или газа.
- ◆ Сорбционные тепловые насосы: они приводятся в действие с помощью газа или тепла (тепловые насосы, приводящиеся в действие с помощью тепла): Абсорбционные тепловые насосы и Адсорбционные тепловые насосы⁸.

В случае использования установок с компрессорным приводом, как правило, достигается более высокий COP за счет электроэнергии или природного газа, которые приводят в действие компрессор. В некоторых странах ЕС тепловые насосы, работающие на природном газе, представляют интересную оптимальную экономическую и экологическую альтернативу, в основном, для приборов мощностью 100 – 500 кВтч. Сорбционные тепловые насосы используют внешний источник тепла, например, пар или уходящие газы и, поэтому, используются в промышленных процессах, где имеются парогенераторы, избыточный пар или горячая вода.

Промышленные тепловые насосы имеют, как правило, диапазон от 400 кВтч до 4 МВтч (до 15 МВтч). Некоторые установки могут также успешно использоваться для подачи холода. Общий обзор параметров выбранных установок в ЕС представлен в Таблице 2-2.

Таблица 2-2 Выбранные установки больших тепловых насосов в Европейском Союзе и Норвегии

Город/страна	Тепловая мощность [МВт _ч]	Макс. температура [°C]	Хладагент
Marstal Fjernvarme//Дания	1.5	75	CO ₂
Drammen (центральное теплоснабжение) //Норвегия	15	90	Аммиак
Bjerringbro (центральное теплоснабжение)// Дания	3,7	70	Аммиак
Bjerringbro (центральное теплоснабжение) //Дания	0.9 (охлаждение)	70	(LiBr ⁹)/Вода
Vestforbraending//Дания	13 (охлаждение)	80	(LiBr)/Вода

Тепловой насос как электрический прибор может работать в относительно широком диапазоне регулирования и с относительно быстрым графиком начала потребления электроэнергии. Временной сдвиг стабильного низкопотенциального сбросного тепла или целевой выработки низкопотенциального холода всегда очень эффективный. Использование холода, в основном, связано с конкретной технологией, требующей замораживания или охлаждения. Недостатком теплового насоса является чувствительность удельной энергоёмкости к параметрам окружающей среды и необходимым выходным параметрам. Как правило, желательно подавать тепло от теплового насоса, в основном, к оборудованию, требующему уровней температуры в диапазоне 35°C – 55°C - 70°C. Как видно с таблицы 2-2, можно достигать температур до 90°C, но это пороговые температуры. Таким образом, использование теплового насоса в существующих системах центрального теплоснабжения будет иметь свои ограничения. Системы центрального теплоснабжения для горячей воды спроектированы и внедрены для передачи тепла при температурах до 110 °C, иногда до 160 °C. Температура обратной воды в системе центрального теплоснабжения, как правило, на уровне 50°C в течение летних месяцев и на уровне 65 – 70 °C в течение зимних месяцев.

Возможность использования теплового насоса в вышеупомянутом диапазоне температур отопления и обратного трубопровода можно ожидать, в основном, в течение летних месяцев. В зимний отопительный период использование теплового насоса будет частичным, как первый этап подогрева горячей воды. Затем, станет возможной подача в системы центрального

⁸ Абсорбция – процесс, осуществляемый в межфазной поверхности газ – жидкость, газ абсорбируется жидкостью. Адсорбция – процесс, осуществляемый в межфазной поверхности газ (или жидкость) – твердая поверхность, газ адсорбируется твердой поверхностью.

⁹ LiBr – бромистый литий



теплоснабжения для горячей воды (110°C) с целью покрытия летних месяцев и переходного периода. В течение зимнего периода необходимо будет дополнительное отопление для пиковой нагрузки. В случаях, когда мощность электрического подключения для источников центрального теплоснабжения является достаточной, тогда требования к размерам, эксплуатации и техническое обслуживание, или, возможно, обращение с хладагентами могут быть основными факторами, которые нужно принимать во внимание.

Аккумуляция тепла

Аккумуляция тепла само по себе не является электрической технологией. Самая большая выгода систем аккумуляции тепла состоит в превращении избытков электроэнергии в тепло и аккумуляции выработанной тепловой энергии для использования в последующих периодах эксплуатации. Таким образом, баки-аккумуляторы в сочетании с источником тепла дают возможность максимизировать использование избыточной электроэнергии из возобновляемых источников или оптимизировать ежедневный рабочий профиль, а также использовать традиционные источники ископаемого топлива. Когда существует избыток, аккумуляция “загружается” и во время увеличенного потребления, разгружается. Приемлемое время на загрузку может частично отличаться от возобновляемых и традиционных источников, но, в основном, предполагается, что ночное время будет использоваться для загрузки, а пиковое потребление тепла и электроэнергии для разгрузки. При аккумуляции тепла в баке-аккумуляторе тепло выделяется в окружающую среду; поэтому, желательно ограничивать размер бака-аккумулятора, используя приемлемую конструкцию.

Что касается возобновляемых источников, энергосбережение путем аккумуляции тепла обеспечивается с помощью максимизации выработки тепла в то время, когда существует максимальная выработка энергии из возобновляемых источников. Это означает, что энергия из возобновляемого источника перерабатывается в тепло и, следовательно, нет необходимости вырабатывать так много тепла из традиционного источника ископаемого топлива. Баки-аккумуляторы могут быть подключены к электрическому котлу с тем, чтобы усилить желаемый эффект регулирования сети в случае избытка электроэнергии.

В рамках второго сценария, т.е., когда используются традиционные источники сгорания (парогенераторы), экономия первичной энергии достигается на графике ежедневного потребления для оптимизации экономической рентабельности следующим образом:

- ◆ Когда в сети существует избыток электроэнергии, пар из бака-аккумулятора будет замедлять выработку электроэнергии из конденсационных установок и снижать его до более низкого рабочего уровня.
- ◆ В течение времени, когда существует нехватка электроэнергии в сети, источник аккумуляции сократит генерацию от ТЭЦ (поскольку с ТЭЦ понадобится меньше тепла) и увеличит выработку электроэнергии из конденсационных установок. Экономия первичного топлива в это время не будет достигнута непосредственно в источнике, но это произойдет на национальном уровне, поскольку необходимо будет активизировать дополнительные услуги по регулированию на основе традиционных ископаемых источников (пар) для обеспечения стабильности сети.

Баки-аккумуляторы могут иметь мощность для сезонной или ежедневной работы.

- ◆ Сезонные (большой мощности) баки-аккумуляторы используются для аккумуляции тепла из летнего периода эксплуатации. Затем тепло используется в осенний и зимний периоды. В 2015 году баки-аккумуляторы большой мощности - 203,000 м³ были введены в эксплуатацию в Войенс (Vojens) (Дания). Диапазон рабочих температур от 27 до 80°C; практический опыт на некоторых установках доказал эффективность работы таких баков на уровне 90%. По сравнению с ежедневными баками-аккумуляторами, удельная инвестиционная стоимость сезонных баков-аккумуляторов меньше, чем одна десятая ежедневных баков-аккумуляторов. Баки-аккумуляторы большой мощности могут включать несколько типов конструкции, например:

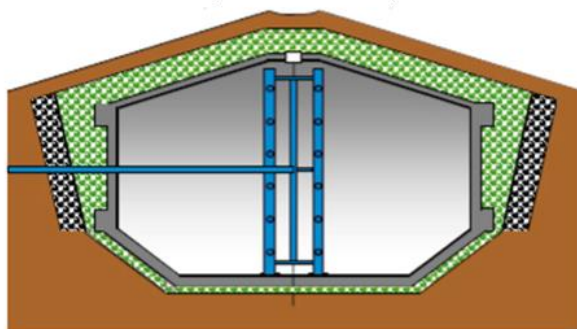


- UTES (подземный бак-аккумулятор тепла), в котором хранилищем могут быть геологические пласты, начиная от почвы или песка и заканчивая твердыми породами или водоносными горизонтами.
- BTES (скважинный бак-аккумулятор тепла). Резервы (запасы) BTES могут быть созданы везде, где могут быть пробурены скважины, и их диапазон может составлять от одной до сотен вертикальных скважин.
- ATES (бак-аккумулятор тепла в водоносном горизонте). Хранилище ATES создается как дублет, состоящий из двух или более скважин в глубоком водоносном горизонте, который находится между водонепроницаемыми геологическими пластами выше и ниже. Одна часть дублета используется для откачивания воды, а другая – для повторного закачивания, таким образом, что водоносный горизонт сохраняется в гидрологическом балансе без общего откачивания. Хранилищем тепла (или холода) является вода и почва, в которой она находится.

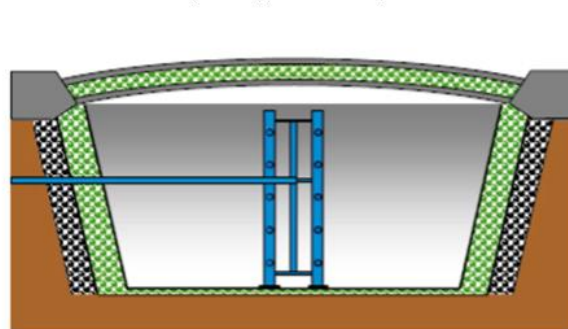
Схема конструкции бака-аккумулятора большой мощности показана на Рисунке 2-10.

Рисунок 2-10 Схема выбранных конструкций сезонных баков-аккумуляторов большой мощности (Источник: Energistyrelsen)

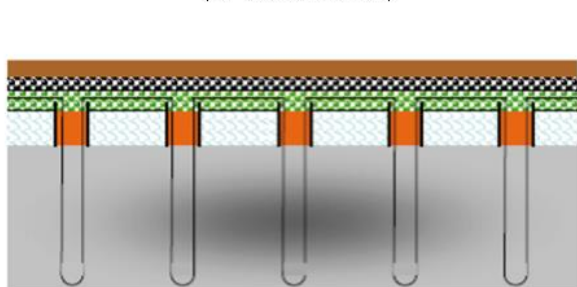
Аккумуляция тепловой энергии в подземных резервуарах (TTES)
(От 60 до 80кВтч/м³)



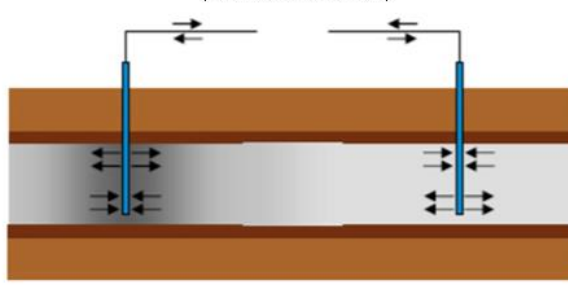
Шахтная теплоаккумулирующая установка (PTES)
(От 60 до 80кВтч/м³)



скважинный бак-аккумулятор тепла (BTES)
(От 15 до 30кВтч/м³)



бак-аккумулятор тепла в водоносном горизонте (ATES)
(От 30 до 40кВтч/м³)



- ◆ Дневные баки-аккумуляторы тепла – это баки-аккумуляторы, которые используются для оптимизации ежедневных систем подачи тепла и электроэнергии. Они часто используются для источников центрального теплоснабжения в сочетании с источником пары, электрически котлом, тепловым насосом и т. д. Как и в случае с электрическими котлами, в ЕС происходит увеличение использования таких установок. Для примера, в таблице 2-3 ниже показан общий обзор выбранных баков-аккумуляторов в Германии. Ежедневные баки-аккумуляторы имеют, как правило, одну из двух конструкций:

- Напорная конструкция – в основном, узкие сосуды, подключенные сериями для достижения постепенного напора. Их преимущество состоит в большей аккумуляции тепла в меньшем объеме и более высокой достижимой температуре горячей воды.



- Безнапорная (атмосферная) конструкция – в основном, цилиндрические сосуды большого объема. Рабочие температуры до 90°C (или специальные конструкции до 110°C) с большей емкостью аккумуляирования. Существуют более жесткие требования для места монтажа.

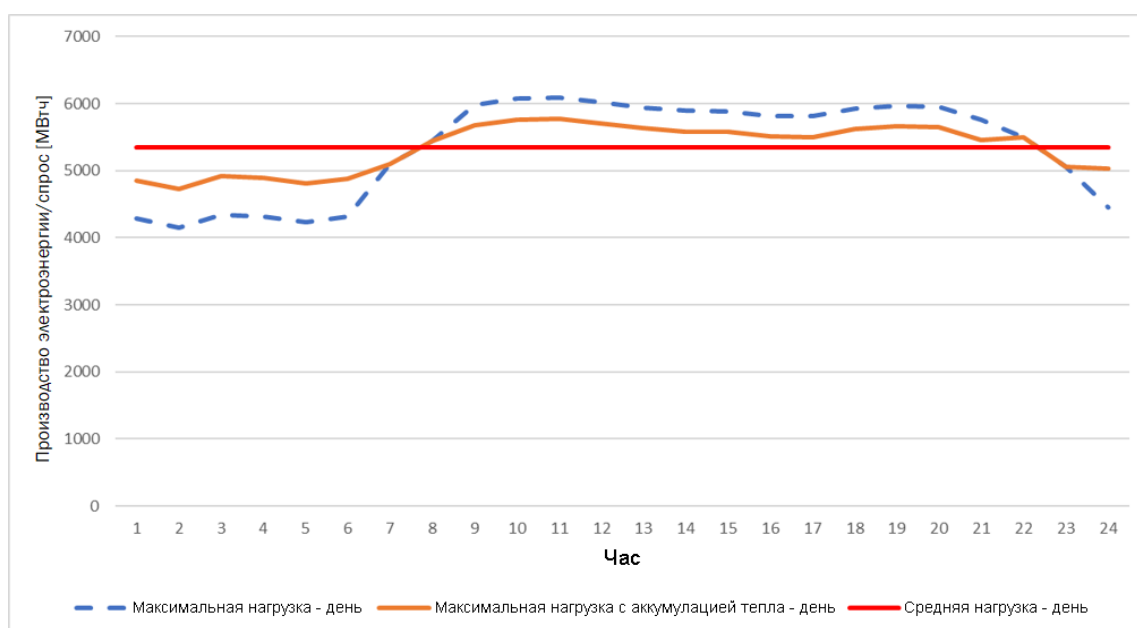
С точки зрения использования источников центрального теплоснабжения и частичной замены мощности генерации для сжигания ископаемых видов топлива, ежедневные баки-аккумуляторы в сочетании с источником пара или электрическим котлом имеют самый большой потенциал для оптимальных решений.

Таблица 2-3 Общий обзор выбранных баков-аккумуляторов в Германии

Место	Объем воды [м³]	Тепловая мощность [МВтчас]	Год
Дрезден	6600 + 7800	900	2018 (7800 м³)
Хемниц	3500 + 6000		2007 + 2019
Лейпциг		225	2015
Дессау	20 000	600	2016
Галле	50 000	2 000	2018
Потсдам	41 224	1 200	2016
Дуйсбург	43 800	1 450	2018
Берлин	10 000	300 (+ 120)	2015 (+ 2020)

На Рисунке 2-11 показан потенциал влияния на профиль графика потребления электроэнергии в зимний период с баками-аккумуляторами в Беларуси. Он основан на предположении, что будет установлено 4,000 МВтчас^{тыс} тепловой емкости¹⁰. График потенциала (светлокоричневая линия) перекрывает зимний профиль 2017 года (прерывистая голубая линия). Как можно увидеть, график потребления электроэнергии с аккумуляированием становится плоским с различием между максимальным и минимальным потреблением, сниженным с 32% до 18%.

Рисунок 2-11 Потенциал влияния графика потребления с баками-аккумуляторами, установленными в системе центрального теплоснабжения (Источник: НДЦ Беларуси, обработано экспертами компании ENVIROS)



¹⁰ Расчет основан на населении в больших городах Беларуси



2.2.2 Электрическое отопление и горячее водоснабжение для многоквартирных зданий

Решение современных технологий для водяного и воздушного отопления в многоквартирных зданиях ориентировано, в основном, на максимальное использование возобновляемых источников. Модернизация оборудования направлена, в основном, на так-называемое разумное регулирование и интеллектуальные сети. Технологии, которые используют только электроэнергию для водяного отопления и воздушного отопления, были известны давно. Они включают следующее:

- ◆ Прямые электрические источники питания для отопления (радиаторы, панели или электрические котлы);
- ◆ Прямые электрические источники питания для производства горячей воды (проточные и аккумуляторные);
- ◆ Комбинированные электрические источники питания для отопления и производства горячей воды;
- ◆ Тепловые насосы для отопления и производства горячей воды;
- ◆ Тепловые насосы для отопления и производства горячей воды с дополнительным водяным отоплением с помощью прямого электрического источника питания;
- ◆ Двухступенчатый источник отопления с использованием тепловых насосов для отопления и производства горячей воды и прямой электронагрев для выполнения требований, связанных с пиковым дополнительным водяным и воздушным отоплением;
- ◆ Системы утилизации тепла (возможно, оборудованные прямыми электрическими источниками питания с пиковой нагрузкой).

Учебные примеры использования электрических котлов и тепловых насосов в сочетании с баками аккумуляторами в многоквартирных зданиях показаны в Приложении В.

Прямые электрические нагреватели – это приборы, не требующие ремонта с низкими инвестиционными затратами. Основным техническим требованием является достаточная электрическая мощность подключения.

Основным использованием электрических радиаторов для отопления является следующее:

- ◆ Дополнительные радиаторы для неотапливаемых помещений или помещений с низкой подачей тепла. Потребление бывает нерегулярным или пиковым. Такие радиаторы изготавливаются для работы при высоких и низких температурах.

Электрические котлы (прямые электрические источники питания) или объединенные электрические панели (встроенные в конструкции) наиболее часто используются для отопления в двух случаях:

- ◆ Потребление тепла является нерегулярным и достаточно краткосрочным, т.е., здание более-менее не используется или функционирует в неотапливаемый период.
- ◆ Годовое потребление тепла находится на очень низком уровне (здания с низким потреблением энергии, пассивные здания) и, поэтому, нет необходимости инвестировать в другой источник тепла с нужной продуктивностью.

Электрический котел может использоваться как альтернатива при конкретных условиях монтажа, например, отсутствие подачи газа, требование к небольшим размерам установки или необходимость в отделении систем отопления выбранных жилых помещений.

Производство горячей воды с использованием прямого электрического источника питания:

- ◆ Мгновенные водоподогреватели устанавливаются, в основном, возле места индивидуального потребления воды или в пределах многоквартирного дома, например, для отделения жилой зоны от системы теплоснабжения здания. Их использование рекомендовано для нерегулярного потребления или более низких уровней постоянного потребления.



- ♦ Баки-аккумуляторы горячей воды, использующие прямой источник, дающие возможность подогревать большой объем воды, который затем можно хранить. Подогрев можно осуществлять либо сквозным путем, либо непосредственно в баке-аккумуляторе. Бак-аккумулятор служит для балансирования пикового потребления воды и, в то же время, снижено требование к электрической мощности подключения. Очень часто он сочетается с системой отопления (электрический котел, газовый котел, тепловые насосы). В случае многоквартирных зданий, рекомендуется система аккумулирования.

Комбинированные электрические источники питания для отопления и производства горячей воды:

- ♦ Комбинированный источник используется для производства горячей воды, а также для подачи тепла в систему воздушного отопления. Опять же, аккумулирование более предпочтительно, в основном, для горячего водоснабжения. Подогрев воды для горячего водоснабжения может быть организован в так-называемых каскадах, т.е., общая тепловая мощность обеспечивается несколькими меньшими источниками. Электрический котел часто используется как один из комбинированных источников, например, для покрытия пиковых нагрузок наравне с тепловым насосом.

Таблица 2-4 Типовой диапазон выходных значений электрических источников питания (прямой нагрев)

Технология	Типичная мощность оборудования
Дополнительные электрические радиаторы	100 Вт – 4 кВт (радиатор)
Электрические котлы – прямой электрический источник питания	2 кВт – примерно 60 кВт
Производство горячей воды с использованием прямого электрического источника питания	0.5 кВт – 7 кВт
Комбинированные источники	2 кВт – примерно 60 кВт

В случае электрических котлов и комбинированных источников, общая мощность может быть увеличена путем установки комбинированных котлов по типу 'каскада'.

Тепловые насосы для воздушного отопления

- ♦ Работа теплового насоса была описана в Разделе 2.2.1. Технологии воздух-воздух, воздух-вода и вода-вода используются, в основном, в системах отопления жилых зданий; технологии "грунт-вода" используются реже. Конструкция теплового насоса может быть с компрессором (применяется чаще) или абсорбционного типа, выполняя часть требования относительно высокой температуры. В жилом здании, требующем кондиционирования воздуха, или в коммерческих зданиях, контур теплового насоса может использоваться в обратном направлении для подачи холода. В дальнейшем, тепловые насосы классифицируются согласно внутренней схеме сборки, так-называемой 1-ступенчатой (чаще используется) или 2-ступенчатой (используется, в основном, в промышленности – более высокие температуры, более сложные) или в соответствии с местоположением отдельных компонентов – совмещенные или отдельные. В отдельных установках имеется внешний компрессор, вентилятор и испаритель; благодаря такой компоновке устраняются шумовые эффекты и сложности функционирования при низких (ниже нуля) внешних температурах.
- ♦ Использование теплового насоса для систем отопления с низкими температурами (от 35 до 55°C) в долгосрочном режиме нагрузки является благоприятным и тестируется на долгосрочной основе. Такие насосы не являются приемлемыми для зданий, построенных до 1993 года, где системы отопления были спроектированы для более высоких температур на входе. И наоборот, здания, построенные согласно пассивному стандарту, здания с низким потреблением энергии, здания с установленными системами отопления для низких градиентов температур, например, пол с подогревом, являются потенциально приемлемыми зданиями для тепловых насосов. В зданиях, где запланирована реконструкция, которая приводит к использованию модернизированных систем отопления при низких температурах, или в зданиях с высокой энергоэффективностью (в результате применения мероприятий по энергоэффективности), тогда такое здание будет нуждаться в



потреблении энергии, и в таком случае температура существующей системы отопления может быть снижена, что будет приемлемо для использования тепловых насосов.

- ◆ Что касается тепловых насосов, то желательно решить вопрос моновалентности или бивалентности (см. стр. 12). Бивалентный источник приводит к оптимизации инвестиций в тепловые насосы, поскольку они будут работать большую часть отопительного периода благодаря сравнительно простому технологическому решению, а пиковые мощности будут покрываться за счет другого источника (электрический источник питания, газовый источник). Такое решение эффективно используется для зданий, уже оборудованных первоначальным источником, и которые будут сохраняться во время реконструкции, но будут использоваться только как резервный источник и для пиковой нагрузки. И, наоборот, моновалентный источник спроектирован для работы в течение всего отопительного периода.
- ◆ Самой последней тенденцией в тепловых насосах в жилом секторе является отопление относительно:
 - Достижения более высоких температур на выходе, таким образом, станет возможным использовать их в нереконструированных системах отопления.
 - Гибридной конструкции, когда тепловой насос сочетается с газовым котлом, и источники используются совместно в соответствии с некоторыми критериями (температуры наружного воздуха, стоимость энергии и т. д.). Опять же, считается возможным использовать их в нереконструированных системах отопления, включая подачу горячей воды.
 - Конструкции газового источника (см. Раздел 2.2.1), что является эффективным, в основном, при реконструкции зданий с сохранением источника тепла, подключенного к прибору подачи газа. Такое решение является очень перспективным в местах или для энергобалансов с высокой долей природного газа и где прикладываются усилия для снижения такой зависимости, в то же время, сохраняя низкие цены на подаваемое топливо. Недостаток состоит в сложности (и, следовательно, стоимости) установленного оборудования.

Тепловые насосы для воздушного отопления и производства горячей воды с дополнительным водяным отоплением, используя прямой электрический источник питания:

- ◆ В общем, тепловой насос может использоваться только для производства горячей воды, но в большинстве случаев это требование сочетается с воздушным отоплением. Отдельное использование теплового насоса для водяного обогрева может применяться в жилом секторе с установками в многоквартирных зданиях, которые надлежащим образом реконструированы или недавно построены (пассивные здания, здания с низким потреблением энергии). Как и в предыдущих параграфах, наиболее эффективная работа тепловых насосов в сочетании с воздушным отоплением и производством горячей воды, как правило, достигается при работе систем отопления при низких температурах на входе в реконструированном здании, здании с низким потреблением энергии и т. д.
- ◆ Конструкция теплового насоса, включая производство горячей воды, основана на тепловом насосе, как описано в предыдущем разделе. Тепловой насос используется в сочетании с отоплением помещений для водяного отопления. Как правило, система оборудована баком-аккумулятором. Считается всегда хорошей идеей выбирать баки, спроектированные для работы с тепловым насосом, поскольку они задуманы для такого применения (поверхности теплообмена, изоляция, объемы и т. д.). В тех случаях, когда требования к температуре горячей воды на одном и том же уровне, что и температура входа в системы отопления (более высокие уровни температур, обычно, свыше 55°C), горячая вода, как правило, производится с непосредственным использованием теплового насоса.
- ◆ В случаях, когда требования к температуре горячей воды выше, чем требование к работе системы отопления (отопление на уровнях 35 – 55°C), тогда горячая вода производится с использованием другого источника, например, дополнительный прямой электронагрев. Для достижения оптимальной эффективности энергии и инвестиций, использования дежурного отопления, используется тепловой насос с дополнительным отоплением до высоких



температур при помощи электронагрева в баке-аккумуляторе. Может также использоваться пиковый котел, который спроектирован, в основном, для воздушного отопления. Некоторые решения ограничены температурой наружного воздуха, т.е., горячая вода может производиться при желаемых температурах до некоторых уровней температуры наружного воздуха; если температура падает ниже определенного уровня, тогда использование теплового насоса для воздушного отопления и для производства горячей воды обеспечивается с помощью второго источника.

Бивалентный источник отопления, используя тепловые насосы для воздушного отопления и производства горячей воды, а также прямой электронагрев с целью обеспечения пикового потребления для дополнительного отопления в отопительный период, и для производства горячей воды.

- ◆ Последней тенденцией является подведение бивалентного источника, в качестве комплексного решения, при монтаже теплового насоса – см., например, вышеупомянутую гибридную конструкцию. Бивалентный источник является источником, гарантирующим подачу тепла, производство горячей воды, а также обе такие функции в периоды, когда действие теплового насоса неэффективно, или мощность теплового насоса уже неэффективна. Этот источник имеет также резервную функцию, хотя она, обычно, не оценивается как резервная на 100%. Однако, бивалентный источник может также использоваться и применяться отдельно от применения теплового насоса, например, в качестве резервной и пиковой нагрузки от первоисточников.
- ◆ Вспомогательные источники в бивалентном источнике отопления можно, практически, разделить на две группы:
 - Электрический источник (электрический котел, электрические элементы в резервуаре воды);
 - Источник сжигания газа (газовый котел, конденсаторный газовый котел, горелка).

Таблица 2-5 Диапазоны типичных мощностей и COP теплового насоса

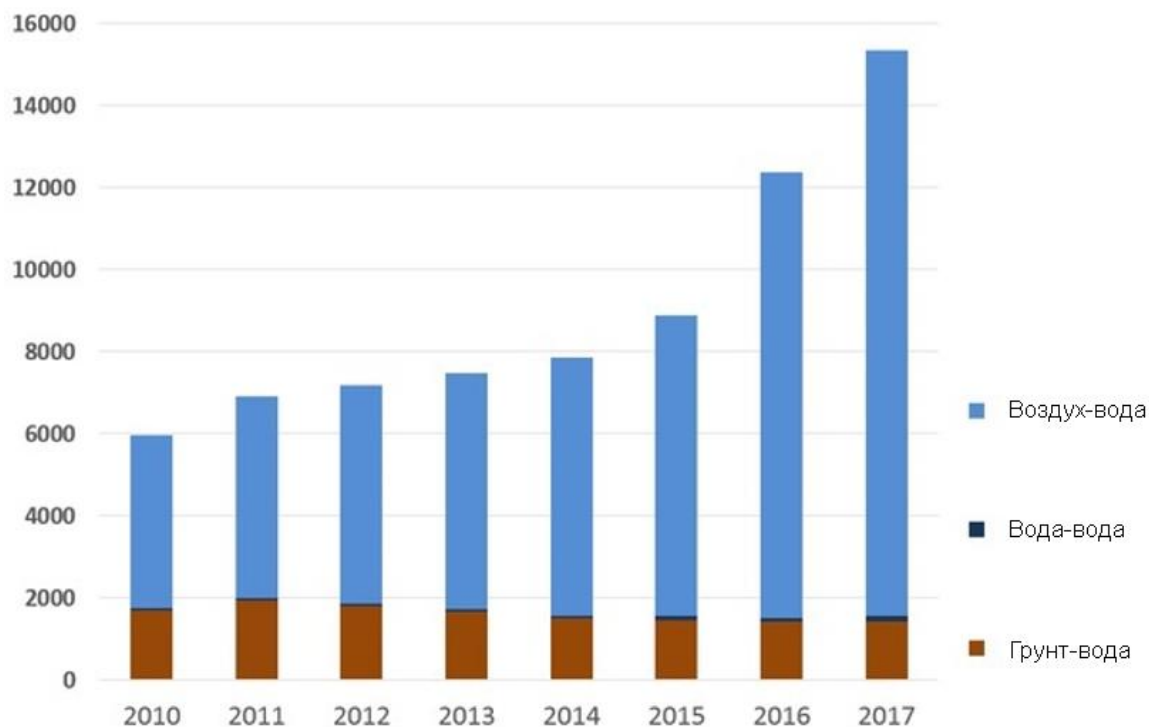
Технология	Тепловая мощность	COP
Воздух-воздух	5 – 50 кВт	3.5 – 5.5
Воздух-вода	3 – 100 кВт (каскады до 1600 кВт)	2.5 - 5
Воздух-вода (высокая температура)	3 – 100 кВт (каскады до 500 кВт)	2.0 – 4.5
Вода-вода	3 – 100 кВт (каскады до 1600 кВт)	3.5 - 7
Грунт-вода	5 – 100 кВт (каскады до 600 кВт)	4 - 5
Функционирование с электрическим котлом	3 – 100 кВт (каскады)	1.6 – 2.8

Тенденции в установке тепловых насосов в ЕС

За последние 4 года тенденция в установке тепловых насосов составляла 15% от ежегодного роста в ЕС. Эволюция монтажа тепловых насосов за период 2010 – 2017 гг. в Чешской Республике показана на Рисунке 2-12.

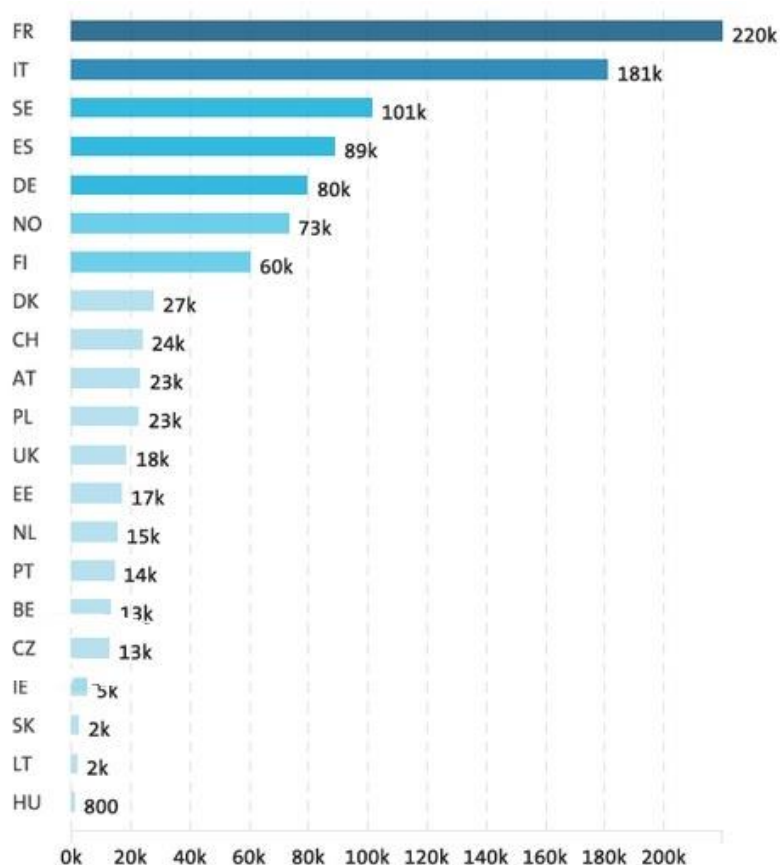


Рисунок 2-12 Тенденция в эволюции монтажа тепловых насосов в Чешской Республике (Источник: tzb-info.cz)



Количество установок в отдельных Государствах-членах ЕС в 2016 показано на Рисунке 2-13.

Рисунок 2-13 Количество тепловых насосов в Государствах-членах ЕС в 2016 г. (Источник: tzb-info.cz)





Технология систем утилизации тепла

- ◆ Самое большое распространение технологий с утилизацией тепла приходится на дома с низким потреблением энергии, пассивные дома, модернизированные дома и т. д. Как правило, сбросное тепло от вентиляции используется для подогрева вновь поступившего воздуха с помощью регенеративного теплообменника. Считается возможным получить тепло от конкретных источников таких, как технологии отходов, вода с плавательного бассейна, грунтовые воды. Сбросное тепло может использоваться в качестве источника тепла в сочетании с работой теплового насоса.
- ◆ Обычные установки утилизации тепла (теплообменник) в системах воздух-воздух способны утилизировать около 30-60% тепла с поступившего воздуха. Более сложные и большие по размерам установки могут достигать КПД в утилизации тепла на уровне до 90%.
- ◆ В качестве альтернативы наиболее часто используемому регенеративному теплообменнику существуют так-называемые тепловые трубки (увеличивающие утилизацию тепла), где используется испарение и конденсация жидкого теплоносителя. Контактные методы утилизации тепла, где применяется приемлемый теплоноситель в контактных промывочных устройствах, в основном, можно встретить в промышленности.
- ◆ Рекуперированное тепло из воздуха поступает в:
 - Выпарной аппарат с тепловым насосом или испаритель расположен непосредственно в комнате со сбросным теплом;
 - Отводящий канал тепла через воду из устройства для воздухо- или водообмена, расположенный в комнате со сбросным теплом;
 - Теплообменники, находящиеся в центральных вентиляционных установках;
 - Большие теплообменники без вентиляторов.
- ◆ Утилизация тепла со сточных вод, вод от процессов охлаждения, сточных вод плавательных бассейнов, сточных вод из жилых зданий, других вод от специальных промышленных процессов, как правило, через:
 - Крышные или трубные обменники, если вода не загрязнена;
 - Теплообменники с промывкой загрязненных вод;
 - Отводящие каналы тепла через стенку канализационного трубопровода;
 - Теплообменники, расположенные в выгребных ямах или резервуарах для сточных вод.
- ◆ В некоторых системах утилизации тепла, где подача сбросного тепла неравномерная, используются резервуары для сточных вод для обеспечения утилизации тепла в течение более длительного периода.
- ◆ Системы, работающие на температурах тепловых насосов и сточных вод свыше 25°C, используются в многоступенчатых режимах, что означает использование теплообменника на первом этапе, а на втором этапе – использование теплового насоса.

Системы управления – автоматическое потребление тепла

Разработка интеллектуальных технологий и подготовка к распределенной генерации для так-называемых интеллектуальных сетей расширяет варианты автоматического регулирования потребления тепла, упрощает работу системы и снижает необходимость участия персонала в операциях. Важными условиями для оптимального функционирования автоматического управления потреблением тепла являются достаточные устройства со средствами регулирования для обеспечения системы актуальной информацией о состоянии в режиме реального времени работающего оборудования и периферии.

Основными элементами автоматического отопления являются те, которые, на основе потребления индивидуальными квартирами или приборами, управляют регуляторами с целью выполнения требований к тепловому комфорту (контроль времени и температуры).

Соответствующие тенденции в системах регулирования потребления тепла в ЕС в настоящее время направлены на:



- ◆ Регулирование и использование любого варианта аккумулирования электроэнергии для подачи тепла (сеть центрального теплоснабжения или собственные нужды).
- ◆ Максимизация объединения и подключения возобновляемых источников энергии в качестве основного и синергического источника выработки тепла.
- ◆ Улучшенное управление вопросами выработки тепла, в основном, с влиянием на потребление электроэнергии, либо как часть долгосрочного контроля распределительной сети, или при оптимизации использования электроэнергии для тепла в различные временные периоды.
- ◆ Оптимизация выработки тепла относительно последовательности, отключения или аварийной работы в соответствии с прогнозом погоды.
- ◆ Энергоэкономическая оптимизация для использования конкретных источников выработки тепла. Она используется, в основном, в жилых зданиях, где существует несколько источников тепла, например, утилизация тепла, тепловые насосы, газовые котлы. Система регулирования дает возможность установить приоритет работы не только относительно эффективности преобразования энергии, но также относительно цены на закупленную энергию. Считается возможным в течение летнего периода покупать более дешевый природный газ для использования в газовом тепловом насосе или в случае низких цен на электроэнергию, поставлять тепло в систему горячего водоснабжения с помощью электрических приборов.

В целом, системы регулирования в больших центрах и многоквартирных комплексах контролируют возможность использования избыточной энергии от возобновляемых источников наряду с эффективными установками рабочего режима, включая целенаправленный выбор времени для подачи, приоритетное использование сбросного тепла, долгосрочное техническое обслуживание и работа в автоматическом режиме по выработке тепла, а также более высокий комфорт для пользователя на основе контроля индивидуальных зон.

2.2.3 Электроотопление и горячее водоснабжение для индивидуальных жилых домов

Технологии использования для отопления и горячего водоснабжения в индивидуальных жилых домах можно классифицировать таким же образом, как и в Главе 2.1.2.

Диапазон технических параметров, например, эффективность или COP, был ранее показан в Таблице 2-4 и 2-5. Основные различия установок и технологий для индивидуальных жилых домов по сравнению с промышленными решениями и крупными жилыми комплексами объясняются следующим образом:

- ◆ Источники (электрические котлы, тепловые насосы) имеют более низкую мощность. Максимальная мощность находится, в основном, на уровне 32 кВт или ниже.
- ◆ Оборудование технически проще по сравнению с продукцией, произведенной для больших установок, что приводит к более низкой цене покупки компонентов. Различия в качестве оборудования более частые (опять же, это влияет на цену покупки).
- ◆ Источники индивидуализированы для использования в отдельном здании.
- ◆ Установки с наименьшей мощностью используют, в частности, компактную конструкцию для экономии места. В общем, размер похож на тот, что и в больших бытовых приборах, например, стиральная машина.

Электрические источники питания

- ◆ Электрические котлы и другие электрические приборы изготавливаются для использования низкого напряжения.
- ◆ Электрические котлы и другие электрические источники питания, системы утилизации тепла, в основном, используются в зданиях с низким потреблением энергии и индивидуальных жилых домах. Сочетание отопления с помещением нагревательных приборов под полом (используя нагревательные кабельные системы) с традиционными электроподогревателями широко распространено для таких типов зданий.



- ◆ Можно предположить, что использование электрических котлов в зданиях с первоначальной электрической проводкой будет ограничено мощностью.

Тепловые насосы

- ◆ Большинство тепловых насосов используют одиночный контур хладагента.
- ◆ Самая высокая производительность (или COP) достигается в системах отопления при низких температурах на входе (в основном, недавно построенные здания).
- ◆ Тепловые насосы производятся отдельно для воздушного отопления и отдельно для производства горячей воды, либо в качестве комплексного решения, т.е., совместно для отопления и производства горячей воды.
- ◆ Как и с предыдущими тепловыми насосами, для сравнения эффективности индивидуальных приборов, важно контролировать одинаковые эталонные условия для систем. Для быстрого информирования пользователя, значения энергоэффективности прибора оцениваются в соответствии со стандартами ЕС по классу энергоэффективности и маркировки энергоэффективности.
- ◆ Рекомендация для моновалентного или бивалентного источника определяется самой низкой рабочей температурой теплового насоса по сравнению с тепловыми потерями здания или мощности источника. В случае бивалентного источника, рекомендуется использование теплового насоса на уровне примерно 70% - 90% от периода, т.е., например, для центрально-европейских условий ниже -7 - -10°C. Оставшаяся часть периода будет покрываться бивалентным источником.
- ◆ Тенденция в использовании тепловых насосов сосредоточена на следующих применениях:
 - Тепловые насосы для первоначальных систем отопления (высокотемпературные тепловые насосы);
 - Взаимодействие с возобновляемыми источниками и баком-аккумулятором сочеталось, в основном, с производством горячей воды;
 - Комбинированный тепловой насос для воздушного отопления и кондиционирования воздуха;
 - Сочетание работы теплового насоса с другим источником (газовый котел, твердые виды топлива) для единой системы отопления;
 - Установки воздух-воздух в северных странах за пределами основных жилых районов (коттеджи и т. д.).

2.2.4 Возможность сочетания сетевых возобновляемых источников энергии.

Использование возобновляемых источников интенсивно развивается в ЕС. Стратегия и тенденция всех возобновляемых источников в ЕС направлены на:

- ◆ Увеличение генерирующих мощностей;
- ◆ Обеспечение передачи сгенерированной энергии на оборудование потребителя;
- ◆ Аккумулирование (тепло, аккумулирование электроэнергии, батареи)
- ◆ Агрерирование небольших источников в виртуальные установки для управления потреблением.

Как в случае с потреблением, так и с генерацией, подход к использованию возобновляемых источников регулируется экономической рентабельностью и экологическими выгодами.

В секторе центрального теплоснабжения, используются, в основном, избытки возобновляемой электроэнергии для:

- ◆ Производства тепла (электрические котлы, промышленные тепловые насосы);
- ◆ Аккумулирования тепла (баки-аккумуляторы, сети центрального теплоснабжения);
- ◆ Оказания услуг по регулированию (для более высокой рентабельности и более низкого объема);



- ◆ Снижения собственного потребления.

В то же время, нехватка электроэнергии от возобновляемых источников по сравнению с фактическим потреблением покрывается за счет традиционных (пар) источников с помощью услуг по регулированию. Промышленные предприятия и производственные компании с собственной генерацией энергии или системами центрального теплоснабжения включают возобновляемые источники (например, солнечные фотоэлектрические панели) в свой технологический баланс для снижения своего потребления электроэнергии от сети.

Некоторые компании в северной Европе также используют ветровые электростанции для частичного покрытия своего потребления. Увеличивается сжигание биомассы и отходов для производства тепла (пара), например, у основных производителей автомобилей в ЕС. Использование отходов в качестве топлива широко распространено в цементной промышленности. В производственной деятельности в текстильной и пищевой промышленности и т.д. присутствует сбросное тепло, которое используется в тепловых насосах для различных целей, например, производство тепла и горячей воды или подача низкопотенциального тепла для производственных процессов. Вблизи сельскохозяйственных предприятий располагаются биогазовые установки с когенерацией. Возобновляемые источники используются в сочетании с традиционными источниками сгорания на меньших децентрализованных местных отопительных котельных. Выработанная электроэнергия используется для сельскохозяйственного производства, собственного потребления или подается в сеть. Системы аккумуляторных батарей широко используются возле больших возобновляемых источников выработки электроэнергии. Некоторые Государства-члены ЕС (например, Германия, Венгрия, Австрия, Италия, Франция) используют геотермальную энергию для дополнения систем центрального теплоснабжения или децентрализованных источников отопления.

Многоквартирные здания и индивидуальные жилые дома

В многоквартирных зданиях существует тенденция к увеличению энергетической самообеспеченности зданий. В ЕС считается обычной практикой видеть:

- ◆ Установку фотоэлектрических панелей для выработки электроэнергии;
- ◆ Установку баков-аккумуляторов (особенно, горячей воды или сочетание горячей воды плюс системы отопления). Тепло вырабатывается с использованием электроэнергии из ветра и фотоэлектрических панелей, а также солнечной энергии;
- ◆ Тепловые насосы вместе с другим источником (электроотопление, ископаемые виды топлива).

Недавно началась установка систем аккумуляторных батарей для хранения излишков электроэнергии из фотоэлектрических установок или других возобновляемых источников. Батареи служат не только для аккумуляции энергии, но также и для снятия пиков нагрузки, т.е., накопленная энергия из батареи высвобождается в пиковое время с целью избежать более высоких цен. Системы спроектированы таким способом, чтобы было возможно установить желаемый график работы приборов, например, батарея может заряжать электромобиль в то время, когда другие приборы заряжаются от сети (например, водяное отопление по дешевому тарифу). Возможно, также определить распределение нагрузки отдельных фаз заряженных батарей. Батарея подключена как к сети постоянного тока (фотоэлектрические панели), так и к сети переменного тока (электрическая сеть общего пользования), а система упреждающего контроля может использоваться для заблаговременного принятия решений в соответствии с прогнозом погоды о том, будет ли возможно вырабатывать энергию для перезарядки на следующий день, или будет более удобным перезарядить батарею ночью для использования преимуществ более низких тарифов.

Тенденция в многоквартирных зданиях распространяется и на индивидуальные жилые дома, хотя технические решения являются более чувствительными к индивидуальным случаям и к тарифам на электроэнергию.



2.3 Обзор структур тарифов, которые используются в ЕС

Установление индивидуальных групп тарифов в Государствах-членах ЕС отражает профиль ежедневных графиков потребления, энергобаланс генерации и ожидаемое использование электроэнергии. Большинство структур тарифов состоит из постоянных и переменных частей. Фиксированная часть цены связана с мощностью точки присоединения или другими фиксированными затратами; переменная часть включает платежи, связанные с количеством поставленной энергии. Крупные промышленные предприятия часто имеют специальные бизнес тарифы, которые некоторым образом направлены на отображение цены на оптовом рынке и, в то же время, включают значительные санкции за превышение согласованного потребления или заданных пределов.

Группы тарифов устанавливаются для мотивирования потребителей оптимизировать ежедневный график потребления, поддерживать потребление с более низким влиянием на окружающую среду и закреплять тенденцию фактической цена на энергию во время ее подачи. Группы розничных тарифов на покупку, как правило, проще относительно структуры контрактных условий; их функционирование определено фиксированным ежедневным профилем и максимальной мощностью подключения (автоматический выключатель) при заданном уровне напряжения. С точки зрения розничных покупателей, переменная часть цены является самой большой в счете за энергию. Технические решения относительно контроля потребления могут снизить цену компонента мощности (снижение мощности автоматического выключателя).

В целях этого обзора приводится сравнение структур тарифов трех европейских стран с различным энергобалансом (показатели 2018 года) – см. Таблицу 2-6. Они были выбраны из-за того, что Чешская Республика и Польша имеют похожие климатические условия с Беларусью и высокую долю центрального теплоснабжения, в то время как во Франции большая часть электроэнергии вырабатывается на атомных электростанциях. Структуры тарифов в Беларуси описаны в Разделе 6.2 в рамках Экономических аспектов схем электрификации.

Таблица 2-6 Сравнение баланса выработки электроэнергии с 2018 года

Источник	Чешская Республика	Польша	Франция
Атомная энергетика	34%	0%	73.2%
Уголь (твердый уголь)	47%	79.6% (58%)	1%
Природный газ	4%	5.8%	5.5%
ВИЭ	11%	7.2%	18.1%
Другие	4%	7.4%	2.2%

2.3.1 Чешская Республика

Сегментация потребителей электроэнергии в Чешской Республике основана на уровне потребления электроэнергии. Основными сегментами являются потребители с высоким потреблением и потребители с низким потреблением, которые затем разделены на более конкретные подгруппы.

Высокое потребление

- ♦ *Потребители с высоким потреблением на уровне сверхвысокого напряжения (СВН).* Потребители, чья точка потребления подключена к сети передачи под напряжением свыше 52 кВ.



- ◆ *Потребители с высоким потреблением на уровне высокого напряжения (ВН).* Потребители, чья точка потребления подключена к сети передачи или распределения под напряжением от 1 кВ до 52 кВ включительно.

Низкое потребление

- ◆ *Коммерческие - потребители с низким потреблением, компании.* Потребители в качестве юридических лиц, чья точка потребления подключена к сети распределения под напряжением до 1 кВ включительно.
- ◆ *Домохозяйства - потребители с низким потреблением, домохозяйства.* Потребители в качестве физических лиц, чья точка потребления подключена к сети распределения под напряжением до 1 кВ включительно, и которые используют электроэнергию для удовлетворения своих собственных нужд, связанных с жильем.

Таблица 2-7 Обзор ежегодного потребления в отдельных секторах потребителей

Категории потребителей	Потребление электроэнергии [ГВтчас]
Уровень СВН	7 898
Уровень ВН	24 627
Коммерческие	8 064
Домохозяйства	15 050

Сетевые тарифы в сегментах низкого потребления включают продукты по одноставочному и дифференцированному тарифам. Тарифные продукты колеблются в зависимости от того, использует ли потребитель электроэнергию только для освещения, или также для отопления и водяного отопления.

Таблица 2-8 Обзор тарифных продуктов в сегменте низкого потребления

Одноставочные тарифы			
Компании	Домохозяйства	Описание	Применение
ДА	ДА	Одноставочный тариф для низкого потребления	Обычное потребление, любые приборы
ДА	-	Одноставочный тариф для среднего потребления	
YES	ДА	Одноставочный тариф для высокого потребления	
ДА	-	Специальный тариф для освещения общественных мест	Уличное освещение
Дифференцированные тарифы			
Компании	Домохозяйства	Описание	Применение
ДА	ДА	Периоды применения низкой ставки – 8 часов	Водяное отопление и баки-аккумуляторы
ДА	ДА	Периоды применения низкой ставки – 8 часов – более высокое использование	
ДА	ДА	Периоды применения низкой ставки – 8 часов	Электромобили
ДА	ДА	Периоды применения низкой ставки – 16 часов	Комбинированное и гибридное отопление
ДА	ДА	Периоды применения низкой ставки – 20 часов	Электроотопление с высоким потреблением
ДА	ДА	Периоды применения низкой ставки – 20 часов	Гибриды или бытовые электроприборы
ДА	ДА	Периоды применения низкой ставки – 22 часа	Тепловые насосы
ДА	ДА	Периоды применения низкой ставки – 22 часа	
-	ДА	Периоды применения низкой ставки – 20 часов	Бытовые электроприборы
ДА	-	Специальный тариф для неограниченного потребления	
ДА	-	Специальный тариф для неограниченного потребления	Оказание интернет услуг для распространения
-	ДА	Дифференцированный тариф в режиме выходного дня	Шале/коттедж

Продукты по одноставочному тарифу

Все вышеупомянутые продукты по одноставочному тарифу приемлемы для большинства домохозяйств и компаний с обычным потреблением, которые не используют электроэнергию для воздушного и водяного отопления.



Цена электроэнергии является одинаковой в течение всего дня, и они используют приборы тогда, когда это нужно. Одноставочные тарифы для высокого потребления оплачиваются при низких ценах.

Тариф на уличное освещение – Одноставочный тариф на освещение общественных мест. Цена электроэнергии является одинаковой в течение дня и ночи.

Продукты по дифференцированному тарифу

Дифференцированные сетевые тарифы включают временные различия, то есть, когда нагрузка на сеть высокая, применяется высокий тариф, в то время, когда низкий тариф применяется в другие периоды. Такая система тарифов, дифференцированных по времени суток, дополняется техническими мероприятиями по использованию регулируемых приборов (в основном, приборов отопления). Такая система дает возможность изменять использование регулируемых приборов в диапазоны, когда нагрузка на распределительную систему ниже.

Распределитель электроэнергии определяет периоды применения низкой ставки таким образом, что общая продолжительность таких периодов, как минимум, равняется периодам применения низкой ставки за день. В течение дня распределитель может вносить рабочие изменения в периоды применения низкой ставки.

Периоды, распределенные на такие диапазоны, не должны быть одинаковыми для всех потребителей или для отдельных дней и они не должны быть включены в единый непрерывный период. Если диапазон применения низкой ставки разбивается в течение дня на большинство промежутков времени, тогда ни один из них не может быть короче одного часа. По просьбе потребителя распределитель разбивает восьмичасовой диапазон применимости низкой ставки на два промежутка времени при условии, что ни один из них не может быть короче трех часов.

Ниже представлено описание дифференцированного тарифа, который существует в Чешской Республике:

Восьмичасовое аккумулярование (различия только в количестве потребления электроэнергии)

Дифференцированный тариф с операционным контролем периодов применения низкой ставки для восьми часов.

Приемлемый для домохозяйств/компаний, которые используют баки-аккумуляторы или используют электроэнергию для подогрева воды. Восемь часов отводится ежедневно для низкого тарифа, когда электроэнергия значительно дешевле. Целесообразно подогревать воду или переключаться на работу бака-аккумулятора во время действия низкого тарифа.

Средняя цена электроэнергии при низком тарифе на 60% ниже, чем для электроэнергии, потребленной в периоды высокого тарифа для восьмичасового аккумулярования. В случае восьмичасового аккумулярования с более высоким использованием, низкий тариф на 40% дешевле, чем высокий тариф.

Электромобили

Дифференцированный тариф с операционным контролем периодов применения низкой ставки для восьми часов.

Этот тариф предназначен для точек подачи, для которых заявитель предоставляет убедительное доказательство права собственности или права пользования электромобилем. Распределитель определяет периоды применения низкого тарифа таким образом, чтобы общая продолжительность таких периодов была, как минимум восемь часов ежедневно с 18-00 до 8-00.

Различие между ценами высоких и низких тарифов на электроэнергию для электромобилей составляет около 60%.



Шестнадцатичасовое аккумулятивное

Дифференцированный тариф с операционным контролем периодов применения низкой ставки для 16 часов. Приемлемый для домохозяйств, которые используют комбинированное и гибридное отопление. Шестнадцать часов отводится ежедневно для низкого тарифа, когда электроэнергия значительно дешевле.

Цена электроэнергии при низком тарифе в рамках шестнадцатичасового аккумулятивного только на одну треть дешевле, но средние цены на электроэнергию при высоком тарифе значительно ниже, чем при тарифах в рамках восьмичасового аккумулятивного.

Центральное теплоснабжение

Дифференцированный тариф с операционным контролем периодов применения низкой ставки для 20 часов. Приемлемый для домохозяйств, которые используют прямой источник электроэнергии для отопления.

Цена электроэнергии для прямого отопления при низком тарифе примерно на 25% ниже, за исключением одноставочного тарифа, чья цена на электроэнергию в период действия низкого тарифа составляет примерно 40% от цены высокого тарифа.

Тепловые насосы

Дифференцированный тариф на отопление с использованием теплового насоса с операционным контролем периодов применения низкой ставки для 22 часов.

Цена электроэнергии для тепловых насосов в периоды низкого тарифа примерно на 25% ниже, чем цена высокого тарифа.

Выходной день

Шале и коттеджи – Дифференцированный тариф в режиме выходного дня. Приемлемый для зданий оздоровительных учреждений в выходной день. Более дешевая электроэнергия оплачивается всегда с пятницы полуночи до 22-00 воскресенья. Такой режим применяется круглогодично. Цена электроэнергии при низком тарифе примерно на две трети ниже, чем при высоком.

Специальный тариф

Специальный тариф для неограниченного потребления: Этот тариф может применяться только тогда, когда невозможно, с технической и финансовой точек зрения, измерять потребление надлежащим образом с использованием измерительного оборудования распределителя.

Тариф предназначен для нагрузок с постоянным длительным потреблением, например, с целью предоставления интернет услуг через распределительные сети.

2.3.2 Польша

Сектор домохозяйств

- ◆ *День и ночь:* Это тарифная группа с фиксированной ценой на электроэнергию независимо от дня и времени использования. Приемлемый для потребителей, которые не используют электрические нагревательные системы.
- ◆ *Двухзонный теплый дом:* Это тарифная группа с более низкой ставкой ночью и более высокой при дифференцированном тарифе в дневное время. Приемлемый для потребителей, которые используют электрические нагревательные системы или водяное отопление. Кроме того, тариф имеет следующие варианты:
 - Дневное и ночное время
 - Пиковая и внепиковая зона
 - Зона пика и периода – тарифная группа с более низкими ставками в ночное время, в выходные и праздники.



Таблица 2-9 График тарифов в зонах дневного и ночного периодов

Период	Зона дневного периода	Зона ночного периода
1.1. до 31.12.	14 часов в течение дня	10 часов в день: 8 последовательных часов из 9 часов между 22:00-07:00 2 последовательных часов из 4 часов между 13:00-17:00

Таблица 2-10 График тарифов в пиковых и внепиковых зонах

Период	Пиковая зона	Внепиковая зона
1.1. до 31.12.	07:00-13:00 и 16:00-22:00	13:00-16:00 и 22:00-07:00

Коммерческий сектор

Обзор тарифных структур в Польше для коммерческого сектора представлен в Таблице 2-11. В ней содержится информация для различных типов потребителей и уровня подключения.

Таблица 2-11 Описание тарифных групп для коммерческого сектора

Сегмент	Описание тарифных групп	
Потребители с высоким потреблением	Подключение к сети высокого напряжения	Круглосуточный тариф
		Трехзонный: - утренний пик/послеобеденный пик/другие часы
	Подключение к сети высокого напряжения с заявленной мощностью свыше 40 кВт.	Круглосуточный тариф
		Двухзонный в пиковых и внепиковых зонах
		Трехзонный: - утренний пик/послеобеденный пик/другие часы
		Круглосуточный тариф
Подключение к сети высокого напряжения с заявленной мощностью менее 40 кВт.	Двухзонный в дневных и ночных зонах	
	Круглосуточный тариф	
Потребители со средним потреблением	Подключение к сети низкого напряжения с заявленной мощностью свыше 40 кВт или размером основного автоматического выключателя свыше 63А	Круглосуточный тариф
		Двухзонный в пиковых и внепиковых зонах
		Двухзонный в дневных и ночных зонах
		Двухзонный в пиковых и внепиковых зонах с распространением на субботы и государственные праздники
Потребители с низким потреблением	Подключение к сети низкого напряжения с заявленной мощностью менее 40 кВт или размером основного автоматического выключателя свыше 63А	Круглосуточный тариф
		Двухзонный в пиковых и внепиковых зонах
		Двухзонный в дневных и ночных зонах

Основной недостаток такого типа тарифной структуры для компаний состоит в сложности. Это означает, что многим компаниям их трудно понимать. Преимущество в том, что они предлагают потребителям возможность снижать свои затраты на электроэнергию путем переключения нагрузок на периоды с более низкими затратами, которые приемлемы для их непосредственной деятельности.



2.3.3 Франция

Установление тарифных групп во Франции в сегменте розничных потребителей (домохозяйств) происходит с помощью трех основных продуктов и они удобны потребителям для понимания. Сегменты розничных потребителей можно разделить на такие варианты:

- ◆ Базовый вариант (9 групп в диапазоне мощности 3 – 36 кВА)
- ◆ Внепиковый вариант (8 групп в диапазоне мощности 6 – 36 кВА)
- ◆ Вариант Tempo (6 групп в диапазоне мощности 9 – 36 кВА)

Базовый вариант

В рамках Базового Варианта цена на электроэнергию за кВтчас всегда одинаковая независимо от дня и периода потребления энергии. Базовый Вариант приемлемый для домохозяйств, имеющих несколько электрических бытовых приборов, которые используются, в основном, за пределами внепикового времени. Это самый простой из трех типов контрактов с самой низкой фиксированной платой и единой ставкой за использование электроэнергии в течение всего времени дня и года.

Внепиковый вариант

Используя внепиковый вариант потребители получают выгоду от привлекательной 8-часовой ежедневной цены электроэнергии. Внепиковый (ВП) вариант является приемлемым для домохозяйств, имеющих много электрических бытовых приборов, с возможностью их использования, в основном, во внепиковое время. Вариант ВП подходит для большинства домов, в которых жильцы проживают постоянно, и где отопление не-электрическое. Фиксированная плата незначительно выше, чем та, которая в рамках Базового Варианта, но это уравновешивается более низкой внепиковой ставкой за оставшуюся часть дня. Часы дня, которые характеризуются как “пиковые” и “внепиковые” колеблются в зависимости от региона и могут меняться со временем в любом отдельном месте. Например, ВП период в Париже длится с 23-00 до 7-00. ВП вариант обычно, используется в сочетании с подогрева воды для горячего водоснабжения, который работает путем управления нагрузкой с помощью пульсирующих сигналов таким образом, что нагревательный элемент включается только во время внепиковых периодов.

Ускоренный вариант (Вариант Tempo)

С помощью варианта Tempo, цена за кВтчас колеблется в зависимости от дня недели и времени использования. Этот вариант может быть применен в том случае, если домохозяйства имеют минимальную величину электроэнергии на уровне 9 кВт. Тариф Варианта Tempo предназначен для домохозяйств с максимальным использованием, таких как очень большие дома, а также те, которые используют электроотопление и в которых жильцы проживают постоянно, а также для небольших коммерческих потребителей. Это довольно сложная система учета с шестью ставками ценообразования за электроэнергию на основе фактической погоды в конкретные дни и часы использования.

В рамках тарифа Варианта Tempo каждый день года окрашен в разные цвета. Существует три цвета – синий, белый и красный, которые соответствуют низкой, средней и высокой цене на электроэнергию. Год разделен на 22 красных дня (самые дорогие), 43 белых дня и 300 синих дней (самые дешевые). Есть также установленная цена за высокий (пиковый) и низкий (внепиковый) периоды на электроэнергию ежедневно (3 цвета – 2 цены на день – всего 6 ценовых уровней).

Цвет каждого дня определяется, в основном, поставщиком электроэнергии на основе прогноза потребления электроэнергии за этот день – влияние на уровень потребления оказывает, главным образом, погода. Национальный оператор сети передачи также имеет способность определять цвет дня, если существует значительное потребление в сети электроэнергии. Кроме цвета, каждый день имеет также обычные и внепиковые периоды на основе упомянутого выше ВП варианта, с внепиковым периодом от 22-00 до 6-00.



2.3.4 Краткие выводы

Все три страны применяют свои собственные тарифные структуры:

- ◆ Одноставочный тариф (и цена одноставочного тарифа) для небольших потребителей, как домохозяйств, так и компаний;
- ◆ Цена дифференцированного тарифа (как правило, день/ночь) для меньших потребителей (опять же, включая как домохозяйства, так и компании) с целью стимулирования потребления во внепиковые периоды;
- ◆ Более сложные тарифы с различными временными зонами и тарифными ставками для более крупных коммерческих потребителей. Такие типы тарифов в большей мере отображают оптовую цену электроэнергии.

Подобные структуры тарифов также используются в Беларуси. Они описаны в Разделе 6.3 (Экономические аспекты).

3 АНАЛИЗ ВАРИАНТОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ОТОПЛЕНИЯ В ДОМОХОЗЯЙСТВАХ

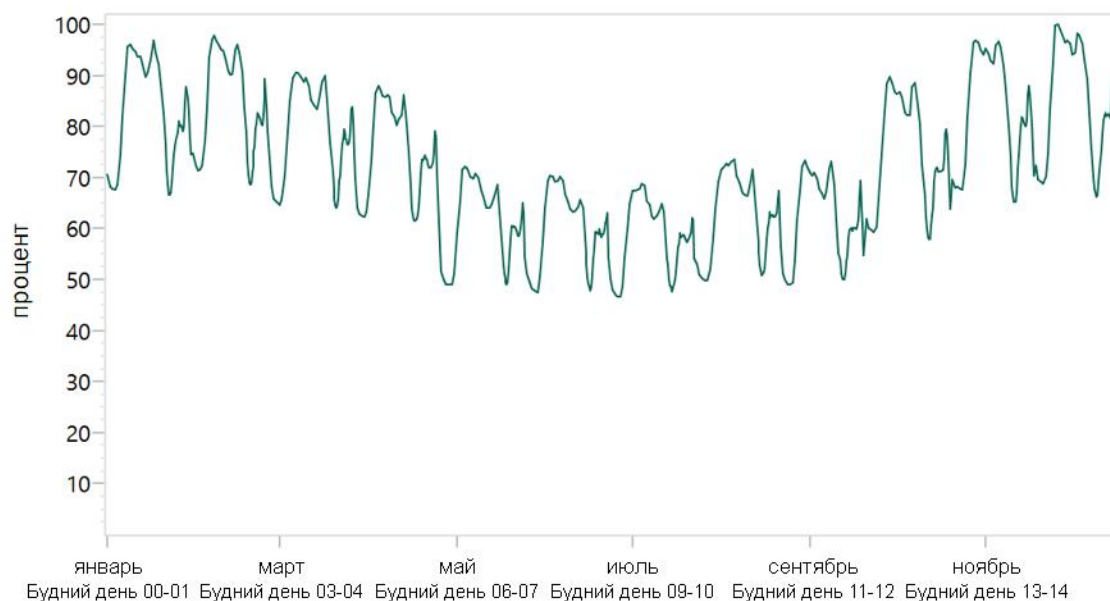
Были проанализированы различные варианты использования электроэнергии для воздушного и водяного отопления в Беларуси с использованием модели ДСПЭА. В этом разделе описаны предположения и результаты изучения такого моделирования.

3.1 Профили нагрузки

Тщательная оценка готовности энергетического баланса для ожидаемого потребления электроэнергии и тепла требует рассмотрения ежегодных профилей нагрузки. Для электроэнергии и тепла были составлены отдельные профили нагрузки.

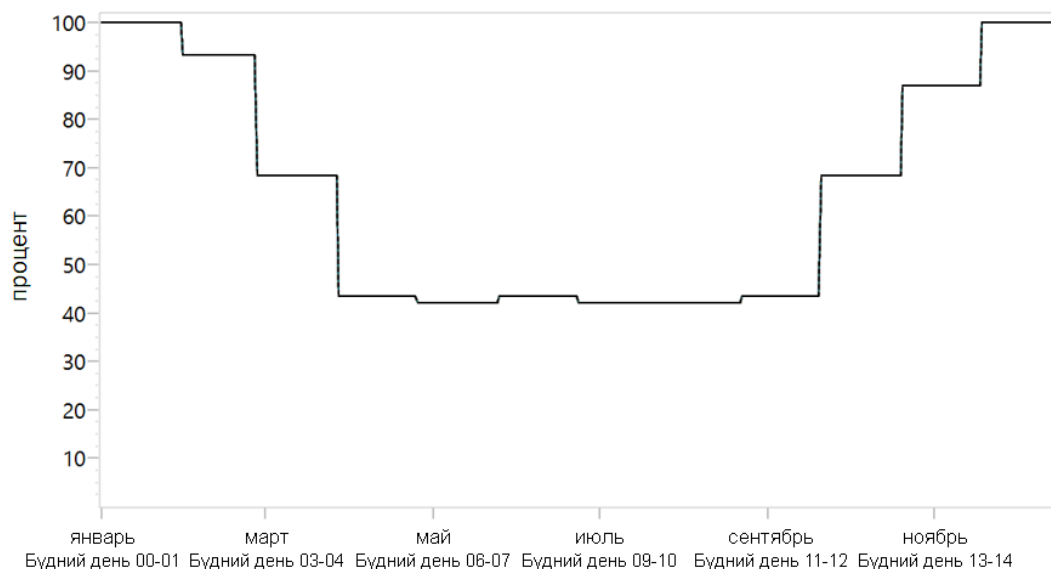
Профиль нагрузки потребления электроэнергии основан на измеренном почасовом системном потреблении в 2017 году. Год был разделен на 576 временных промежутка, охватывающих рабочих дни и выходные дни в целях моделирования. Итоговый профиль нагрузки показан ниже на рисунке. Минимальный резерв был установлен на уровне 30%. Снижение потребления электроэнергии в течение летних месяцев является очевидным (около 30% от полной амплитуды).

Рисунок 3-1 Ежегодный график нагрузки потребления электроэнергии



Основой Рисунка 3-2 является сербский ежегодный профиль тепловой нагрузки, поскольку для Беларуси нет профиля нагрузки относительно потребления тепла, а сербский климат похож на тот, что в Беларуси. Поскольку модель ДСПЭА требует использования тех самых временных промежутков для профилей нагрузки, ежемесячное распределение потребления тепла было превращено в 576 временных промежутков, как и для электроэнергии. Минимальный резерв мощности для тепла был установлен на уровне 15%.

Рисунок 3-2 Ежегодный график нагрузки потребления тепла



Как и ожидалось, снижение потребления тепла в летние месяцы выделено отчетливее (примерно 60%) с остатком, который используется для потерь горячей воды для бытовых нужд и системных потерь.

3.2 Рассчитанные варианты

В настоящей версии модели учитывается две группы жилых зданий:

- ◆ По местоположению:
 - городские
 - сельские.
- ◆ По уровню утепления:
 - Здания, построенные до 1993 года
 - Здания, построенные до 2009 года
 - Здания, построенные после 2009 года
 - Реконструированные здания
 - Здания с почти нулевым уровнем потребления энергии.

Здания классифицировались по стандарту утепления для анализа вариантов электрического отопления следующим образом:

- ◆ **Более старые здания** (здания, построенные до 1993 года и здания, построенные до 2009 года) – эти здания не приемлемы для установки тепловых насосов, поскольку температура, необходимая для систем отопления, слишком высокая;
- ◆ **Более новые здания** (здания, построенные после 2009, реконструированные здания и здания с почти нулевым уровнем потребления энергии) – тепловые насосы могут использоваться для воздушного отопления в этих зданиях, поскольку требования к теплу ниже и, поэтому, температуры системы отопления также могут быть ниже.

Была смоделирована также дополнительная разбивка на индивидуальные жилые дома и многоквартирные здания.

Ниже в таблице показаны изученные сценарии вместе с сокращениями, которые используются в графиках и таблицах. Все сценарии включают как воздушное, так и водяное отопление. Детальное описание представлено в Разделах, указанных в таблице.



Таблица 3-1 Обзор базовых рассчитанных вариантов

Сокращение	Виды топлива, которые заменены электроэнергией	Замена	Охват	Разделы
OMAB_CITY_LOCAL	газ, древесина, торфяные брикеты	отопление путем непосредственног о обогрева электрическими приборами	Более старые городские многоквартирные здания с локальным и централизованным ¹¹ отоплением	3.3.3, 3.3.1
NMAB_CITY_LOCAL	газ, древесина, торфяные брикеты	отопление путем непосредственног о обогрева электрическими приборами	Более новые городские многоквартирные здания с локальным отоплением	3.3.3, 3.3.1
SFD_CITY_LOCAL	газ, древесина, торфяные брикеты	отопление путем непосредственног о обогрева электрическими приборами	Городские индивидуальные жилые дома с локальным и централизованным отоплением	3.3.1
NMAB_CITY_LOCAL_HP	газ	тепловые насосы	Более новые городские многоквартирные здания с локальным и централизованным отоплением	3.3.3, 3.3.1
OMAB_RURAL_LOCAL	газ, древесина, торфяные брикеты	отопление путем непосредственног о обогрева электрическими приборами	Более старые сельские многоквартирные здания с локальным и централизованным отоплением	3.3.3, 3.3.1
NMAB_RURAL_LOCAL	газ, древесина, торфяные брикеты	отопление путем непосредственног о обогрева электрическими приборами	Более новые сельские многоквартирные здания с локальным и централизованным отоплением	3.3.3, 3.3.1
SFD_RURAL_LOCAL	газ, древесина, торфяные брикеты	отопление путем непосредственног о обогрева электрическими приборами	Сельские индивидуальные жилые дома с локальным и централизованным отоплением	3.3.1
NMAB_RURAL_LOCAL_HP	газ, древесина, торфяные брикеты	тепловые насосы	Более новые городские многоквартирные здания с локальным и централизованным отоплением	3.3.3, 3.3.1
SFD_RURAL_LOCAL_HP	газ, древесина, торфяные брикеты	тепловые насосы	Сельские индивидуальные жилые дома с локальным и централизованным отоплением	3.3.3, 3.3.1
OMAB_CITY_DH	тепло от газовых котлов	тепло от электрических котлов	Боле старые городские многоквартирные здания с	3.3.3, 3.3.2

¹¹ Центральное отопление означает подогрев пола, котельная в здании или котельная для нескольких соседних зданий.



Сокращение	Виды топлива, которые заменены электроэнергией	Замена	Охват	Разделы
			централизованным отоплением	
NMAB_CITY_DH	тепло от газовых котлов	тепло от электрических котлов	Более новые городские многоквартирные здания с централизованным отоплением	3.3.3, 3.3.2
SFD_LOCAL	газ, древесина, торфяные брикеты	отопление путем непосредственно о обогрева электрическими приборами	Городские и сельские индивидуальные жилые дома с локальным и централизованным отоплением (сочетание SFD_CITY_LOCAL и SFD_RURAL_LOCAL)	3.3.3, 3.3.1
SFD_LOCAL_HP	газ, древесина, торфяные брикеты	Тепловые насосы в сельских индивидуальных жилых домах, отопление путем непосредственно о обогрева электрическими приборами в городских индивидуальных жилых домах	Городские и сельские индивидуальные жилые дома с локальным и централизованным отоплением (сочетание SFD_CITY_LOCAL и SFD_RURAL_LOCAL_HP)	3.3.3, 3.3.1

Техническим заданием предусмотрено пять конкретных вариантов, которые описаны в сценариях из вышеупомянутой таблицы:

1. Новое многоквартирное здание в городе с доступом к существующей сети центрального теплоснабжения – **NMAB_CITY_DH**.
2. Существующее многоквартирное здание в городе с доступом к существующей сети центрального теплоснабжения – **OMAB_CITY_DH**.
3. Новое многоквартирное здание без доступа к сети центрального теплоснабжения (в городе или в сельской местности) – **NMAB_CITY_LOCAL** для городских районов и **NMAB_RURAL_LOCAL** для сельских районов.
Были также рассчитаны варианты использования тепловых насосов вместо прямых электрических источников питания – **NMAB_CITY_LOCAL_HP** и **NMAB_RURAL_LOCAL_HP**.
4. Существующее многоквартирное здание без доступа к сети центрального теплоснабжения (в городе или в сельской местности) – **OMAB_CITY_LOCAL** для городских районов и **OMAB_RURAL_LOCAL** для сельских районов.
5. Индивидуальный жилой дом без доступа к сети центрального теплоснабжения – **SFD_LOCAL**. Был также рассчитан вариант использования тепловых насосов вместо прямых электрических источников питания – **SFD_LOCAL_HP**.

Результаты моделирования таких конкретных вариантов описано в Разделе 3.3.3.

Кроме этих базовых вариантов были рассмотрены также более сложные сценарии:


Таблица 3-2 Сложные сценарии использования электроэнергии для воздушного и водяного отопления

Сокращение	Сочетание вариантов:	Описание	Раздел
ALL_LOCAL	OMAB_CITY_LOCAL NMAB_CITY_LOCAL SFD_CITY_LOCAL OMAB_CITY_LOCAL NMAB_CITY_LOCAL SFD_CITY_LOCAL	В этом сценарии предполагается замена почти всего газа, древесины и торфяных брикетов на электрическое отопление во всех типах зданий.	3.3.4.2
ALL_LOCAL_HP	OMAB_CITY_LOCAL NMAB_CITY_LOCAL_HP SFD_CITY_LOCAL OMAB_CITY_LOCAL NMAB_CITY_LOCAL_HP SFD_CITY_LOCAL_HP	Этот сценарий похож на предыдущий. Он отличается от всех новых зданий, где почти весь газ будет заменен на тепловые насосы.	3.3.4.2
DH_LOW	Нет	В этом сценарии сделана попытка определить максимальную долю тепла, выработанного от электрических котлов, в то же время, сохраняя приемлемое использование существующих отопительных котельных, работающих на ископаемых видах топлива.	3.3.4.1
DH_HIGH	Нет	В этом сценарии сделана попытка определить максимальную долю тепла, выработанного от электрических котлов без какого-либо учета приемлемого использования существующих отопительных котельных, работающих на ископаемых видах топлива.	3.3.4.1
ALL_LOW	ALL_LOCAL DH_LOW	В этом сценарии сделана попытка определить максимальную долю тепла, выработанного от электрических котлов, в то же время, сохраняя приемлемое использование существующих отопительных котельных, работающих на ископаемых видах топлива. Более того, локальная и централизованная выработка тепла производится, в основном, с помощью электрических приборов.	3.3.4.3
ALL_HIGH	ALL_LOCAL DH_HIGH	В этом сценарии сделана попытка определить максимальную долю тепла, выработанного от электрических котлов без какого-либо учета приемлемого использования существующих отопительных котельных, работающих на ископаемых видах топлива. Более того, локальная и централизованная выработка	3.3.4.3



Сокращение	Сочетание вариантов:	Описание	Раздел
		тепла производится, в основном, с помощью электрических приборов.	
ALL_LOW_HP	ALL_LOCAL_HP DH_LOW	В этом сценарии сделана попытка определить максимальную долю тепла, выработанного от электрических котлов, в то же время, сохраняя приемлемое использование существующих отопительных котельных, работающих на ископаемых видах топлива. Более того, локальная и централизованная выработка тепла производится, в основном, с помощью электрических приборов в более старых зданиях и с помощью тепловых насосов в более новых.	3.3.4.3
ALL_HIGH_HP	ALL_LOCAL_HP DH_HIGH	В этом сценарии сделана попытка определить максимальную долю тепла, выработанного от электрических котлов без какого-либо учета приемлемого использования существующих отопительных котельных, работающих на ископаемых видах топлива. Более того, локальная и централизованная выработка тепла производится, в основном, с помощью электрических приборов в более старых зданиях и с помощью тепловых насосов в более новых.	3.3.4.3

3.3 Результаты моделирования

Результаты всех определенных сценариев сравниваются с (базовым) сценарием NEEAP. Сценарий NEEAP включает все стратегии и мероприятия, запланированные и предложенные в Планах действий, включая энергосберегающие мероприятия, использование возобновляемых источников энергии и ввод в эксплуатацию атомной станции. Ниже представлен ряд рисунков, характеризующих сценарий NEEAP и служащий эталоном для всех рассмотренных сценариев.



Рисунок 3-3 Конечное энергопотребление домохозяйствами в разрезе энергоносителей (сценарий NEEAP)¹²

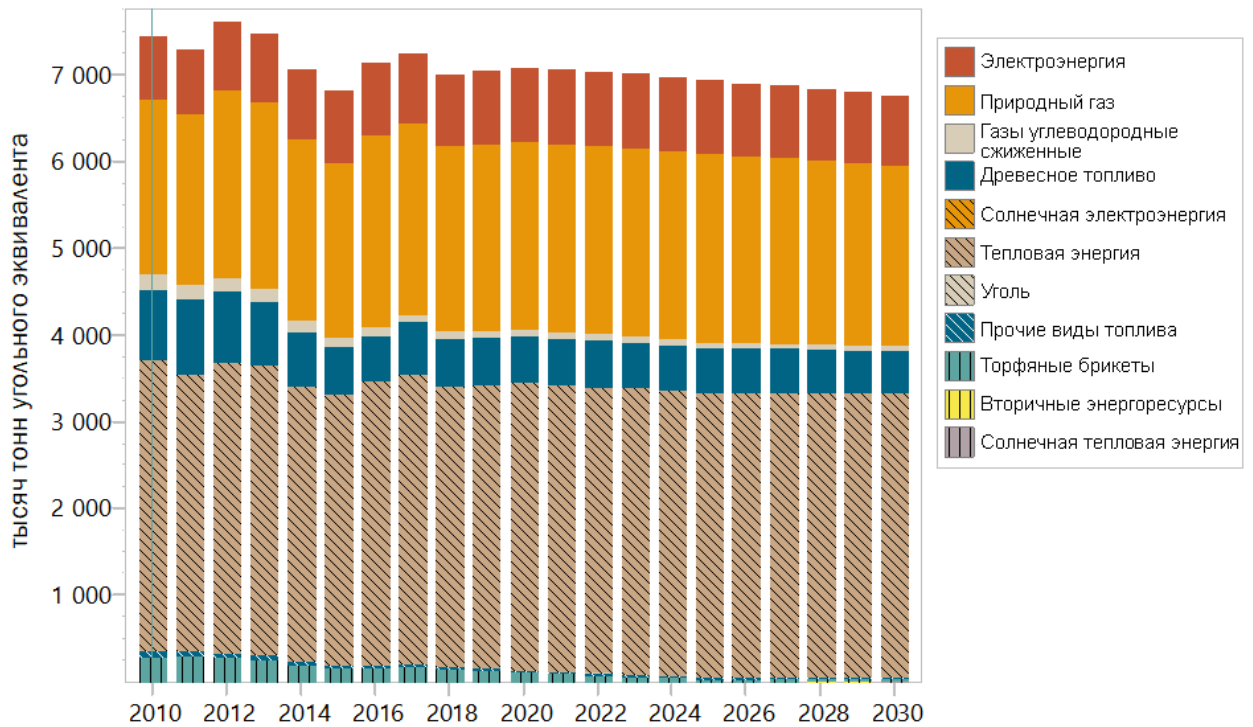
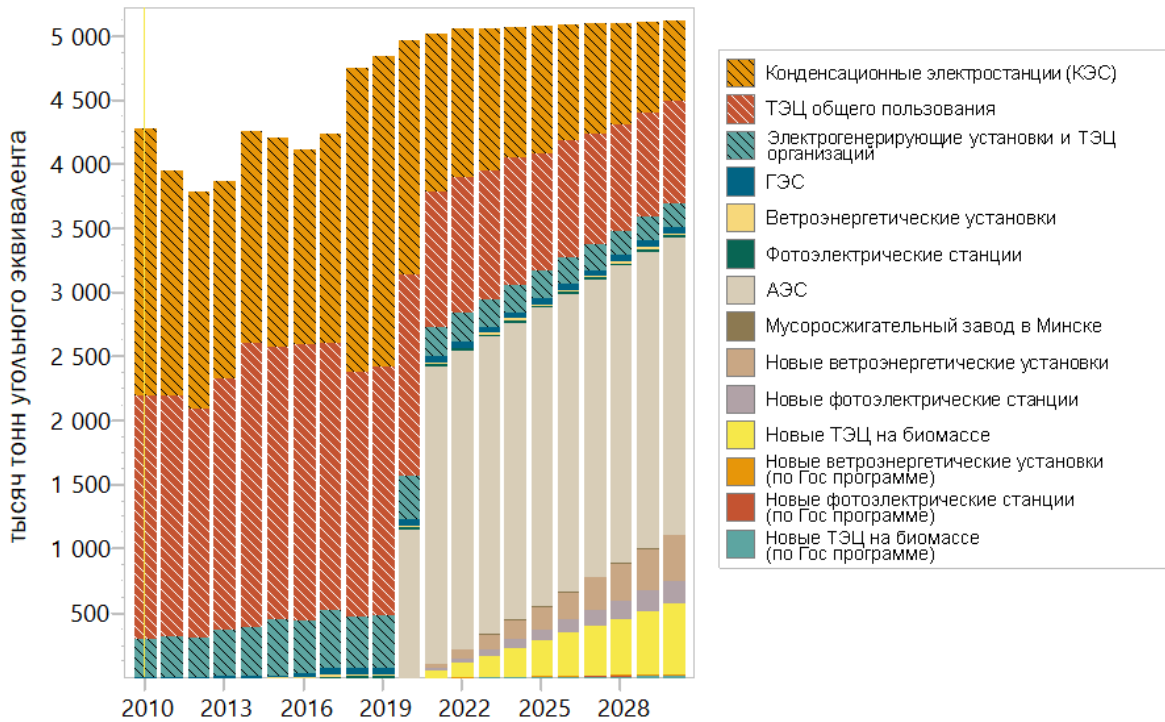


Рисунок 3-4 Выработка электроэнергии по типу станции (сценарий NEEAP)



¹² Энергоносители с небольшим вкладом в общее количество не видны на графике.



Рисунок 3-5 Выработка тепла от ТЭЦ (сценарий NEEAP)

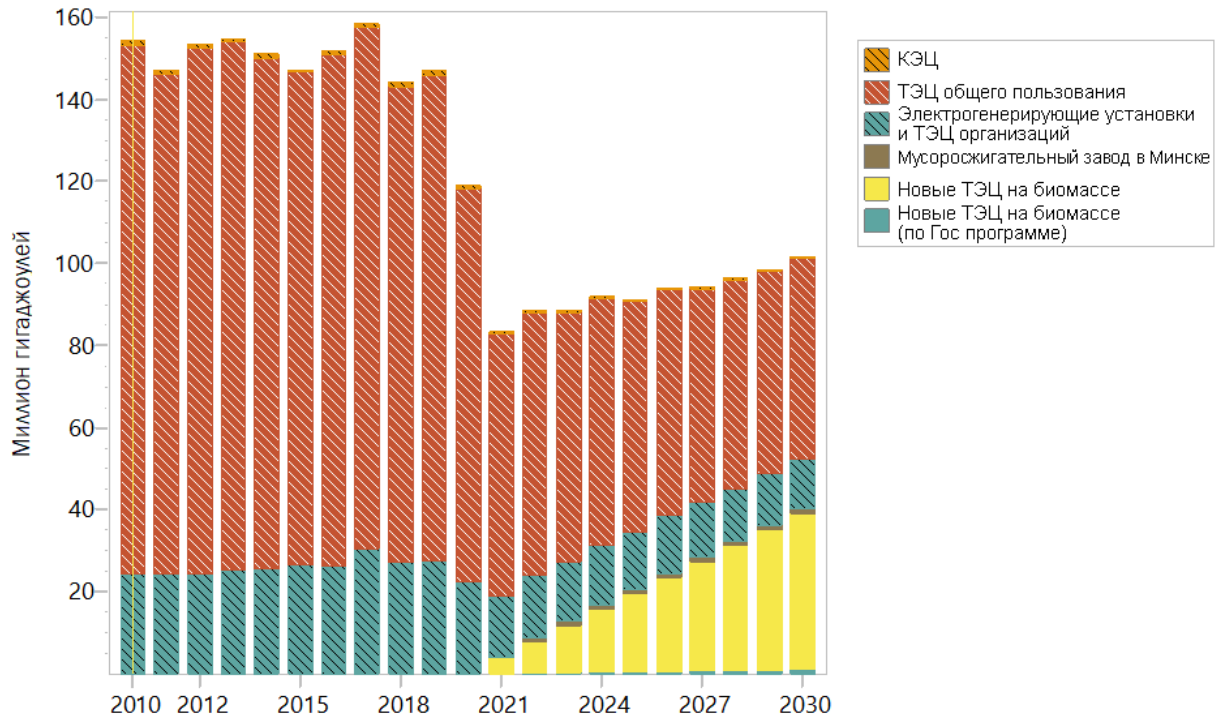
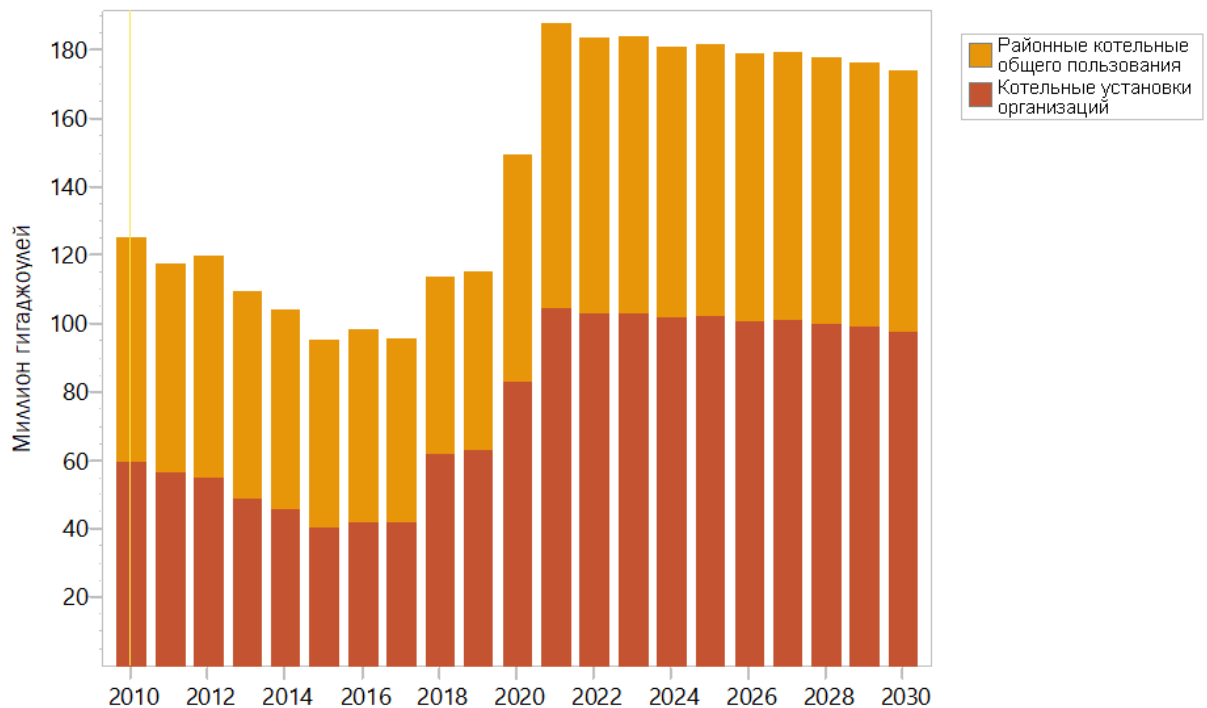


Рисунок 3-6 Выработка тепла по типу отопительной котельной (сценарий NEEAP)¹³



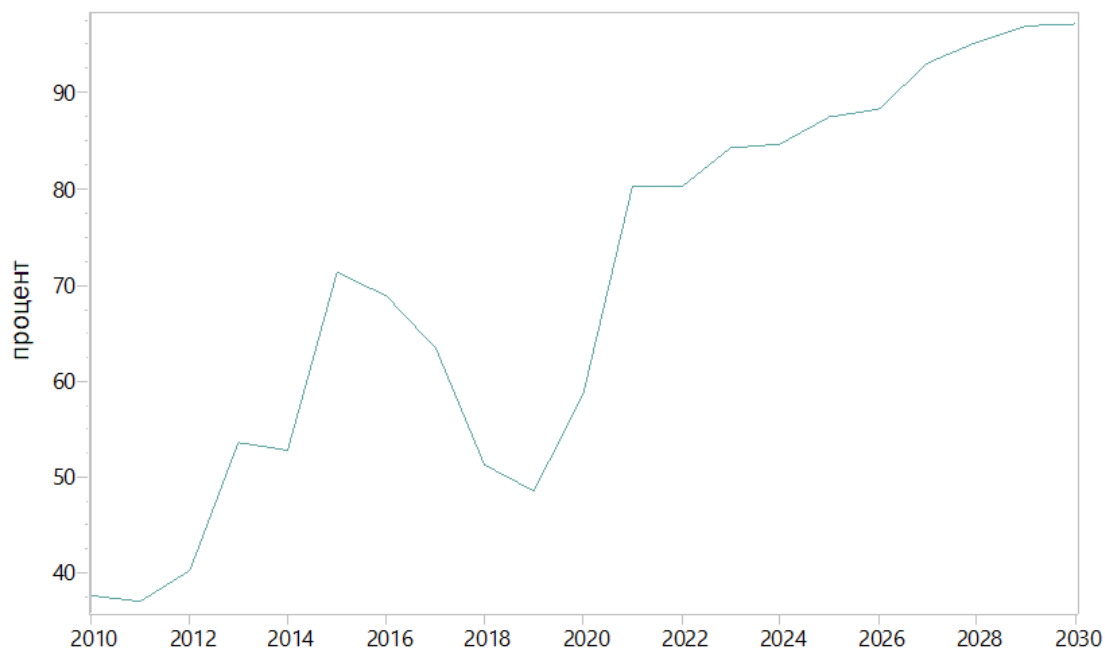
Сравнивая Рисунок 3-5 и Рисунок 3-6 можно увидеть, что существует значительное смещение выработки тепла от ТЭЦ в сторону котельных. Это вызвано вводом в эксплуатацию новой

¹³ Автопроизводители являются частными (обычно промышленными) ТЭЦ.

атомной станции (АЭС). Выработка электроэнергии от АЭС замещает выработку электроэнергии от обеих конденсационных установок и от ТЭЦ. Поскольку выработка тепла связана с выработкой электроэнергии на ТЭЦ, то выработка тепла падает в соответствии с падением выработки электроэнергии. Невозможно закрыть только конденсационные установки, поскольку это привело бы к недостаточной мощности регулирования в сети. Таким образом, недостающее тепло необходимо было бы вырабатывать на котельных. В Приложении Б содержится более подробная информация по этой теме.

Изучая допустимые пределы выработки электроэнергии, можно увидеть следующий профиль.

Рисунок 3-7 Резерв мощности системы выработки электроэнергии (сценарий NEEAP)

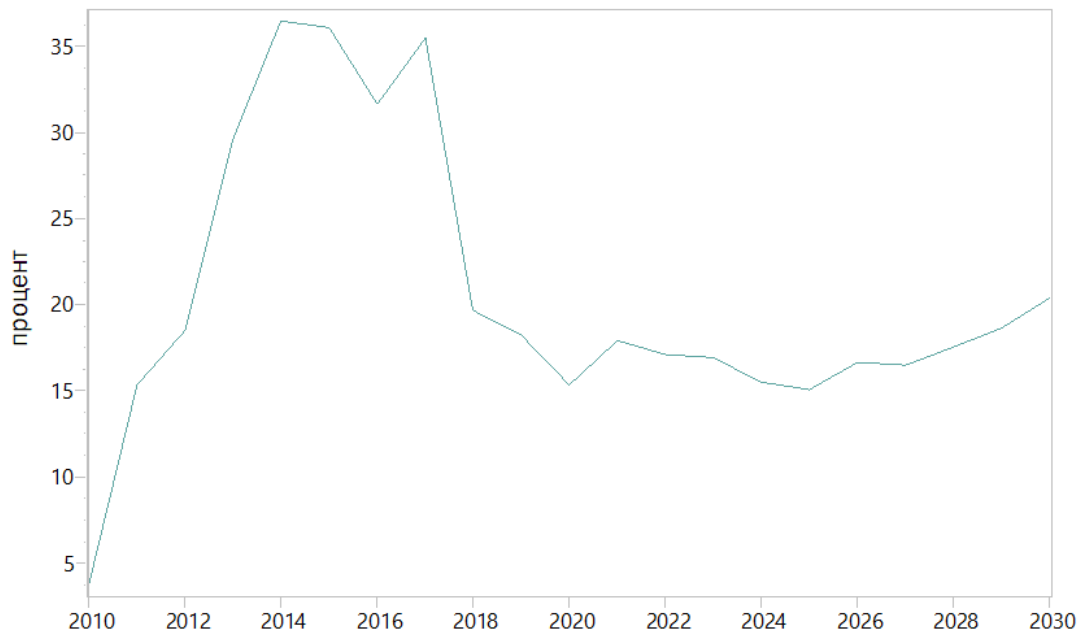


На основе этого рисунка можно сделать вывод, что установленная электрическая мощность является достаточной в течение всех лет периода моделирования, и после ввода в эксплуатацию АЭС резервная мощность приблизится к 100% к 2030 году.

Резерв мощности отопительных котельных представлен на Рисунке 3-8 ниже.



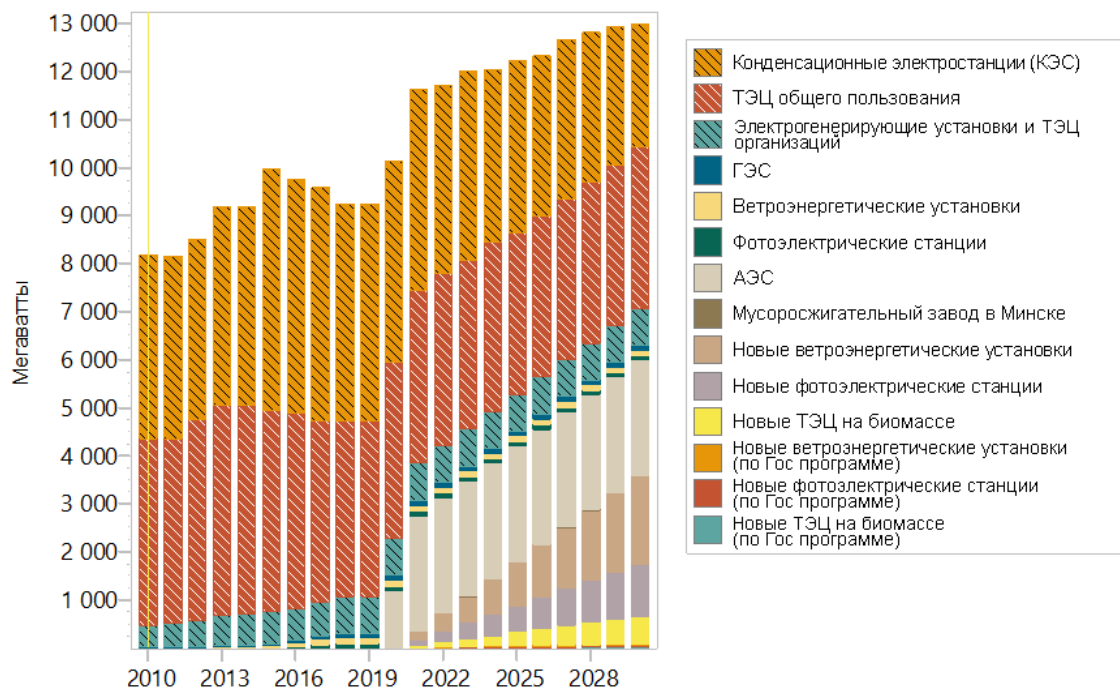
Рисунок 3-8 Резерв мощности отопительных котельных (сценарий NEEAP)



Резерв установленной мощности отопительных котельных является также достаточным после ввода в эксплуатацию АЭС.

На Рисунке 3-9 показана установленная электрическая мощность по типу генерации и после ввода в эксплуатацию АЭС.

Рисунок 3-9 Развитие электрической установленной мощности (сценарий NEEAP)

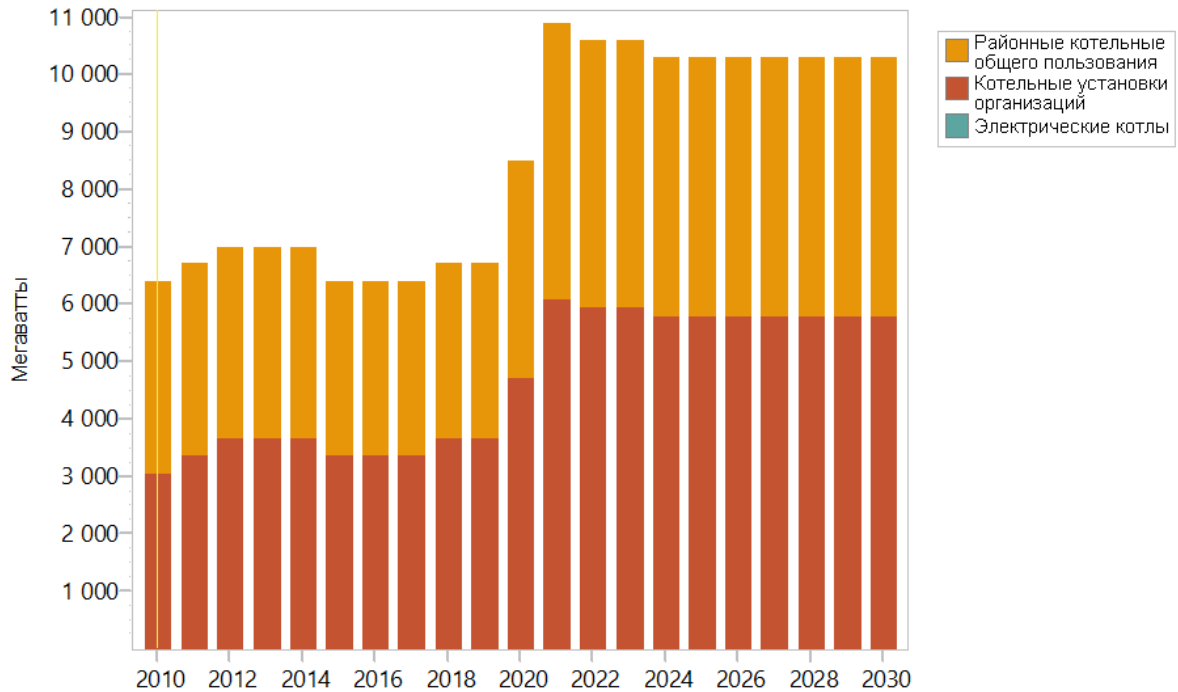


Предполагается, что вышеуказанные установленные электрические мощности будут фиксированными во всех рассматриваемых сценариях относительно перехода к воздушному и водяному отоплению.



На Рисунке 3-10 показано, какое влияние на тепловую мощность будет оказано после ввода в эксплуатацию АЭС и без будущих мероприятий.

Рисунок 3-10 Развитие тепловой установленной мощности отопительных котельных (сценарий NEEAP)



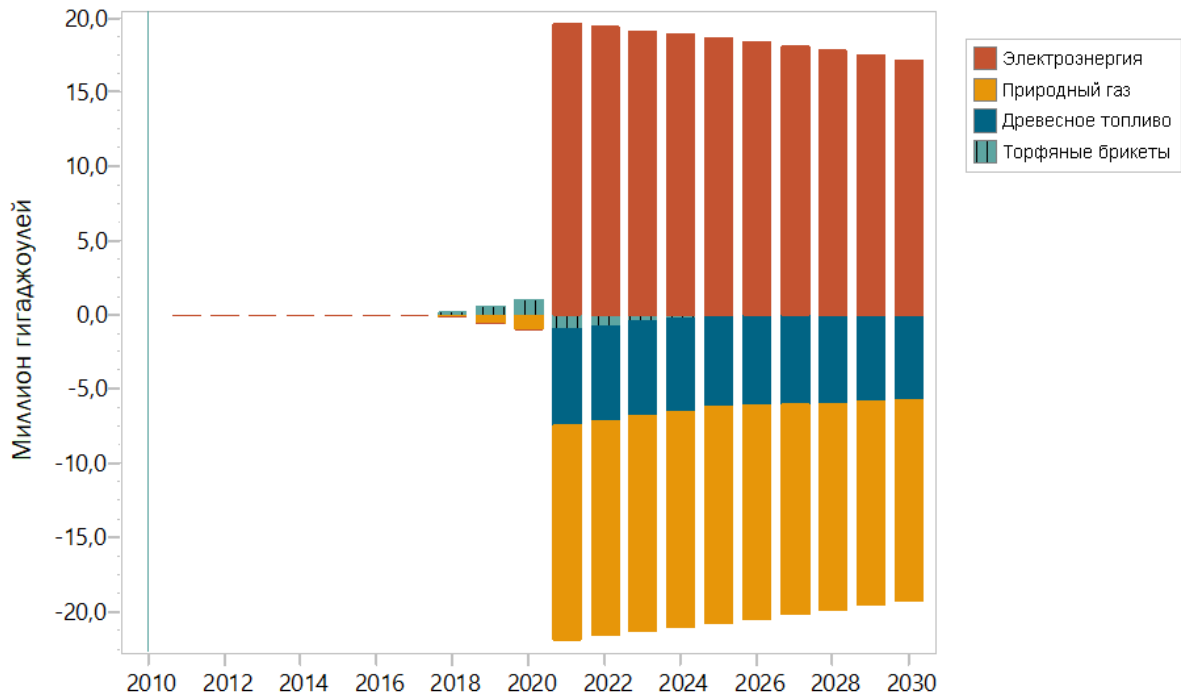
Можно сделать вывод, что без какой-либо программы электрификации переход выработки электроэнергии от ТЭЦ до АЭС потребует около 4000 МВт дополнительной мощности отопительных котельных, которые должны быть построены. С учетом недавних и запланированных вводов и выводов из эксплуатации отопительных котельных (общее увеличение на уровне 1500 МВт), новое требование относительно дополнительной мощности составляет примерно 2500 МВт.

3.3.1 Базовые варианты использования электроэнергии касательно потребления

Все варианты потребления (т.е., имеющие отношение к индивидуальным жилым домам и многоквартирным зданиям) относительно перехода на электроотопление показывают похожие ожидаемые результаты и приводят к снижению использования ископаемых видов топлива и росту потребления электроэнергии. Самое высокое увеличение потребления электроэнергии (до 5.5 TВтчас) происходит в рамках сценария SFD_RURAL_LOCAL (локальное и централизованное отопление в индивидуальных жилых домах в сельских районах). Это сбалансировано снижением использования природного газа, древесины и торфяных брикетов.

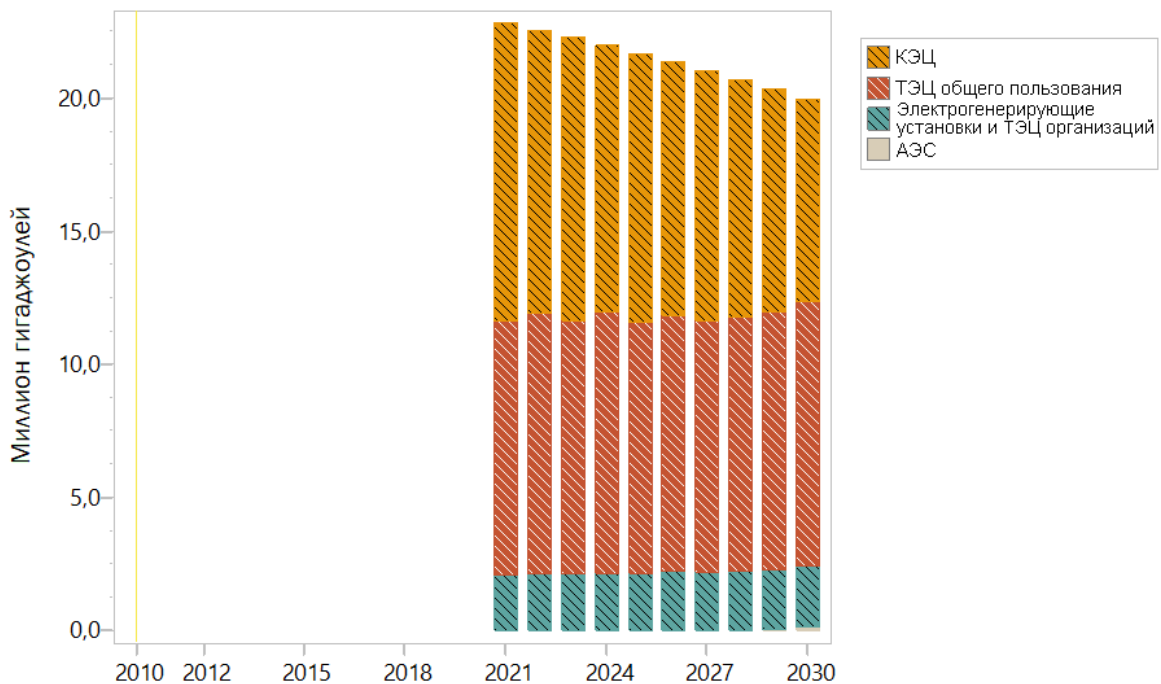


Рисунок 3-11 Различия в конечном энергопотреблении домохозяйствами сценария SFD_RURAL_OCAL по сравнению со сценарием NEEAP



Увеличенное потребление электроэнергии могло бы произойти за счет конденсационных установок, ТЭЦ, работающих на газе, и новых ТЭЦ, работающих на биомассе, как показано на Рисунке 3-12 ниже.

Рисунок 3-12 Различия в выработке электроэнергии сценария SFD_RURAL_LOCAL по сравнению со сценарием NEEAP

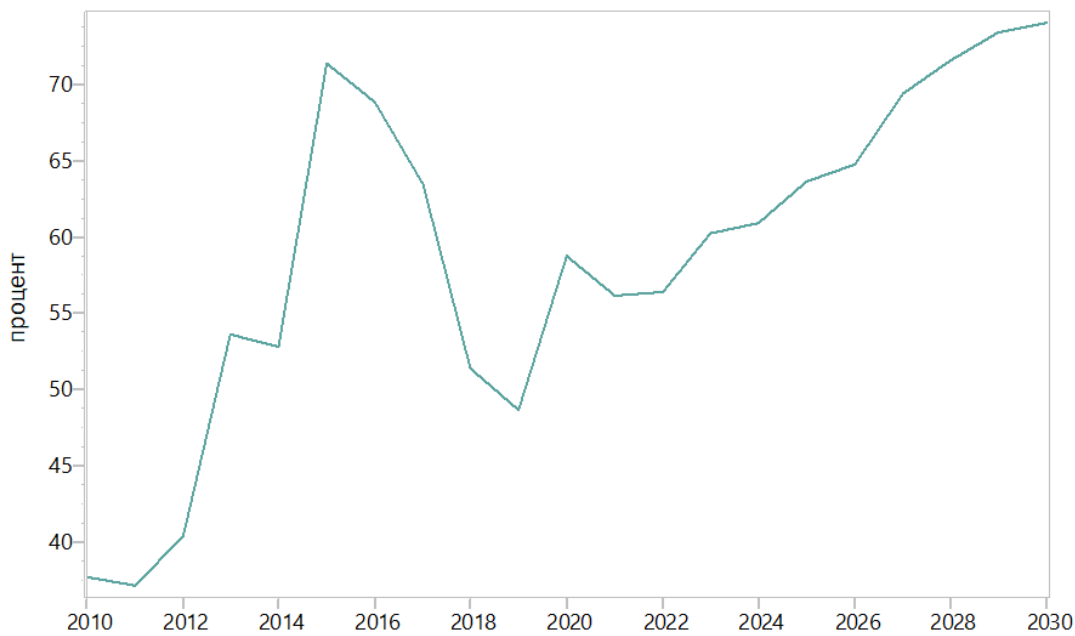


Увеличенная выработка электроэнергии от ТЭЦ приводит также к увеличенной выработке тепла. Поэтому, котельные будут покрывать более низкую долю потребления тепла и это

положительным образом отражается на более низком требовании к новым установленным мощностям от 2500 МВт до примерно **1000 МВт** по сравнению со сценарием NEEAP.

На Рисунке 3-13 показано, что резервная мощность электроэнергетической системы пока еще недостаточна, даже после прогнозируемого увеличения потребления электроэнергии от новых систем отопления.

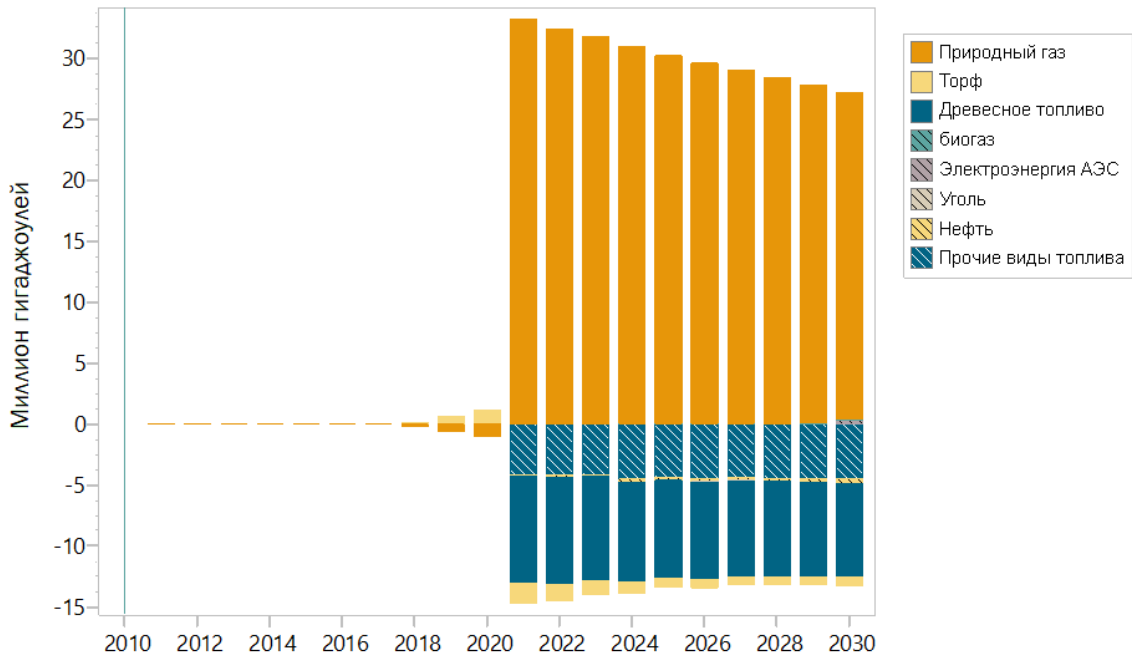
Рисунок 3-13 Резервная мощность системы выработки электроэнергии (сценарий SFD_RURAL_LOCAL)



Окончательное сравнение (Рисунок 3-14) показывает использование источников первичной энергии. Это приводит к выводу о том, что электрическое локальное и централизованное отопление приводят к более высокому потреблению первичной энергии (из-за более низкой эффективности выработки электроэнергии из газа по сравнению с непосредственным сжиганием различных видов топлива).

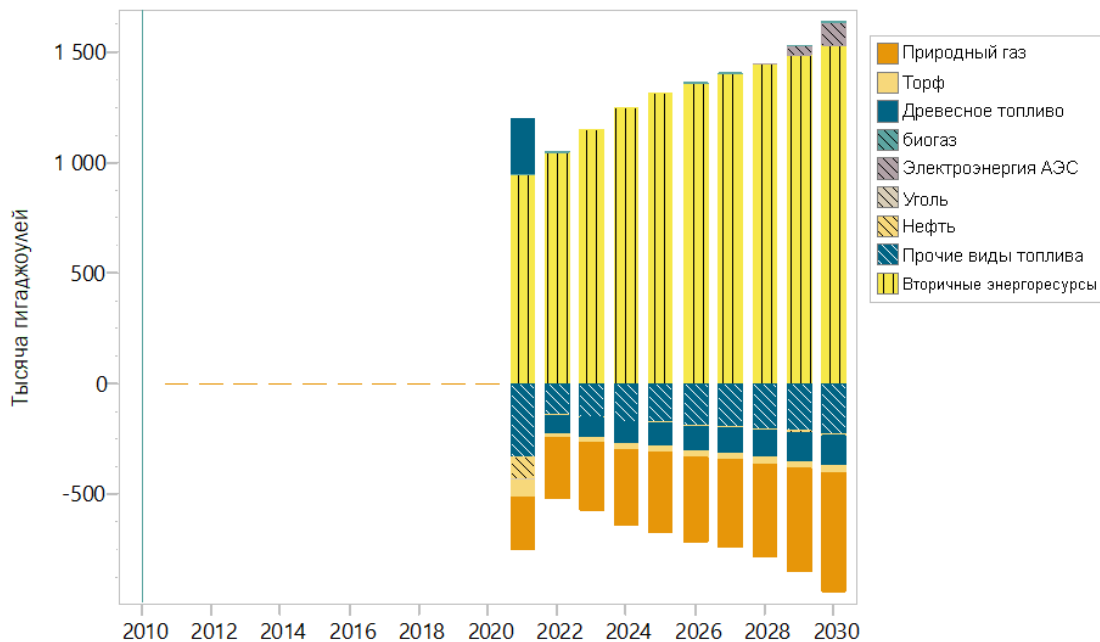


Рисунок 3-14 Различие в подаче первичной энергии в рамках сценария SFD_RURAL_LOCAL по сравнению со сценарием NEEAP



Тот же график для сценария SFD_RURAL_LOCAL_HP (замена газа на тепловые насосы в одном и то же здании) показывает значительное снижение потребления первичной энергии по сравнению с вышеприведенным сценарием, с большим количеством тепла, поступающим из внешних источников, которые используются тепловыми насосами.

Рисунок 3-15 Различие в подаче первичной энергии в рамках сценария SFD_RURAL_LOCAL_HP по сравнению со сценарием NEEAP



Что касается базовых вариантов потребления относительно перехода на электрическое отопление, можно сделать следующие выводы:



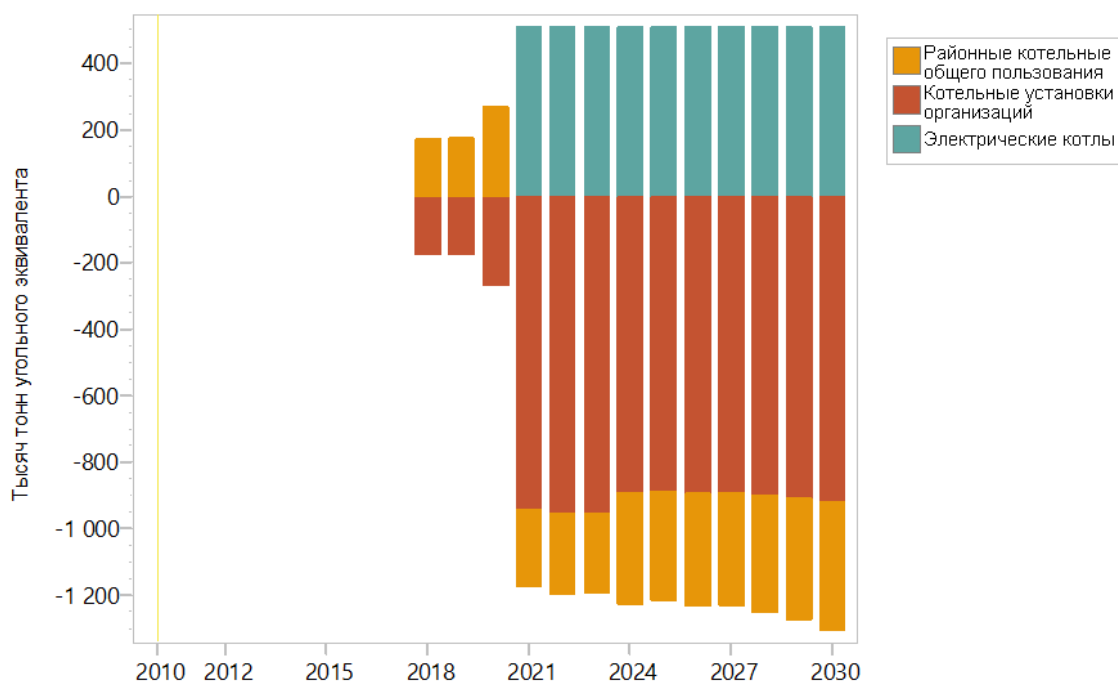
- ◆ Система выработки электроэнергии может охватывать любой данный базовый вариант электрического отопления относительно потребления.
- ◆ Увеличение электрического отопления улучшает использование существующих ТЭЦ, работающих на газе, и снижает требования к строительству новых отопительных котельных.
- ◆ **Электрическое отопление снижает энергоэффективность, если она выражена в первичной энергии.** Это из-за различия между энергоэффективностью газовых котлов (примерно 95% для конденсационных котлов) и выработкой электроэнергии (примерно 35%). Более детальное описание приведено в Разделе 4.1.
- ◆ Тепловые насосы представляют собой компромиссный вариант между улучшенной эффективностью первичной энергии и необходимостью строительства новых отопительных котельных.

3.3.2 Базовые варианты использования электроэнергии касательно подачи

В этих вариантах конечное потребление энергии домохозяйствами остается одинаковым. Изменения происходят в области подачи, когда котлы, которые в настоящее время используют ископаемые виды топлива, заменяются электрическими котлами. Несмотря на то, что дома в сельской местности подключены к системам центрального теплоснабжения, большинство зданий с системой центрального теплоснабжения расположены в городах¹⁴. Таким образом, было рассмотрено два варианта – система центрального теплоснабжения на основе электроэнергии более старых городских зданий и более новых городских зданий. Оба варианта демонстрируют одинаковые результаты. Поскольку потребление тепла от системы центрального теплоснабжения старыми зданиями высокое, то результаты более старых городских зданий (сценарий OMAB_CITY_DH) представлены ниже на Рисунке 3-16 и Рисунке 3-18.

На Рисунке 3.16 показаны различия в выработке тепла от системы центрального теплоснабжения в рамках сценария OMAB_CITY_DH по сравнению со сценарием NEEAP. Как ожидалось, существует новая выработка тепла от электрических котлов, в то время как выработка тепла отопительными котельными, работающими на газе, снижается.

Рисунок 3-16 Различия в выработке тепла на отопительных котельных в рамках сценария OMAB_CITY_DH по сравнению со сценарием NEEAP

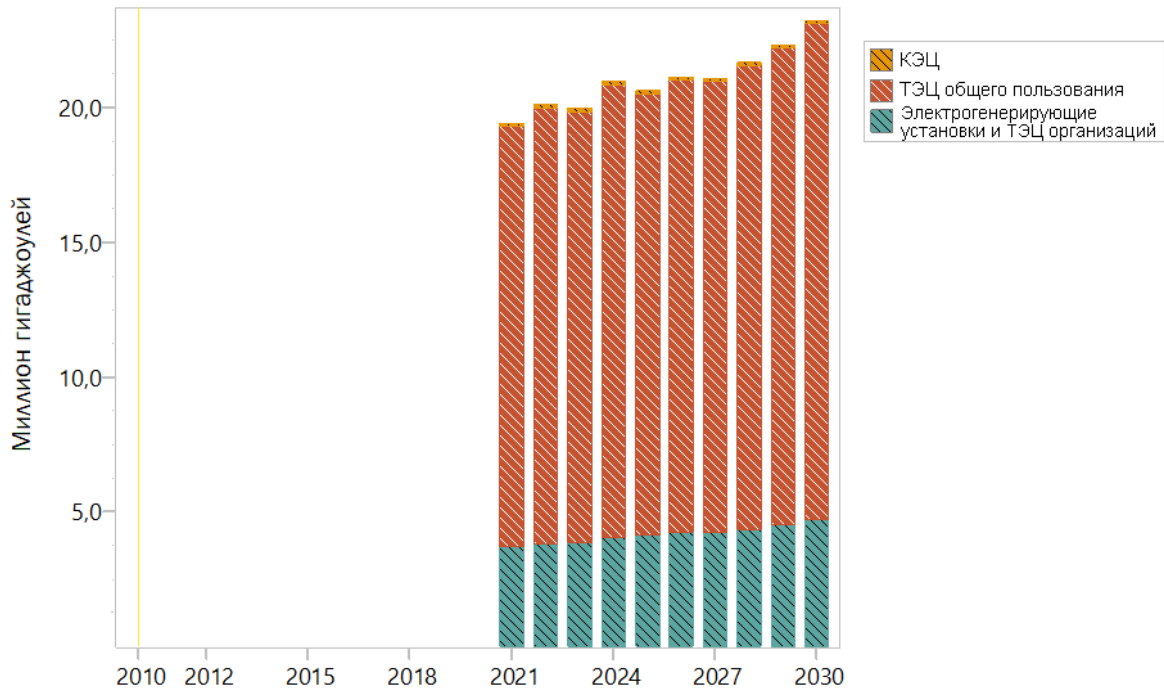


¹⁴ Примерно 98% на основе чешского опыта.



Сокращение тепла от отопительных котельных частично заменяется отоплением с использованием электроэнергии, а оставшаяся часть поступает от ТЭЦ. Это показано на Рисунке 3-17.

Рисунок 3-17 Различия в выработке тепла на ТЭЦ в рамках сценария OMAV_CITY_DH по сравнению со сценарием NEEAP

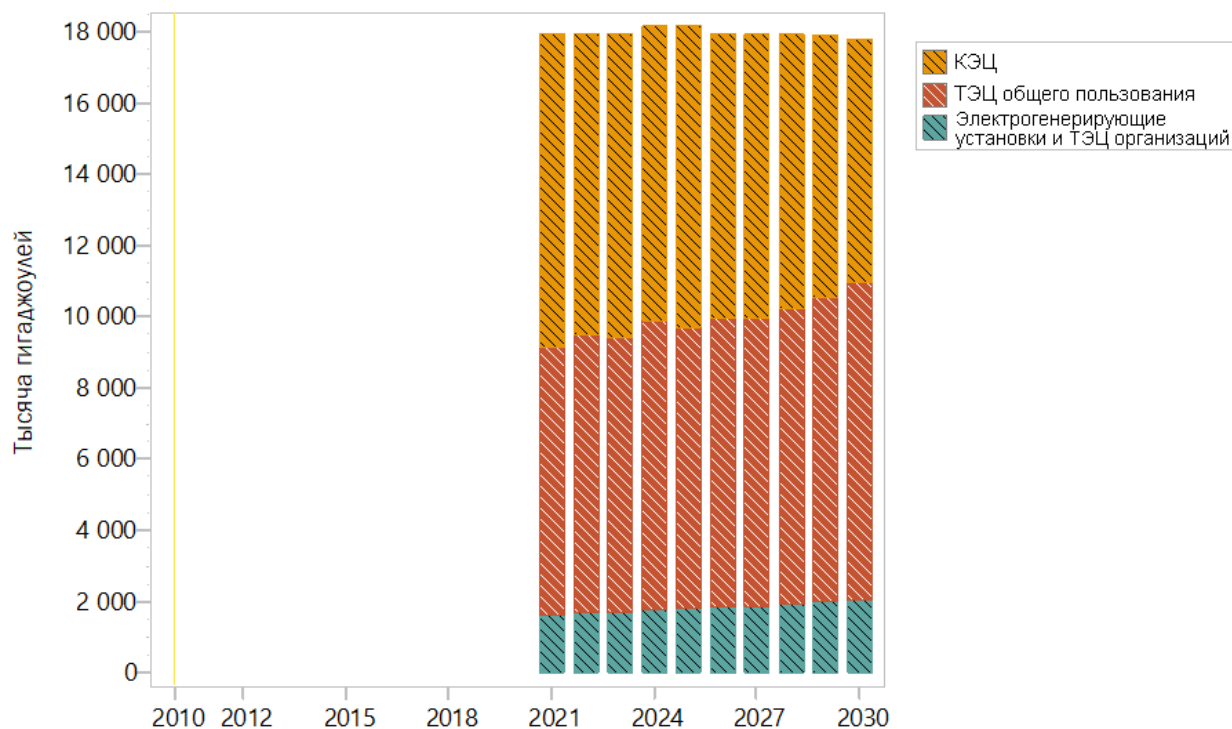


Увеличение тепла от ТЭЦ вызвано не увеличенным потреблением тепла от системы центрального теплоснабжения, а увеличенной выработкой электроэнергии. Увеличенная выработка электроэнергии на ТЭЦ приводит одновременно к увеличенной выработке тепла, что заменяет тепло от отопительных котельных.

Различия в выработке электроэнергии от различных источников показано на Рисунке 3-18. Это доказывает, что существует недостаточное количество электроэнергии, поступающей от ТЭЦ, таким образом, дефицит должен покрываться за счет конденсационных установок.



Рисунок 3-18 Различия в выработке электроэнергии в рамках сценария OMAV_CITY_DH по сравнению со сценарием NEEAP

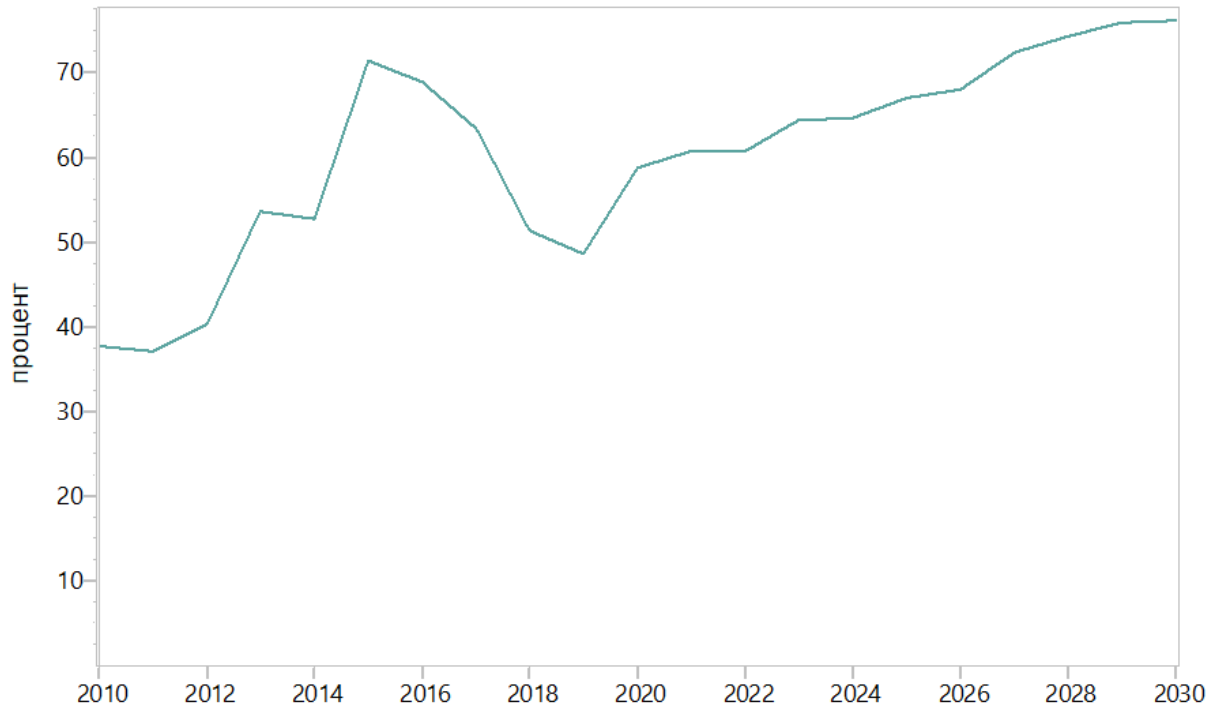


Поскольку потребление тепла от системы центрального теплоснабжения частично покрывается за счет новых электрических котлов и частично благодаря увеличенной выработке от ТЭЦ, то существует меньшая потребность в строительстве новых мощностей отопительных котельных, работающих на газе (примерно **1500 МВт** по сравнению с 2500 МВт в рамках сценария NEEAP).

На Рисунке 3-19 показано, что резервная установленная мощность является достаточной за все годы периода моделирования.

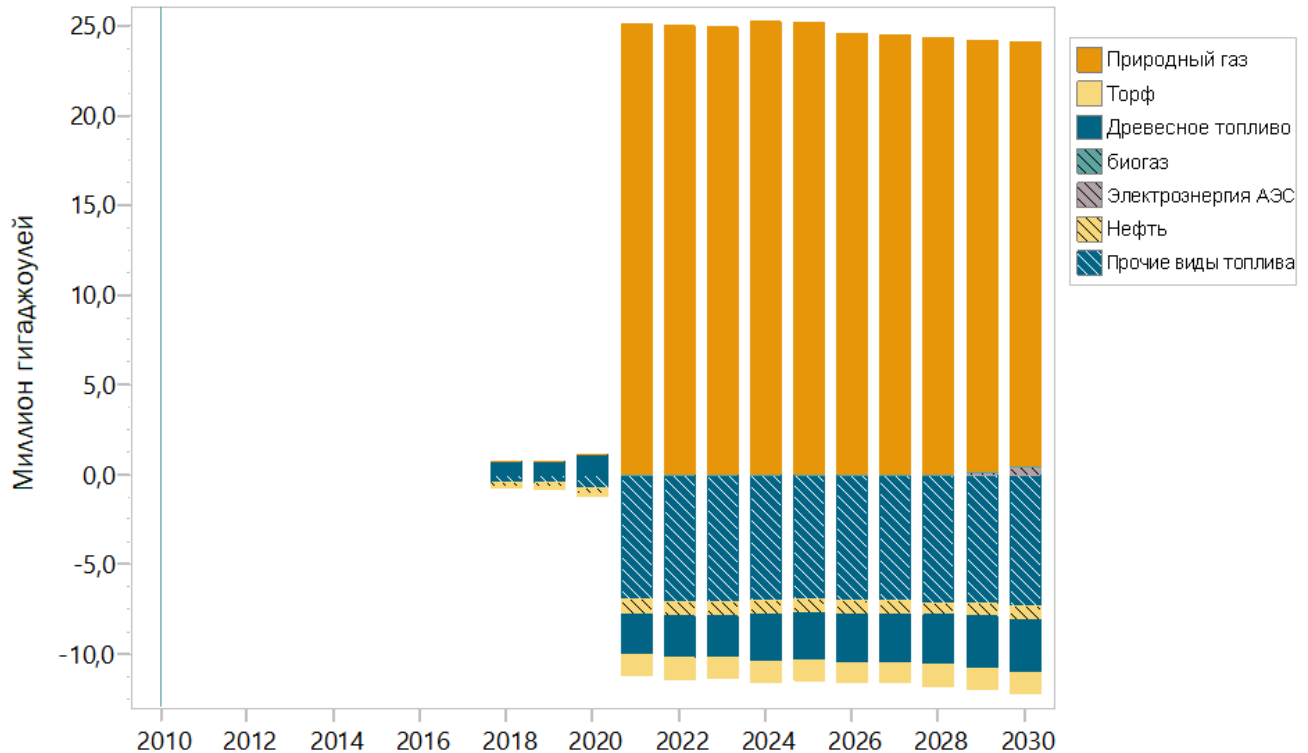


Рисунок 3-19 Резервная мощность системы выработки электроэнергии (сценарий OMAV_CITY_DH)



Как и в случае с электроотоплением в индивидуальных жилых домах и многоквартирных зданиях, подача первичной энергии увеличивается, ввиду потребности в природном газе для выработки электроэнергии. Это показано на Рисунке 3-20 ниже.

Рисунок 3-20 Различия в подаче первичной энергии в рамках сценария OMAV_CITY_DH по сравнению со сценарием NEEAP





3.3.3 Обзор сценариев, предусмотренных ТЗ

Ниже на рисунках и в таблицах представлены сравнения сценариев, как определено в ТЗ.

На Рисунке 3-21 и в Таблице 3-3 показано развитие общего конечного энергопотребления домохозяйствами. Различия между отдельными сценариями небольшие (до 65 тыс.т у.т). Они вызваны только разными КПД котлов. У электрических котлов КПД примерно 100%, в то время как котлы, работающие на ископаемых видах топлива и древесине, имеют типичные КПД от 80 до 95%. Поскольку мы не ожидаем вытеснения существующей системы центрального теплоснабжения, нет никаких изменений в конечном потреблении в рамках системы центрального теплоснабжения (сценарии NMAB_CITY_DH и OMAB_CITY_DH).

Рисунок 3-21 Сравнение общего конечного энергопотребления в домохозяйствах (сценарии с ТЗ)

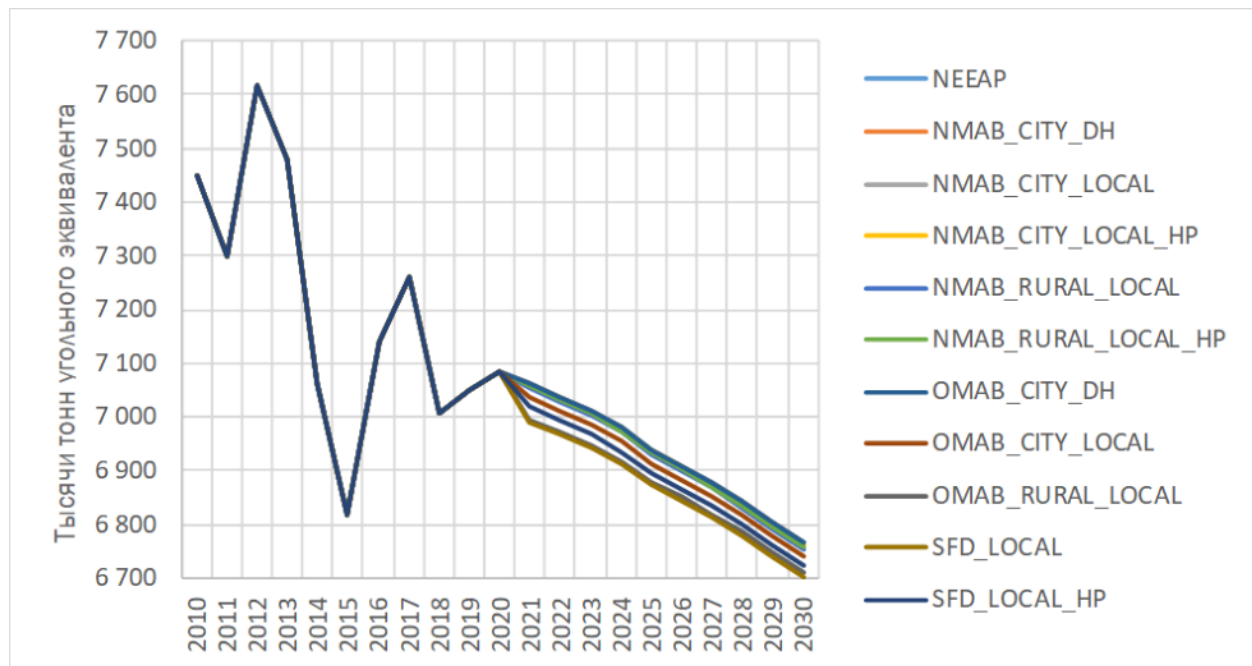


Таблица 3-3 Сравнение общего конечного энергопотребления в домохозяйствах (сценарии из ТЗ)

[тыс.т у.т]	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
NAPEE	7260	7008	7048	7083	7062	7038	7011	6980	6939	6910	6877	6842	6805	6765
NMAB_CITY_DH	7260	7008	7048	7083	7062	7038	7011	6980	6939	6910	6877	6842	6805	6765
NMAB_CITY_LOCAL	7260	7008	7048	7083	7060	7036	7008	6977	6936	6907	6874	6839	6801	6761
NMAB_CITY_LOCAL_HP	7260	7008	7048	7083	7060	7036	7008	6977	6936	6907	6874	6839	6801	6761
NMAB_RURAL_LOCAL	7260	7008	7048	7083	7055	7030	7002	6970	6930	6900	6867	6832	6794	6754
NMAB_RURAL_LOCAL_HP	7260	7008	7048	7083	7058	7033	7005	6974	6933	6903	6871	6835	6797	6757
OMAB_CITY_DH	7260	7008	7048	7083	7062	7038	7011	6980	6939	6910	6877	6842	6805	6765
OMAB_CITY_LOCAL	7260	7008	7048	7083	7036	7012	6985	6954	6914	6884	6852	6817	6779	6739
OMAB_RURAL_LOCAL	7260	7009	7049	7086	6995	6972	6947	6917	6879	6851	6819	6786	6749	6711
SFD_LOCAL	7260	7009	7049	7086	6990	6967	6941	6911	6872	6843	6812	6777	6741	6701
SFD_LOCAL_HP	7260	7008	7048	7083	7020	6995	6967	6936	6896	6866	6834	6800	6763	6723

На Рисунке 3-22 и в Таблице 3-4 ниже показано развитие конечного потребления электроэнергии домохозяйствами для сценариев, предусмотренных Техническим заданием. Нет никакого различия в конечном потреблении электроэнергии домохозяйствами для сценариев с теплом от системы центрального теплоснабжения, выработанном с электроэнергией, поскольку это



изменение происходит в области преобразований. Самое большое количество жилых домов, которые могут быть переведены на электроотопление, среди индивидуальных домов (SFD_LOCAL), старых многоквартирных зданий с локальным отоплением в сельской местности (OMAB_RURAL_LOCAL) и старых многоквартирных зданий с локальным отоплением в городских районах (OMAB_CITY_LOCAL). Индивидуальные жилые дома (SFD_LOCAL) демонстрируют самое высокое увеличение потребления электроэнергии по сравнению со сценарием NEEAP – до 616 тыс.т у.т. С другой стороны, использование тепловых насосов в той же категории зданий (сценарий SFD_LOCAL_HP) приводит к увеличению потребления электроэнергии только на уровне 189 тыс.т у.т.

Рисунок 3-22 Сравнение конечного потребления электроэнергии в домохозяйствах (сценарии из Т3)

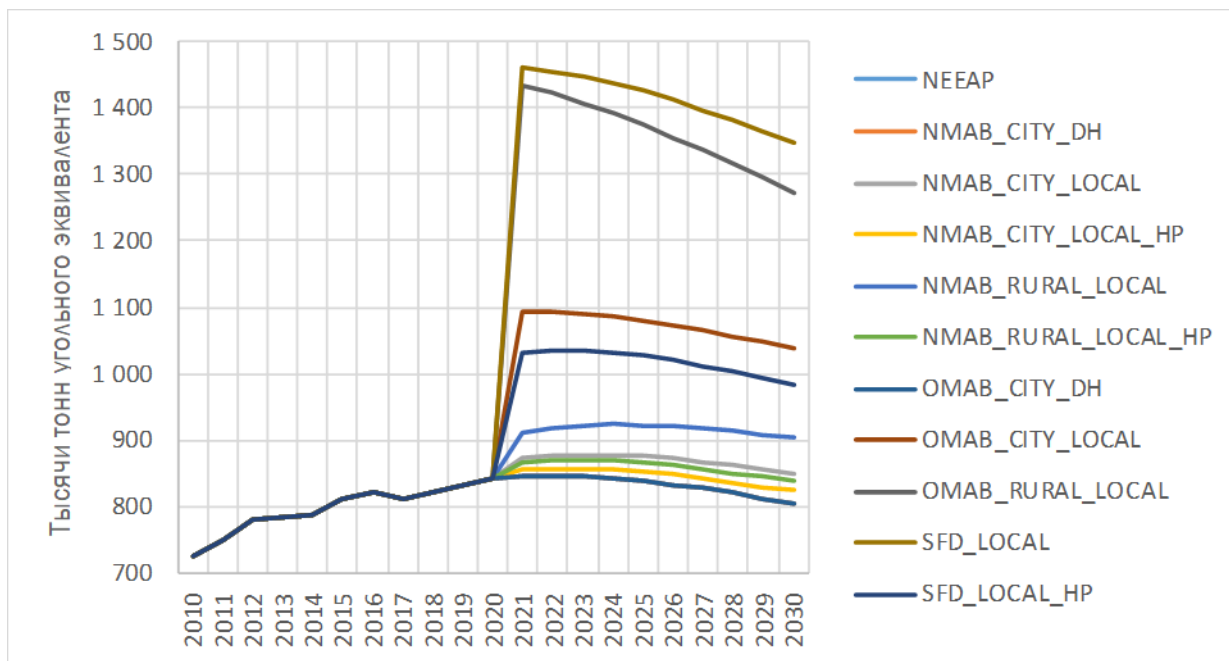


Таблица 3-4 Сравнение конечного потребления электроэнергии в домохозяйствах (сценарии из Т3)

[тыс.т у.т.]	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
NEEAP	811	822	833	842	845	846	845	842	838	833	827	820	813	805
NMAB_CITY_DH	811	822	833	842	845	846	845	842	838	833	827	820	813	805
NMAB_CITY_LOCAL	811	822	833	842	873	876	878	878	875	872	867	862	857	851
NMAB_CITY_LOCAL_HP	811	822	833	842	855	857	857	855	852	848	843	837	830	824
NMAB_RURAL_LOCAL	811	822	833	842	910	917	921	924	923	921	917	913	909	904
NMAB_RURAL_LOCAL_HP	811	822	833	842	865	868	869	868	866	862	857	851	844	838
OMAB_CITY_DH	811	822	833	842	845	846	845	842	838	833	827	820	813	805
OMAB_CITY_LOCAL	811	822	833	842	1093	1093	1090	1085	1079	1073	1065	1057	1048	1038
OMAB_RURAL_LOCAL	811	822	833	842	1434	1422	1408	1392	1375	1356	1336	1316	1295	1273
SFD_LOCAL	811	822	833	842	1461	1456	1448	1438	1426	1412	1397	1382	1365	1349
SFD_LOCAL_HP	811	822	833	842	1033	1035	1034	1032	1029	1021	1012	1003	993	983

На Рисунке 3-23 и в Таблице 3-5 показано количество природного газа, сэкономленного домохозяйствами, которые были переведены на использование электроэнергии для воздушного и водяного отопления. Как ожидалось, графики отражают формы конечного потребления электроэнергии, но в обратном направлении.



Рисунок 3-23 Сравнение конечного потребления природного газа в домохозяйствах (сценарии из ТЗ)

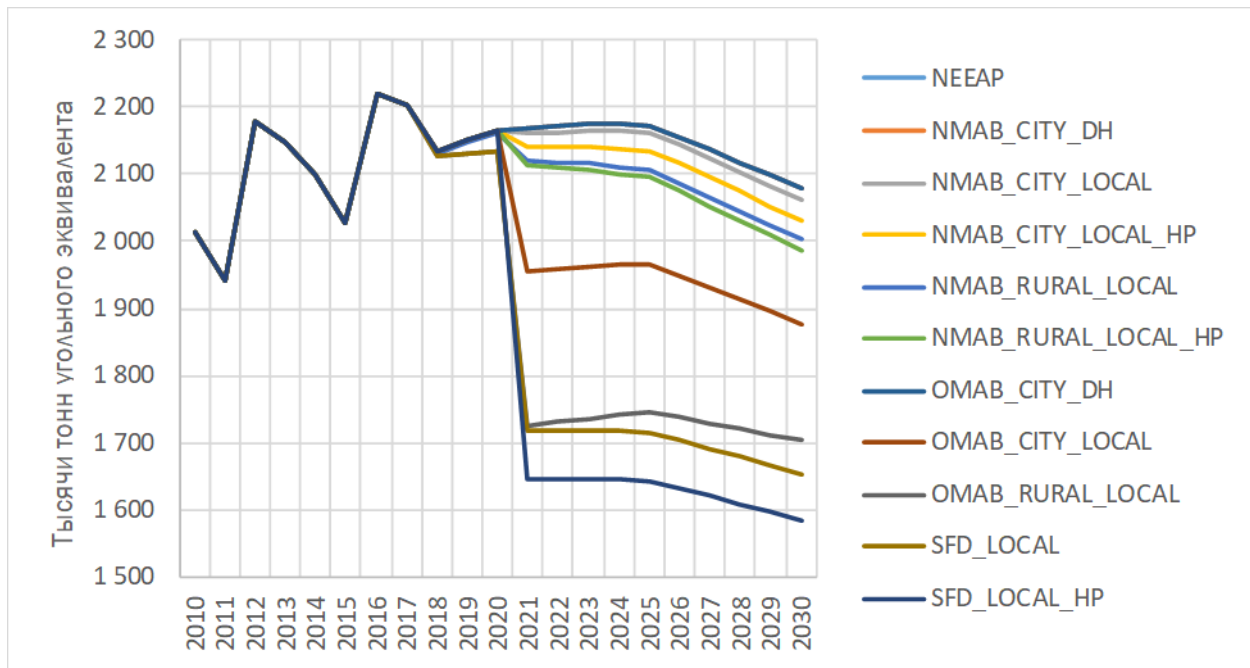


Таблица 3-5 Сравнение конечного потребления природного газа в домохозяйствах (сценарии из ТЗ)

[тыс. т у.т.]	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
NEEAP	2204	2132	2149	2166	2170	2173	2175	2176	2173	2156	2137	2118	2098	2078
NMAB_CITY_DH	2204	2132	2149	2166	2170	2173	2175	2176	2173	2156	2137	2118	2098	2078
NMAB_CITY_LOCAL	2204	2132	2149	2166	2160	2163	2164	2164	2161	2143	2124	2104	2083	2062
NMAB_CITY_LOCAL_HP	2204	2132	2149	2166	2141	2141	2140	2138	2134	2115	2095	2074	2053	2031
NMAB_RURAL_LOCAL	2204	2132	2148	2162	2120	2118	2115	2111	2106	2087	2066	2046	2024	2002
NMAB_RURAL_LOCAL_HP	2204	2132	2149	2166	2113	2110	2106	2101	2095	2074	2053	2031	2009	1986
OMAB_CITY_DH	2204	2132	2149	2166	2170	2173	2175	2176	2173	2156	2137	2118	2098	2078
OMAB_CITY_LOCAL	2204	2132	2149	2166	1956	1960	1963	1966	1965	1948	1931	1914	1895	1876
OMAB_RURAL_LOCAL	2204	2127	2130	2133	1724	1731	1737	1742	1744	1737	1730	1721	1712	1703
SFD_LOCAL	2204	2127	2130	2133	1718	1719	1719	1718	1715	1704	1692	1679	1666	1653
SFD_LOCAL_HP	2204	2132	2149	2166	1646	1646	1646	1645	1642	1631	1621	1609	1598	1585

Хотя на рисунке и в таблице выше показано развитие конечного потребления природного газа домохозяйствами, Рисунок 3-24 и Таблица 3-6 демонстрируют бытовое первичное потребление природного газа в рассмотренных сценариях. Можно рассмотреть сценарии с использованием тепловых насосов (NMAB_RURAL_LOCAL_HP, NAMB_CITY_LOCAL_HP и SFD_LOCAL_HP), которые не только не приводят к увеличенному потреблению природного газа, но даже приводят к незначительному снижению по сравнению со сценарием NEEAP. Все другие случаи приводят к увеличению бытового первичного потребления природного газа. При условии, что АЭС работает с высоким использованием установленной мощности, увеличенное потребление электроэнергии будет покрываться за счет газовых конденсационных установок и ТЭЦ и, следовательно, увеличенным потреблением природного газа.



Рисунок 3-24 Сравнение общего первичного бытового потребления природного газа (сценарии из Т3)

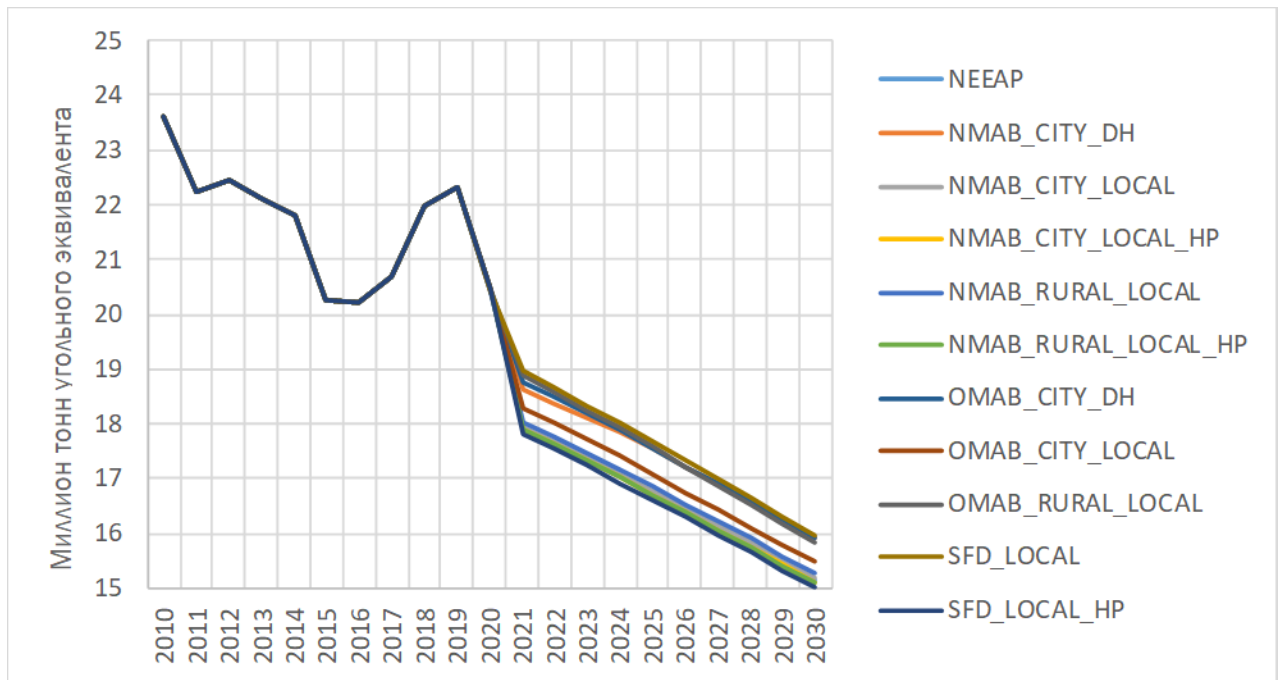


Таблица 3-6 Сравнение общего первичного бытового потребления природного газа (сценарии из Т3)

[М т у.т.]	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
NEEAP	20.7	22.0	22.3	20.5	17.9	17.6	17.3	17.0	16.7	16.4	16.1	15.8	15.4	15.1
NMAB_CITY_DH	20.7	22.0	22.3	20.5	18.6	18.4	18.1	17.8	17.5	17.2	16.9	16.6	16.3	15.9
NMAB_CITY_LOCAL	20.7	22.0	22.3	20.5	17.9	17.7	17.4	17.1	16.8	16.5	16.1	15.8	15.5	15.2
NMAB_CITY_LOCAL_HP	20.7	22.0	22.3	20.5	17.9	17.6	17.3	17.0	16.7	16.4	16.1	15.7	15.4	15.1
NMAB_RURAL_LOCAL	20.7	22.0	22.3	20.5	18.0	17.7	17.5	17.2	16.9	16.5	16.2	15.9	15.6	15.3
NMAB_RURAL_LOCAL_HP	20.7	22.0	22.3	20.5	17.9	17.6	17.3	17.0	16.7	16.4	16.1	15.7	15.4	15.1
OMAB_CITY_DH	20.7	22.0	22.3	20.5	18.8	18.5	18.2	17.9	17.6	17.2	16.9	16.6	16.3	15.9
OMAB_CITY_LOCAL	20.7	22.0	22.3	20.5	18.3	18.0	17.7	17.4	17.1	16.8	16.4	16.1	15.8	15.5
OMAB_RURAL_LOCAL	20.7	22.0	22.3	20.4	18.9	18.6	18.3	17.9	17.6	17.2	16.9	16.5	16.2	15.8
SFD_LOCAL	20.7	22.0	22.3	20.4	18.9	18.7	18.3	18.0	17.7	17.3	17.0	16.6	16.3	16.0
SFD_LOCAL_HP	20.7	22.0	22.3	20.5	17.8	17.5	17.2	16.9	16.6	16.3	16.0	15.7	15.3	15.0

3.3.4 Комбинированные сценарии

3.3.4.1 Максимальное использование электроэнергии в отоплении

В следующих двух сценариях рассматривается максимально возможное использование электрических котлов в выработке тепла:

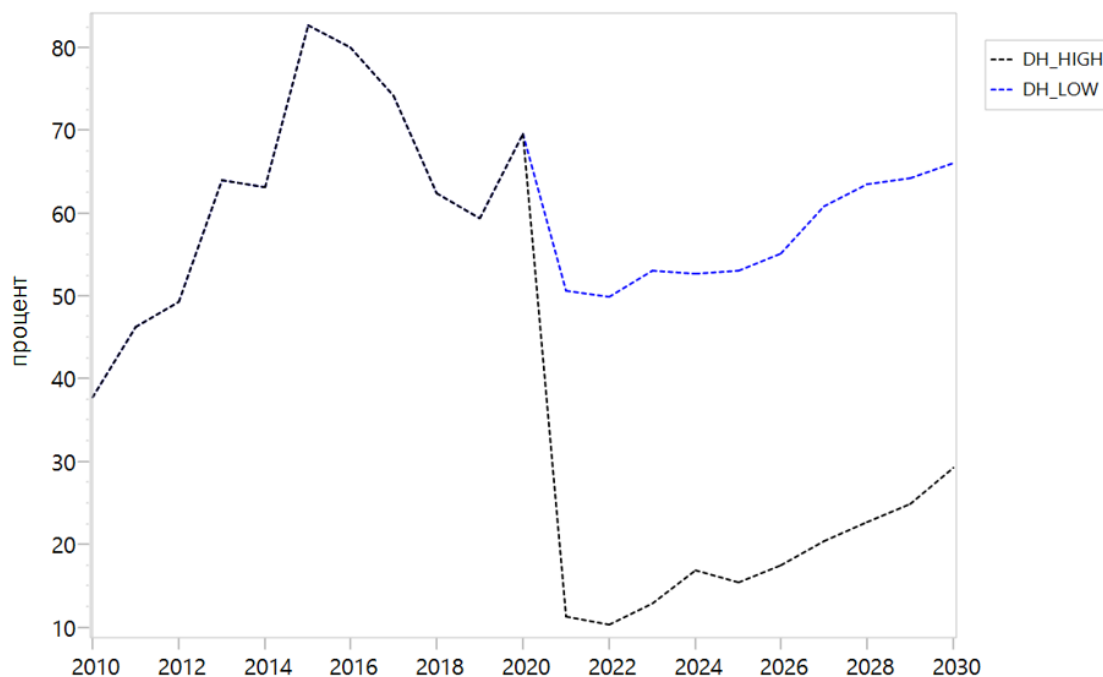
- ◆ DH_LOW – в данном сценарии предпринимается попытка увеличить до максимума выработку тепла из электроэнергии при сохранении производства тепла в уже существующих отопительных котельных, работающих на газе.
- ◆ DH_HIGH – в данном сценарии предпринимается попытка максимально увеличить выработку тепла из электроэнергии, но данный вариант позволяет заменить все существующие отопительные котельные, работающие на газе, электрическими котлами.



В обоих сценариях выработка тепла от электроэнергии может быть выше, чем потребление тепла домохозяйствами. Это связано с тем, что другие сектора также могут быть обеспечены теплом.

На рисунке 3-25 представлен уровень резерва генерирующей мощности обоих сценариев. Сценарий DH_HIGH имеет слишком малый уровень резерва установленной мощности электроэнергии, и поэтому, он был исключен из списка возможных сценариев.

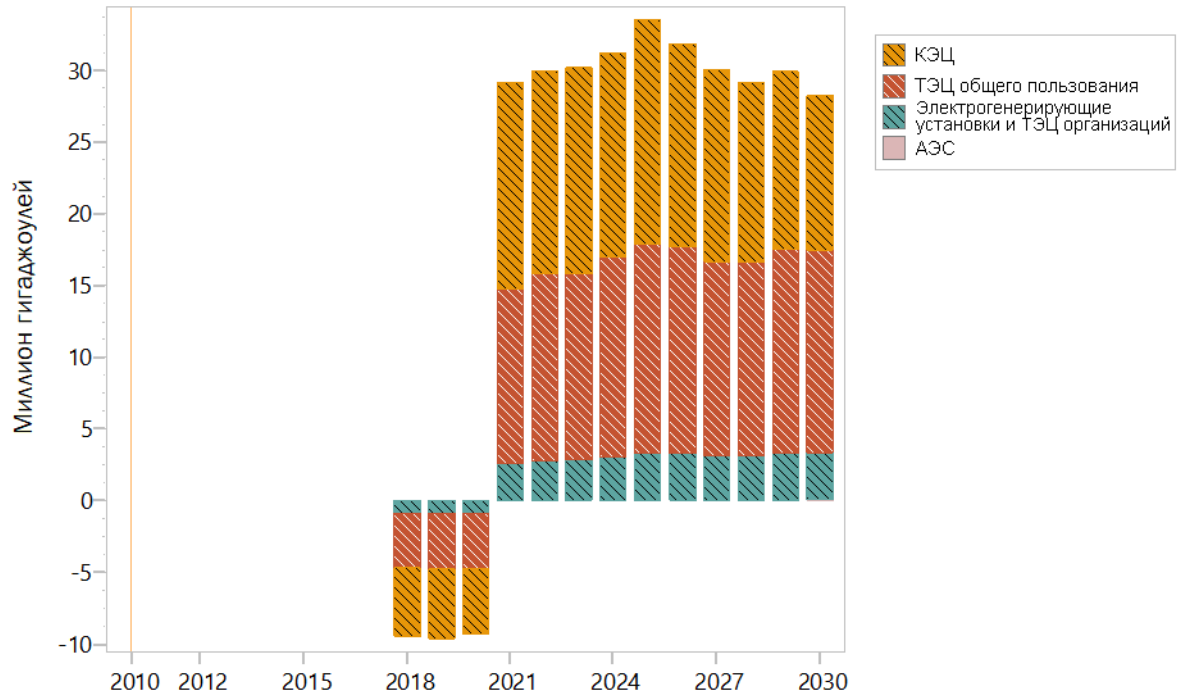
Рисунок 3-25 Уровень резерва мощности производства электроэнергии в сценариях DH_LOW и DH_HIGH



На Рисунок 3-26 показано увеличение производства электроэнергии по сценарию DH_LOW. Это составляет около 1100 тыс.т у.т. к производству электроэнергии по сравнению со сценарием NEEAP в пиковый год.



Рисунок 3-26 Различие в показателях производства электроэнергии по сценарию DH_LOW и сценарию NEEAP



Как и в предыдущих сценариях, некоторое увеличение потребления электроэнергии должно быть удовлетворено за счет конденсационных электростанций.

На Рисунок 3-27 и Рисунок 3-28 ниже показаны изменения в выработке тепла, как всего теплоснабжения, так и тепла, выработанного ТЭЦ. Выработка тепла от электрических котлов колеблется в пределах от 770 до 950 тыс.т у.т. по сценарию DH_LOW.

Рисунок 3-27 Различие в показателях производства тепла на отопительных котельных по сценариям DH_LOW и NEEAP

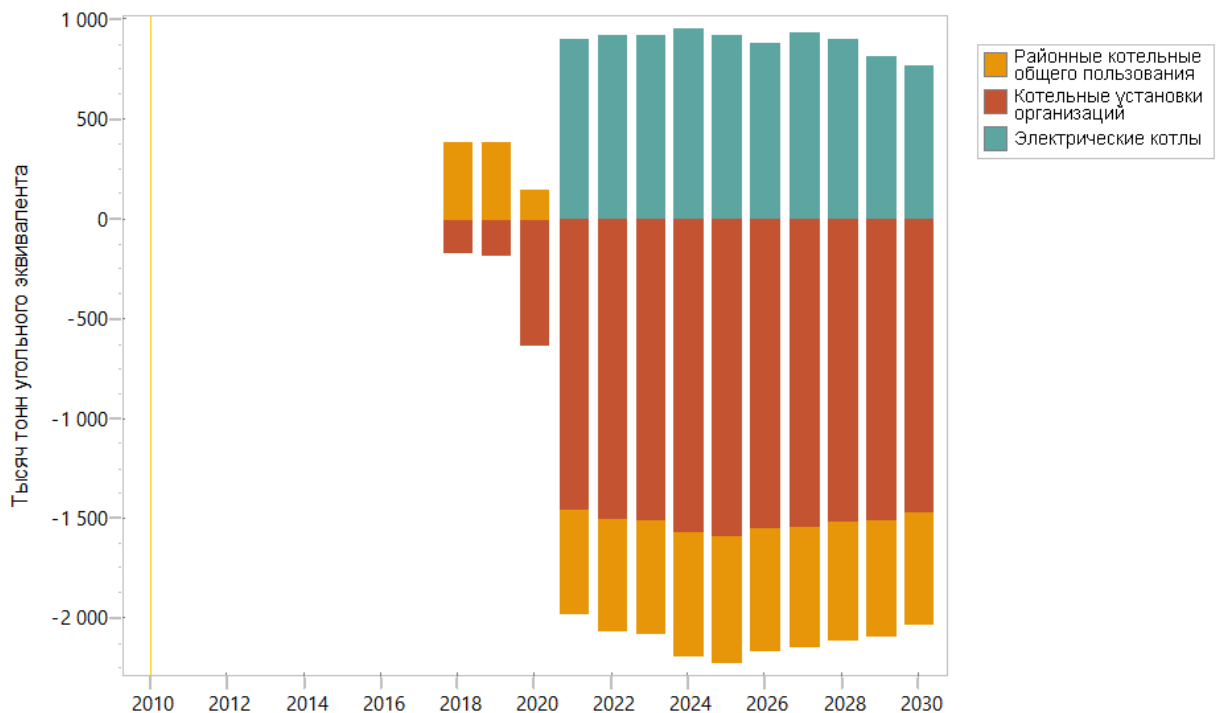
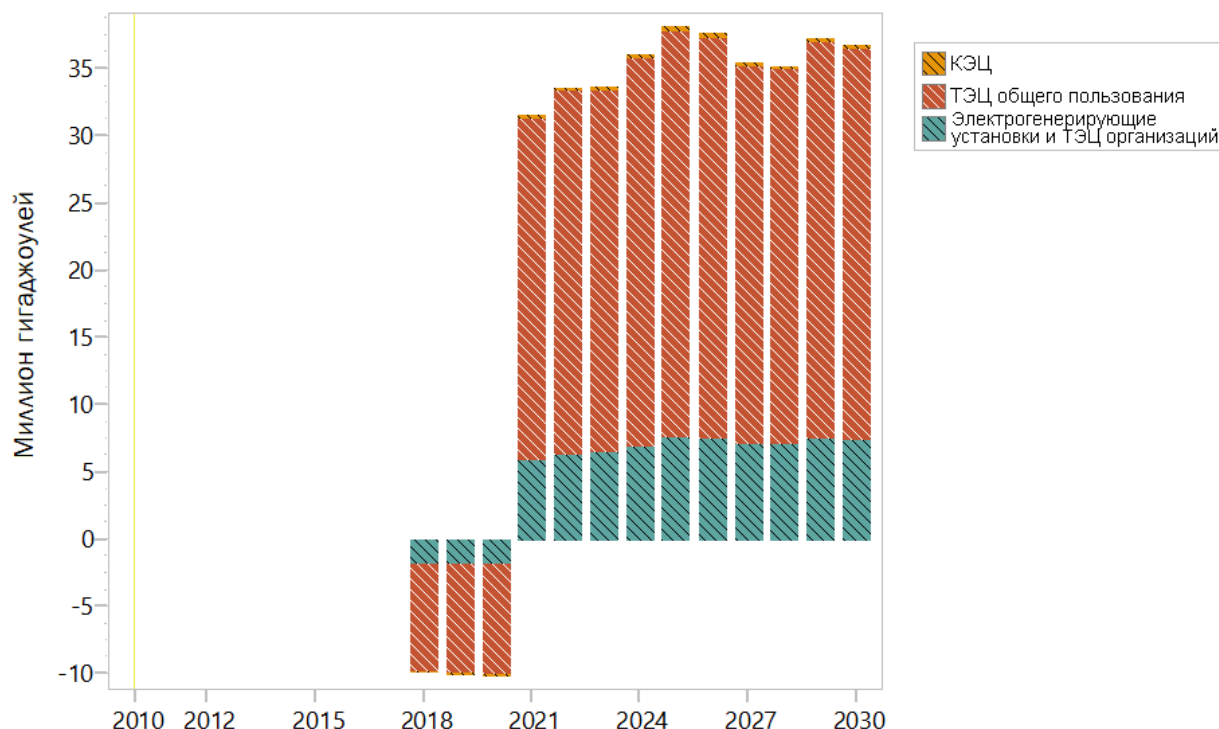




Рисунок 3-28 Различие в показателях производства тепла на ТЭЦ по сценарию DH_LOW и сценарию NEEAP



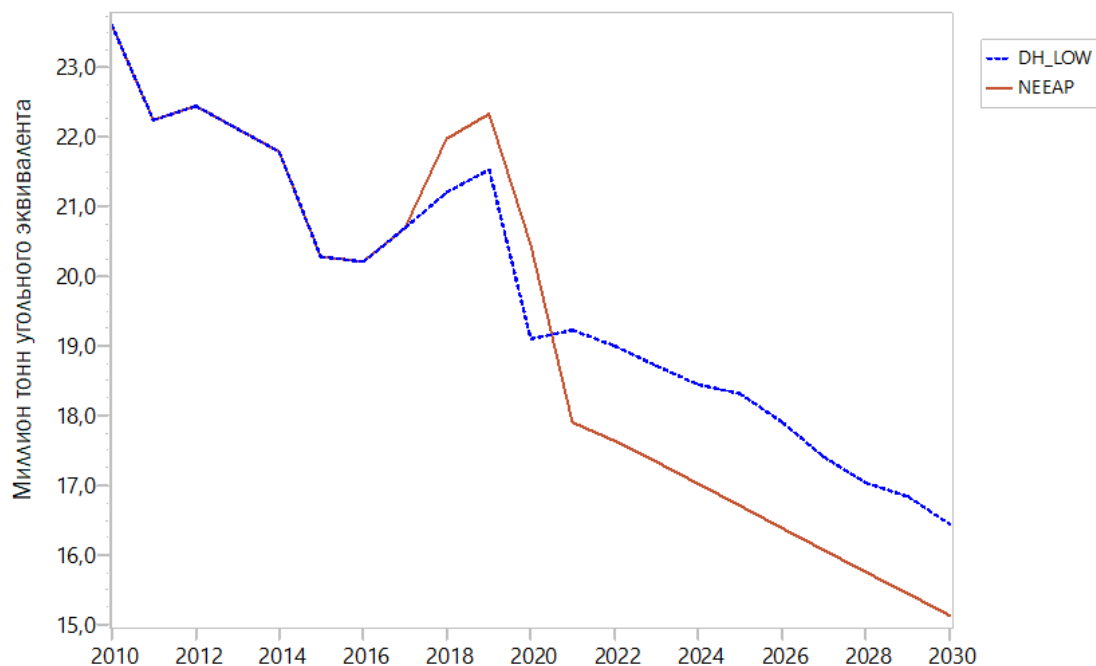
По сравнению со сценарием NEEAP баланс сценария DH_LOW выглядит следующим образом:

- ◆ Увеличение выработки тепла на электрических отопительных котельных: + ≈800 тыс.т у.т.
- ◆ Снижение выработки тепла на отопительных котельных, работающих на ископаемом топливе: - ≈2000 тыс.т у.т.
- ◆ Увеличение выработки тепла на ТЭЦ: + ≈1,200 тыс.т у.т.

Потребность в новых мощностях отопительных котельных в этом сценарии практически исключена по сравнению со сценарием NEEAP, хотя, конечно, будет необходимость в инвестициях в электрические котлы.

На приведенном ниже графике (Рис. 3-25) показано увеличение общего объема газоснабжения примерно на 1,6 млн. т у.т. на уровне первичной энергии по сравнению со сценарием NEEAP.

Рисунок 3-29 Сравнение первичной подачи природного газа в рамках сценария DH_LOW со сценарием NEEAP.



3.3.4.2 Максимальное использование электроэнергии в локальной системе и при подогреве воды для горячего водоснабжения

В следующих двух сценариях моделируется максимально возможная роль электроэнергии в локальной и централизованной системе и при подогреве воды для горячего водоснабжения

- ◆ ALL_LOCAL – прямое электрическое отопление заменит местное и центральное отопление газом, торфом и древесиной во всех типах зданий в городских и сельских районах;
- ◆ ALL_LOCAL_HP – аналогично предыдущему сценарию, за исключением новых зданий, в которых вместо прямого электрического отопления используются тепловые насосы.

Данные сценарии не влияют на конечное потребление тепла, поскольку электрические решения предполагают замену только отдельных локальных котлов, которые в настоящее время не подключены к системам ЦТ.

На следующих двух рисунках показаны изменения в конечном потреблении энергии домохозяйствами для двух вышеупомянутых сценариев. Количество вытесненного газа, торфа и древесины одинаково для обоих сценариев.



Рисунок 3-30 Различие в конечном энергопотреблении домохозяйств по сценарию ALL_LOCAL и NEEAP

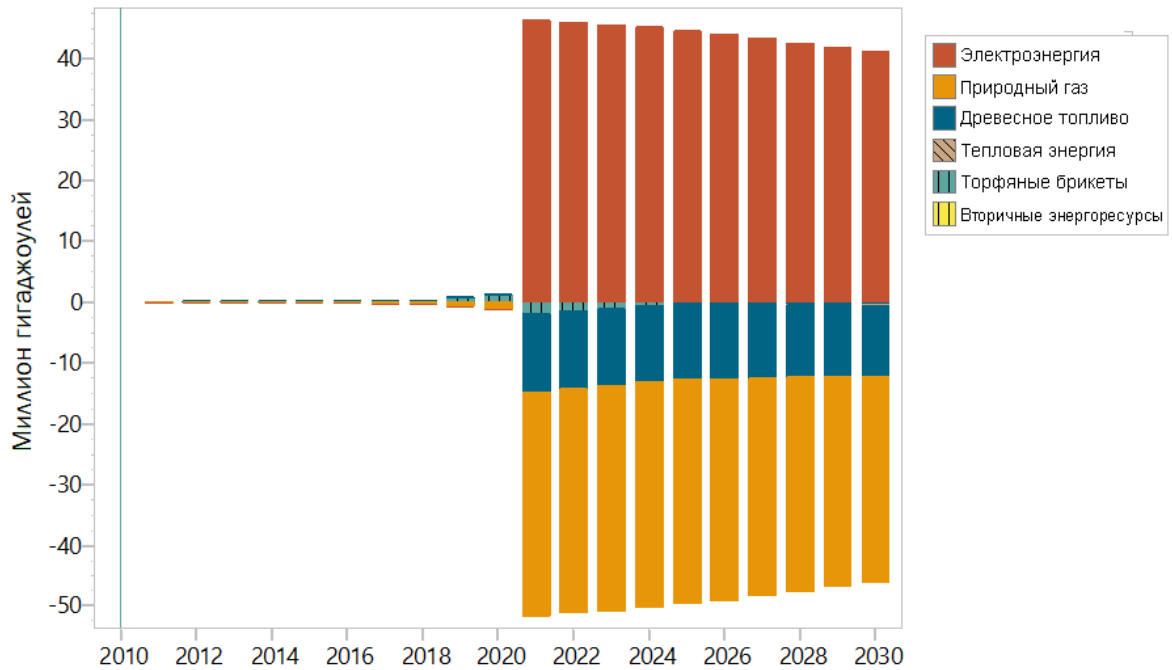
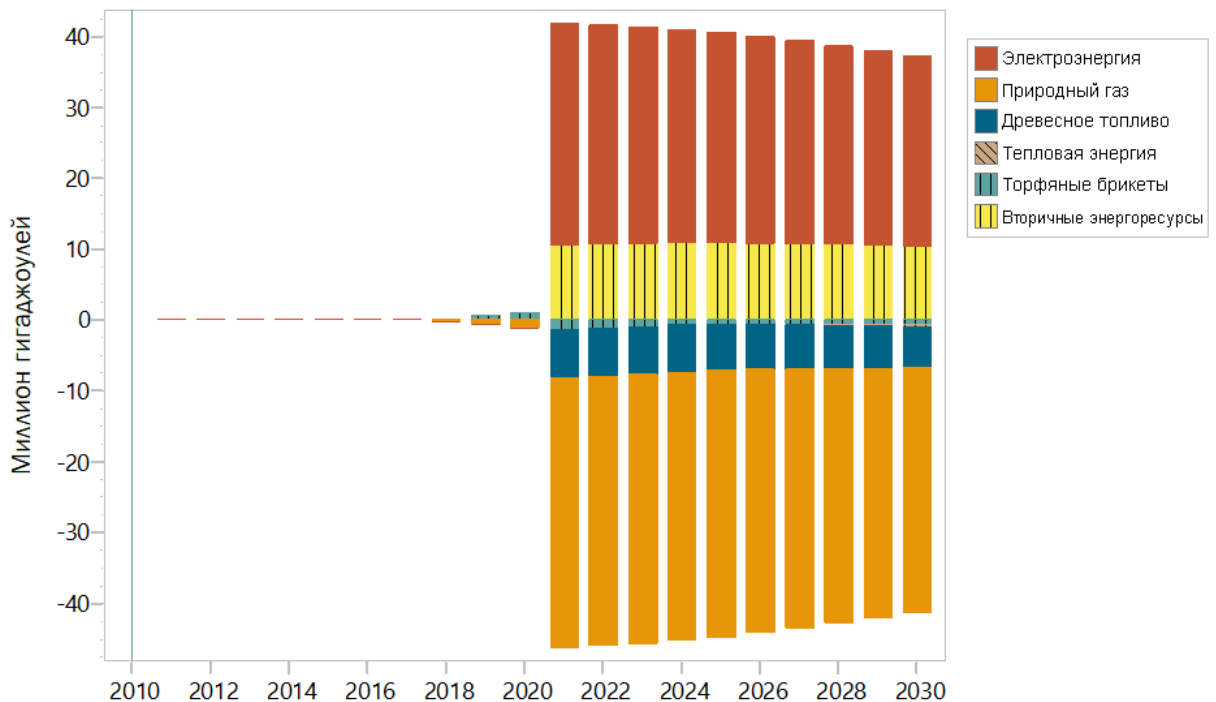


Рисунок 3-31 Различие в конечном энергопотреблении домохозяйств по сценарию ALL_LOCAL_HP и сценарию NEEAP



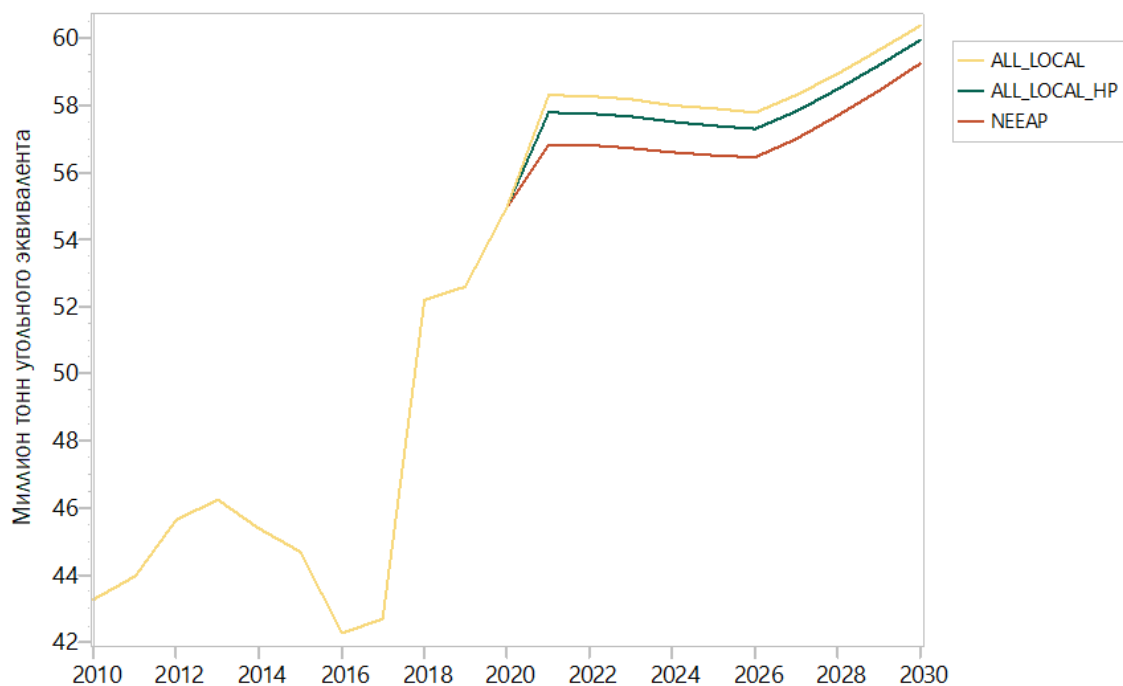
Увеличение потребления электроэнергии по сценарию ALL_LOCAL_HP ниже, чем по сценарию ALL_LOCAL, потому что часть тепла от электроэнергии заменяется теплом окружающей среды, используемым тепловыми насосами. Несмотря на то, что количество потребления тепла не меняется, увеличение выработки электроэнергии приводит к изменениям в выработке тепла. Эти изменения оказывают позитивное влияние: увеличивается ежегодное использование установленных мощностей ТЭЦ, а производство тепловой энергии на отопительных котельных



уменьшается, как в основных сценариях. Это изменение эффективно устраняет необходимость создания новых мощностей ЦТ.

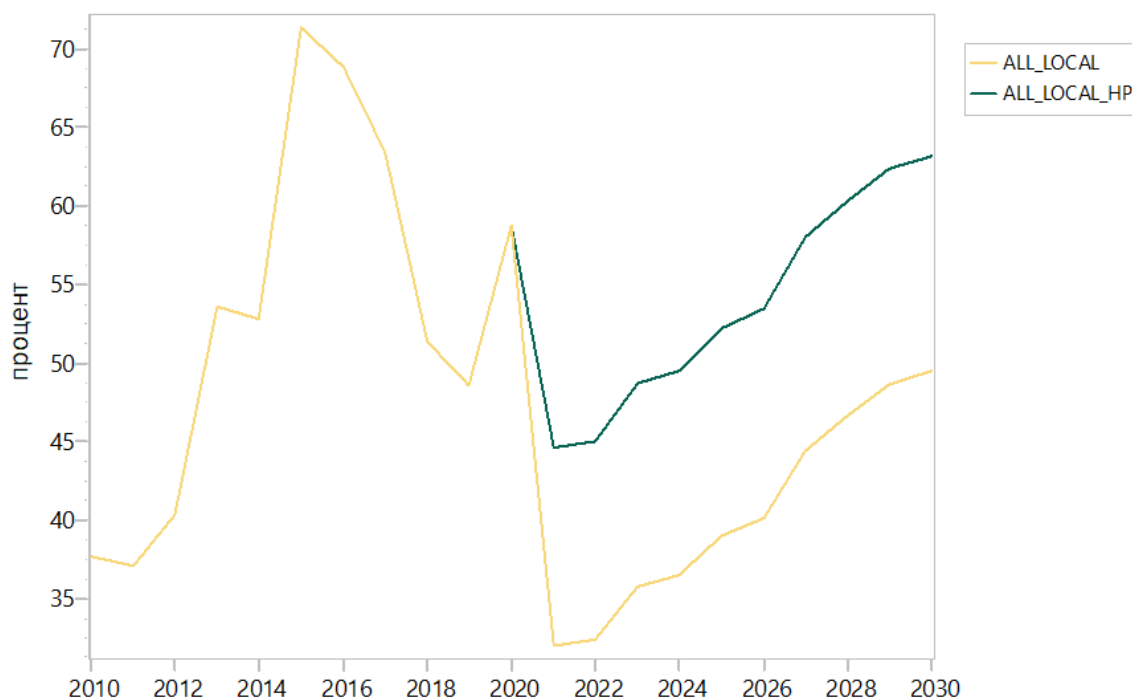
Увеличение подачи газа в качестве первичной энергии показано на следующем рисунке.

Рисунок 3-32 Сравнение первичной подачи природного газа по сценариям ALL_LOCAL и ALL_LOCAL_HP со сценарием NEEAP



На Рисунке 3-33 ниже показано, что оба сценария возможны в отношении резерва установленных мощностей по производству электроэнергии.

Рисунок 3-33 Уровень резерва мощности производства электроэнергии по сценариям ALL_LOCAL и ALL_LOCAL_HP



3.3.4.3 Комбинированные сценарии максимально возможного использования электроэнергии как при централизованном отоплении, так и в локальных системах и при подогреве воды для горячего водоснабжения

В четырех сценариях этого раздела оценивается максимально возможное использование электроэнергии, как при централизованном, так и локальном отоплении, а также при подогреве воды для горячего водоснабжения:

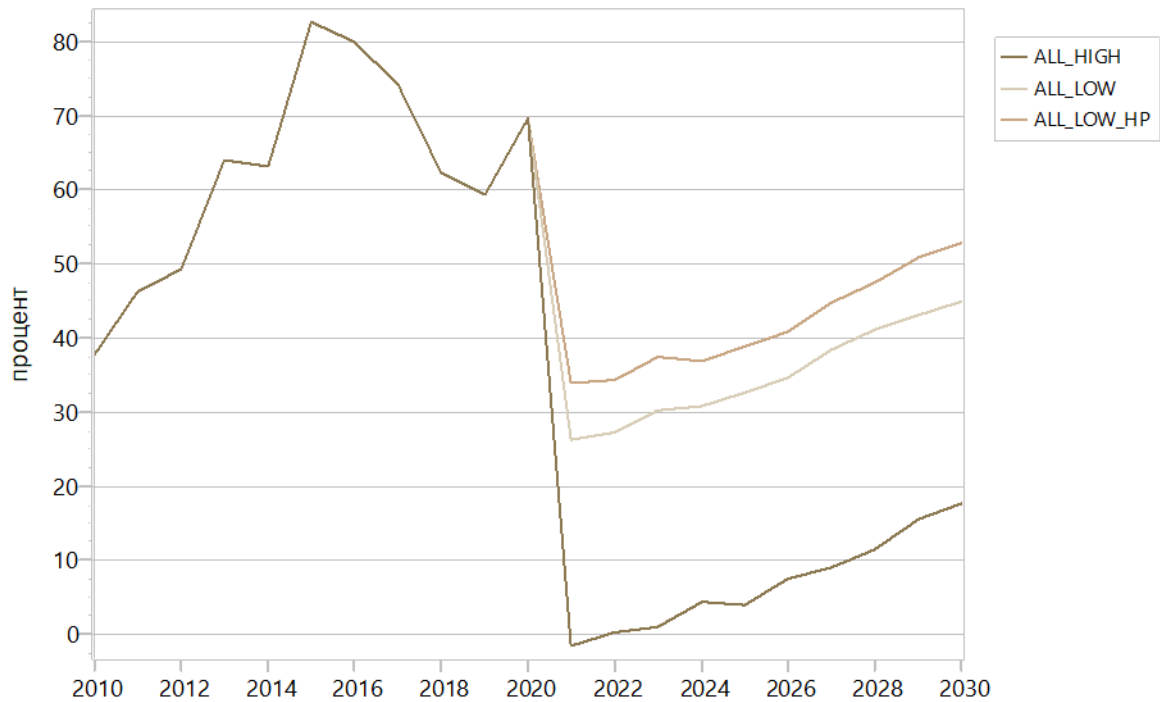
- ◆ ALL_LOW – сочетание сценариев ALL_LOCAL и DH_LOW.
- ◆ ALL_HIGH – сочетание сценариев ALL_LOCAL и DH_HIGH.
- ◆ ALL_LOW_HP – сочетание сценариев ALL_LOCAL_HP и DH_LOW.
- ◆ ALL_HIGH_HP – сочетание сценариев ALL_LOCAL_HP и DH_HIGH.

В рамках модели не было выявлено никакого возможного решения в сценарии ALL_HIGH_HP, потому что данный сценарий нарушает все установленные пределы мощности и располагаемого запаса топлива.

На рис. 3-34 показан уровень резерва энергогенерирующих мощностей для оставшихся трех сценариев. Сценарий ALL_HIGH был исключен из списка возможных сценариев ввиду недостаточного уровня резерва мощности. Сценарий ALL_LOW лишь слегка не дотягивает до предела 30%, и только сценарий ALL_LOW_HP полностью соответствует требуемому уровню резерва мощности.



Рисунок 3-34 Уровень резерва мощности системы производства электроэнергии сценариев ALL_LOW, ALL_HIGH и ALL_LOW_HP



На Рисунок 3-35 и Рисунок 3-36 показаны изменения в производстве электроэнергии для двух оставшихся сценариев. В то время как сценарий ALL_LOW_HP приводит к увеличению выработки электроэнергии на 1500 тыс.т у.т., сценарий ALL_LOW приводит к увеличению на 2000 тыс.т у.т. по сравнению со сценарием NEEAP.

Рисунок 3-35 Различия в показателях производства электроэнергии по сценарию ALL_LOW и сценарию NEEAP

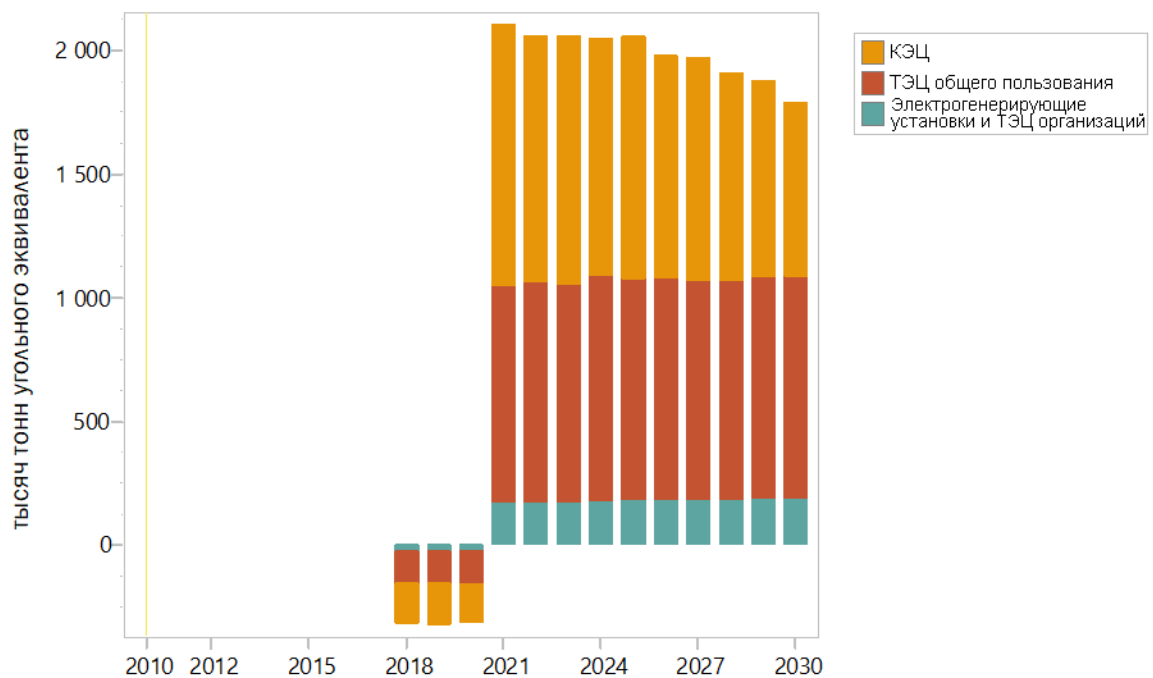
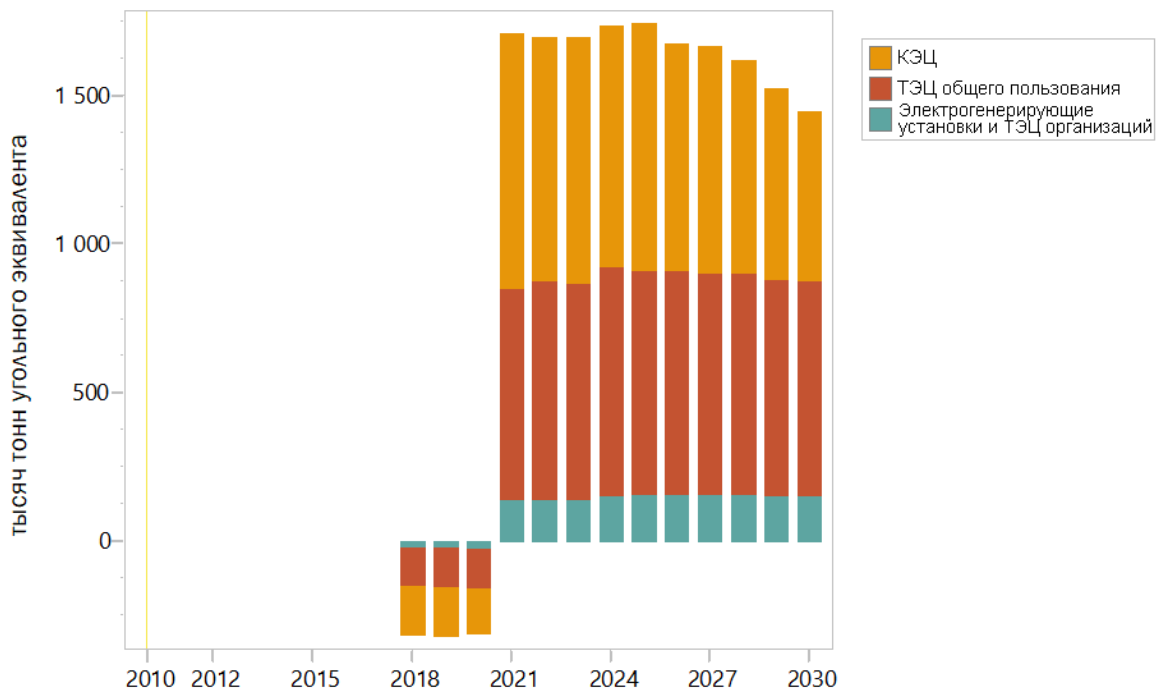




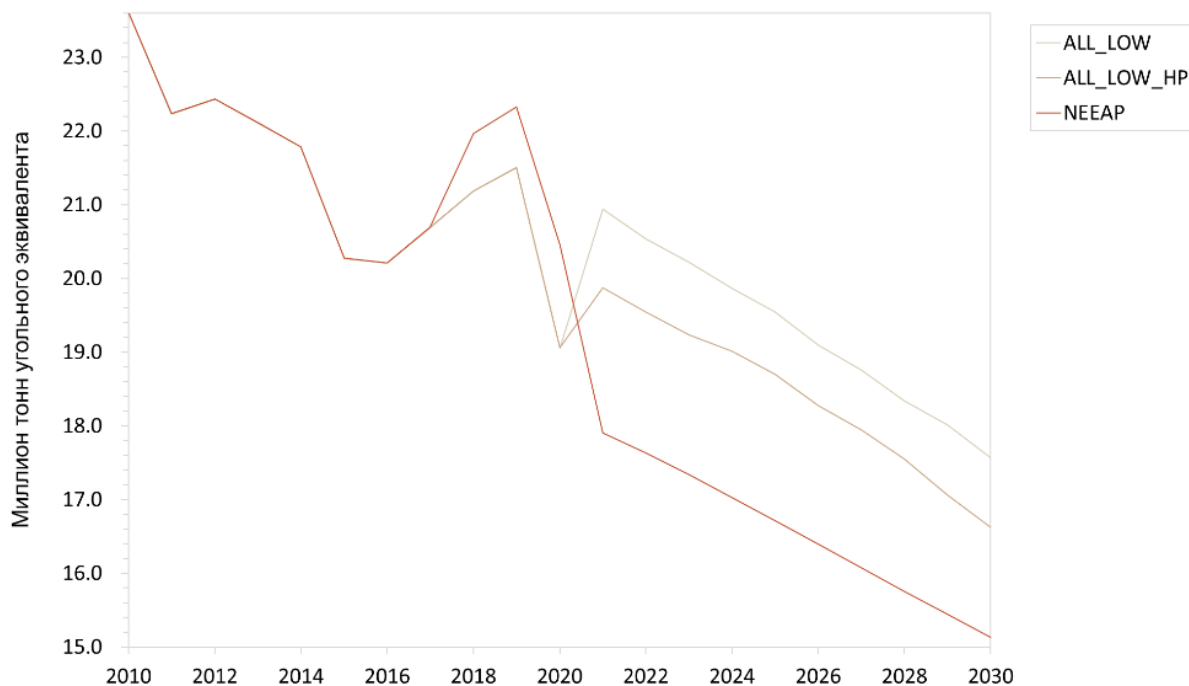
Рисунок 3-36 Различия в показателях производства электроэнергии по сценарию ALL_LOW_HP и сценарию NEEAP



Как и в предыдущем разделе, увеличение количества тепла, производимого ТЭЦ, устраняет необходимость в создании новых мощностей ЦТ.

На Рисунок 3-37 показаны изменения в первичной подаче газа. По сценарию ALL_LOW показатели подачи составляют около 3000 тыс.т у.т., а по сценарию ALL_LOW_HP около 2000 тыс.т у.т. на первичную подачу газа.

Рисунок 3-37 Сравнение показателей первичной подачи природного газа по сценариям ALL_LOCAL и ALL_LOCAL_HP со сценарием NEEAP





3.3.5 Влияние различных источников электроэнергии на профили нагрузки

Этот вопрос подробно обсуждается в Приложении Б. Моделирование показывает влияние на различные виды источников электроэнергии после ввода в эксплуатацию АЭС и для сценария DH_HIGH (замена всех существующих отопительных котельных, работающих на газе, на электрические котлы).

Основные выводы таковы:

- ◆ Изменения потребления электроэнергии покрываются в основном за счет конденсационных электростанций и ТЭЦ;
- ◆ Необходимо сохранить установленные мощности конденсационных электростанций и ТЭЦ для обеспечения регулирующих мощностей энергосистемы.

Это подчеркивает необходимость замены, по крайней мере, некоторых из источников центрального теплоснабжения, работающих на газе, на электрическое отопление после того, как АЭС будет введена в эксплуатацию.

3.4 Выводы на основании результатов моделирования

Ключевые моменты моделирования ДСПЭА:

- ◆ Ввод в эксплуатацию АЭС приведет к значительному снижению с 45 до 25% использования установленных мощностей существующих ТЭЦ. Кроме того, это также приводит к дефициту до 2500 МВт установленной тепловой мощности для систем центрального теплоснабжения. Необходимо подчеркнуть, что нехватка установленной тепловой мощности прогнозируется в системах центрального теплоснабжения, которые получают энергию от ТЭЦ, а не в системах, которые получают энергию с котельных.
- ◆ Доля отопления с использованием электроэнергии, которая вырабатывается котельными, может составить до 40%, с сохранением необходимых резервных мощностей, при отсутствии перехода на электроэнергию в локальных и централизованных системах воздушного и водяного отопления.
- ◆ Доля отопления с использованием электроэнергии, которая вырабатывается котельными, может достигать до 30%, с сохранением необходимых резервных мощностей, при замещении природного газа, торфа и биомассы электроэнергией в локальных и централизованных системах воздушного и водяного отопления.
- ◆ В рамках всех рассмотренных сценариев можно также значительно снизить дефицит установленной мощности на КЭС, поскольку они улучшают годовое использование существующих ТЭЦ. Размер дефицита различен в зависимости от различных сценариев, но ввод электрических котлов сможет сократить дефицит примерно до 1000 МВт, в то время как в рамках сценариев, предусматривающих использование тепловых насосов, можно полностью покрыть нехватку мощности систем центрального теплоснабжения.
- ◆ Большинство сценариев приводят к увеличению использования природного газа от 30 до 1024 тыс.т у.т. Этого не происходит только в сценариях с использованием тепловых насосов в новых зданиях.

Другие важные аспекты, которые следует учитывать:

- ◆ Электрификация систем отопления помещений и подогрева воды для горячего водоснабжения в домохозяйствах требует соответствующей мощности распределительных сетей, а в случае локального отопления и сетей внутри зданий. Увеличение пропускной способности сети может потребовать значительных инвестиций, особенно в городах.



- ◆ Электрификация отопительных котельных требует усиления только местного электроснабжения. Это проще и, вероятно, требует меньших инвестиций, чем электрификация конечного потребления. Не все котлы должны быть заменены, так как многие из них могут быть оснащены электрическими нагревательными элементами в рамках существующей конструкции.

Эти аспекты более подробно обсуждаются в Разделе 3.

Моделирование дает основания для следующих рекомендаций:

1. Использовать тепловые насосы в новых и модернизированных зданиях в качестве первого этапа электрификации;
2. На втором этапе рассмотреть возможность электрификации отопительных котельных:
 - До 40%, если нет перевода на электроэнергию в системе локального и централизованного воздушного отопления и подогрева воды для горячего водоснабжения
 - До 30 %, если весь газ, торф и биомасса заменяются на электроэнергию в системах локального и централизованного воздушного отопления и подогрева воды для горячего водоснабжения.
3. Рассмотреть возможность электрификации на локальном и централизованном уровнях и при подогреве воды для горячего водоснабжения в районах, где расширение электрических распределительных сетей не станет значительной финансовой преградой или если это существенно улучшит условия окружающей среды.

4 ВЛИЯНИЕ НА ЭКОЛОГИЮ

В этом разделе описано влияние на окружающую среду смоделированных сценариев, включая влияние на энергосбережение, CO₂ и другие загрязняющие вещества (SO₂, NO_x, VOCs и CO).

4.1 Энергосбережение

Прямое энергосбережение, связанное с переходом от отопления на ископаемом топливе на электроэнергию в жилом секторе отсутствует, поскольку предполагается, что энергопотребление зданий будет таким же, как и до перехода. В действительности, энергосбережение будет достигнуто за счет повышения энергоэффективности здания с помощью других мер, рекомендованных в НПДЭЭ, как показано на графиках. Такие усовершенствования будут реализованы до замены источников отопления, что позволит снизить установленную мощность.

На уровне первичной энергии, на основе моделирования показано, что энергопотребление увеличивается из-за более низкой эффективности электрического отопления по сравнению с ископаемым топливом. Это уже было продемонстрировано в предыдущих разделах. Обзор различий между внутренним потреблением первичной энергии по сравнению со сценарием NEEAP показан в Таблице 4-1. Из таблицы видно, что чем выше потребление электроэнергии на отопление (как в местном отоплении, так и в электрических котлах центрального теплоснабжения), выше рост внутреннего потребления первичной энергии по сравнению со сценарием NEEAP. Тем не менее, в сценариях, предусматривающих использование тепловых насосов, наблюдается значительно меньшее увеличение первичной энергии, чем в случае использования электрических котлов.

Таблица 4-1 Различия внутреннего потребления первичной энергии в отдельных сценариях и сценариях NEEAP

[тыс.т у.т.]	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
ALL_HIGH	2870	2668	2966	2487	2754	2319	2593	2468	2063	1871
ALL_LOCAL	1514	1469	1456	1408	1395	1340	1311	1259	1204	1141
ALL_LOCAL_HP	996	961	947	912	900	859	836	799	761	720
ALL_LOW	1799	1671	1670	1613	1625	1522	1502	1421	1416	1310
ALL_LOW_HP	1366	1315	1312	1379	1387	1303	1289	1227	1065	967
DH_LOW	727	737	748	749	927	859	683	646	771	710
NMAB_CITY_DH (ToR 1)	421	428	440	449	469	460	460	450	439	427
NMAB_CITY_LOCAL (ToR 3)	25	24	27	28	30	30	31	32	33	34
NMAB_CITY_LOCAL_HP (ToR 3)	9	9	10	11	11	11	11	12	12	12
NMAB_LOCAL	84	88	94	95	98	98	100	100	101	102
NMAB_LOCAL_HP	25	29	32	33	35	35	35	36	36	37
NMAB_RURAL_LOCAL (ToR 3)	64	68	73	79	82	82	84	84	86	87
NMAB_RURAL_LOCAL_HP (ToR 3)	19	18	20	21	22	22	23	23	23	24
OMAB_CITY_DH (ToR 2)	501	490	489	489	490	463	461	450	439	427
OMAB_CITY_LOCAL (ToR 4)	242	235	233	228	226	219	216	210	204	199
OMAB_LOCAL	772	742	729	696	686	654	636	608	580	550
OMAB_RURAL_LOCAL (ToR 4)	564	540	528	503	492	466	451	429	407	385
SFD_CITY_LOCAL	26	24	24	23	23	23	23	22	22	22
SFD_LOCAL (ToR 5)	587	568	564	544	539	517	506	486	467	446
SFD_LOCAL_HP (ToR 5)	152	149	149	144	144	138	135	129	125	121
SFD_RURAL_LOCAL	638	618	610	590	584	560	548	526	505	482
SFD_RURAL_LOCAL_HP	173	168	168	162	162	154	151	144	139	134

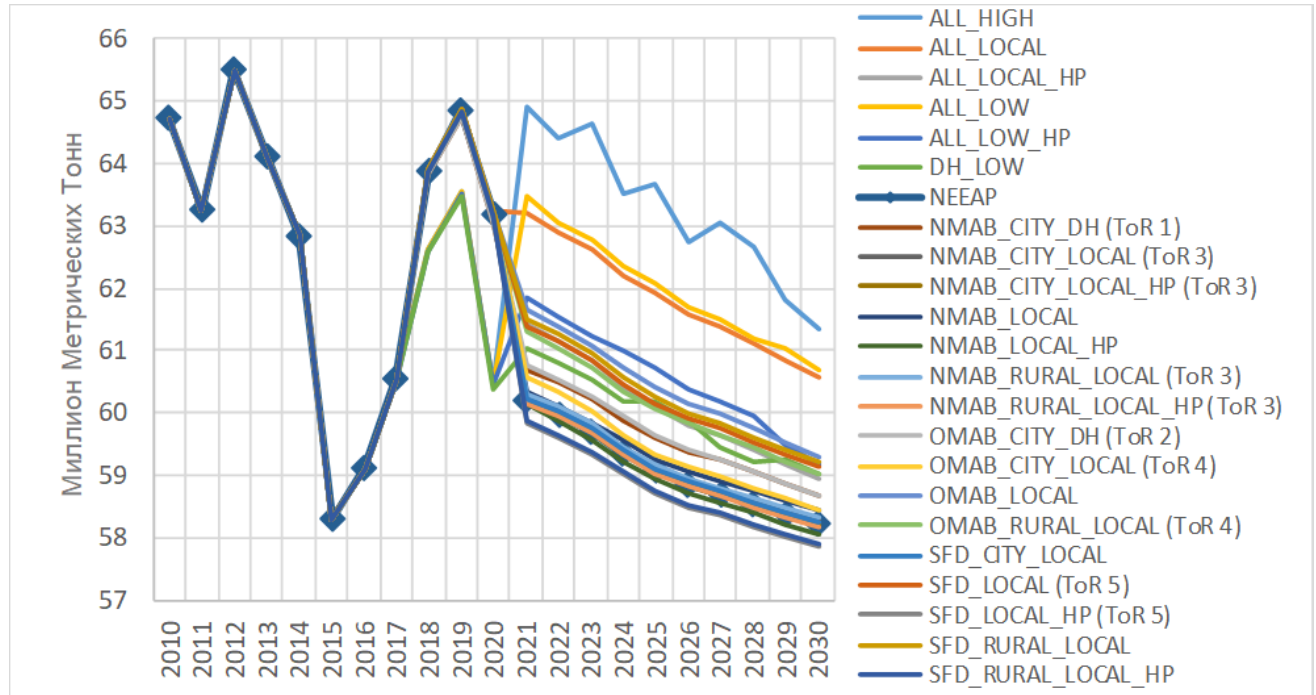


Исходя из результатов моделирования, ни один из сценариев для жилого сектора не может рассматриваться как проект повышения энергоэффективности, поскольку он приводит к увеличению потребления первичной энергии и соответствующих выбросов CO₂.

4.2 Экономия CO₂

Ниже на Рисунке 4-1 показано воздействие на общее количество выбросов CO₂ для всех изученных сценариев.

Рисунок 4-1 Сравнение динамики примерных выбросов CO₂ в отдельных сценариях



Эти результаты показаны в виде таблицы в Приложении А.

По сценарию NEEAP количество примерных выбросов составляет 58,2 млн. т в 2030 году. В рамках сценария SFD_RURAL_LOCAL_HP (тепловые насосы в индивидуальных домах сельской местности) самые низкие выбросы CO₂ - 57,9 млн. т. Во всех сценариях использования электрических котлов выбросы CO₂ выше, чем по сценарию NEEAP.

В рамках всех сценариев, предусматривающих использование тепловых насосов, показаны более низкие примерные выбросы CO₂ (снижение 0.1 Мт CO₂ по сравнению со сценарием NEEAP), в то время как сценарии с высоким уровнем прямой электрификации отопления показывают более значительные выбросы CO₂ (увеличение до 3.2 Мт CO₂ в рамках сценария ALL_HIGH по сравнению со сценарием NEEAP). Однако различия среди смоделированных сценариев по сравнению со сценарием NEEAP не превышают 3 млн. т CO₂ (около 5% от общего количества).

Во всех сценариях, предусматривающих использование тепловых насосов, уровень выбросов CO₂ ниже, в то же время в сценариях, предусматривающих высокий уровень прямой электрификации отопления, уровень выбросов CO₂ выше. Однако, за исключением сценария BAU, различия между смоделированными сценариями по сравнению со сценарием NEEAP не превышают 3 млн. т CO₂ (около 5% от общего количества).



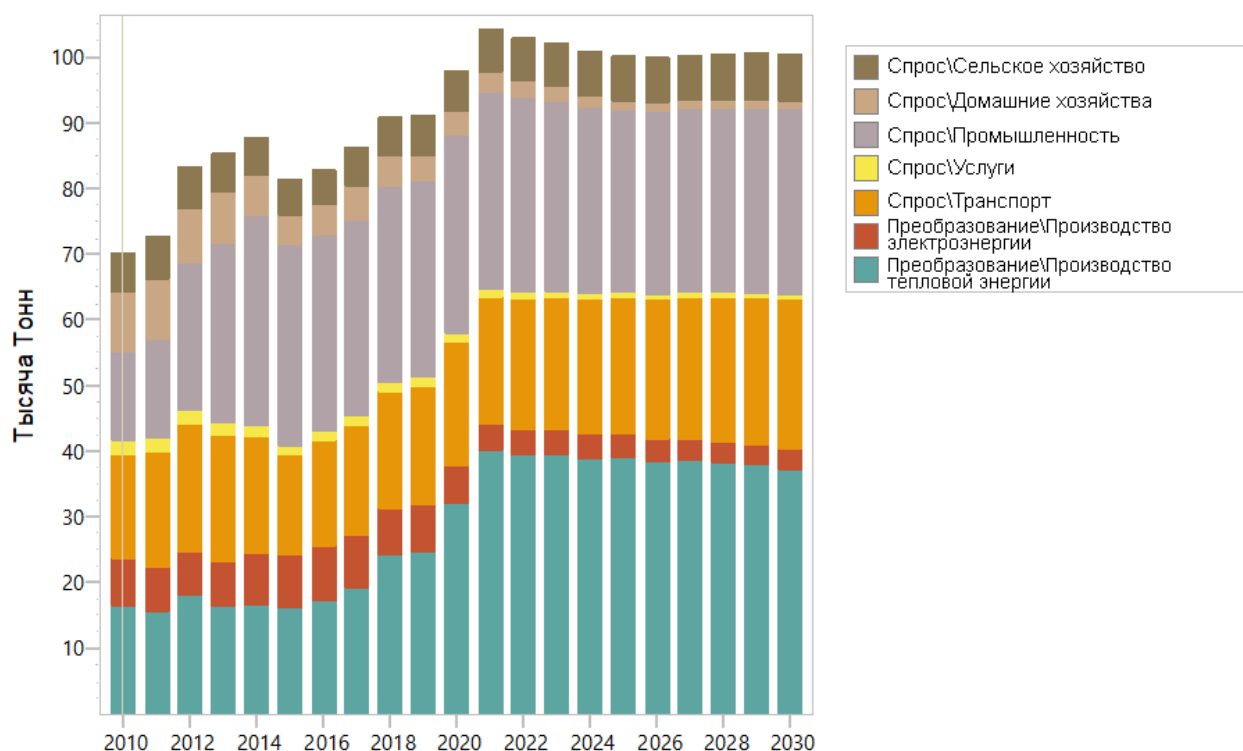
4.3 Другие загрязняющие вещества

В этом разделе представлены изменения в выбросах следующих загрязняющих веществ:

- ◆ SO₂ – диоксид серы;
- ◆ NO_x – оксиды азота;
- ◆ ЛОС – неметановые летучие органические соединения;
- ◆ CO – окись углерода.

На Рисунок 4-2 ниже показано развитие выбросов SO₂ и его структура по секторам для сценария NEEAP. Наибольшие выбросы SO₂ происходят в результате выработки тепла, сжигания в промышленности и от транспорта.

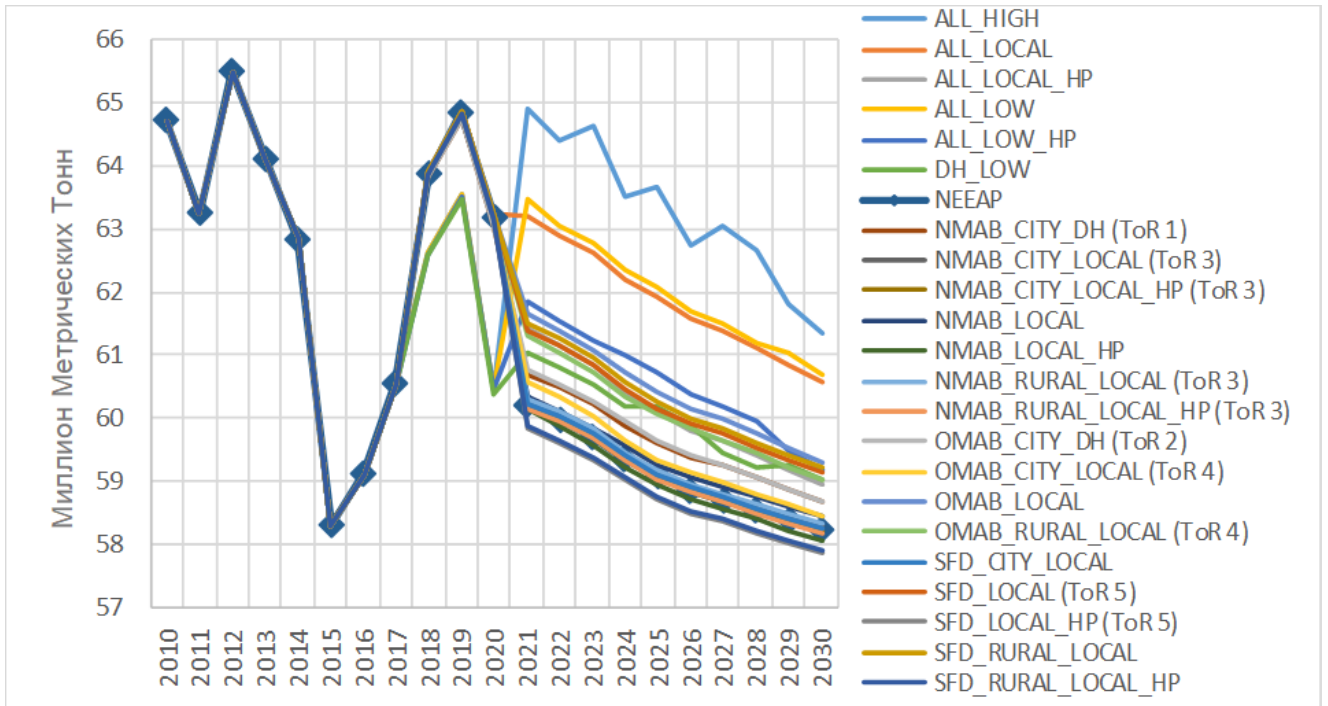
Рисунок 4-2 Динамика примерных выбросов SO₂ (сценарий NEEAP)



На Рисунке 4-3 показано сравнение примерных выбросов SO₂ в рамках отдельных вариантов электрификации отопления. Поскольку доля домохозяйств в выбросах SO₂ является небольшой, то отопительные котельные ответственны за почти все снижения выбросов SO₂. Снижения достигают 13 тыс. т SO₂; самыми благоприятными сценариями являются те, которые имеют частичную электрификацию отопления (ALL_LOW, ALL_LOW_HP, DH_LOW).



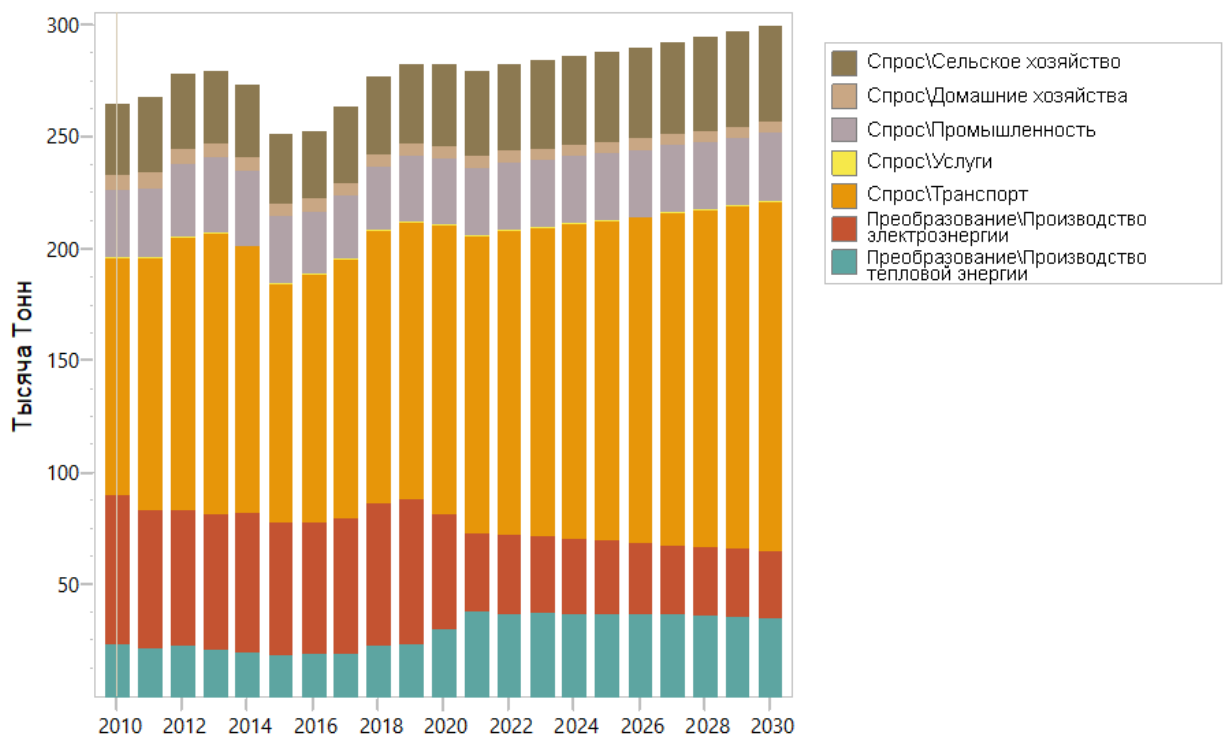
Рисунок 4-3 Сравнение динамики примерных выбросов SO₂ в отдельных сценариях



Эти результаты показаны в виде таблицы в Приложении А.

Выбросы NO_x по сценарию NEEAP показывают иную картину (Рисунок 4-4). Крупнейшим источником выбросов NO_x является сектор транспорта. Выбросы домохозяйств практически ничтожны. Изученные варианты оказывают наибольшее влияние на сектор выработки электроэнергии и тепла.

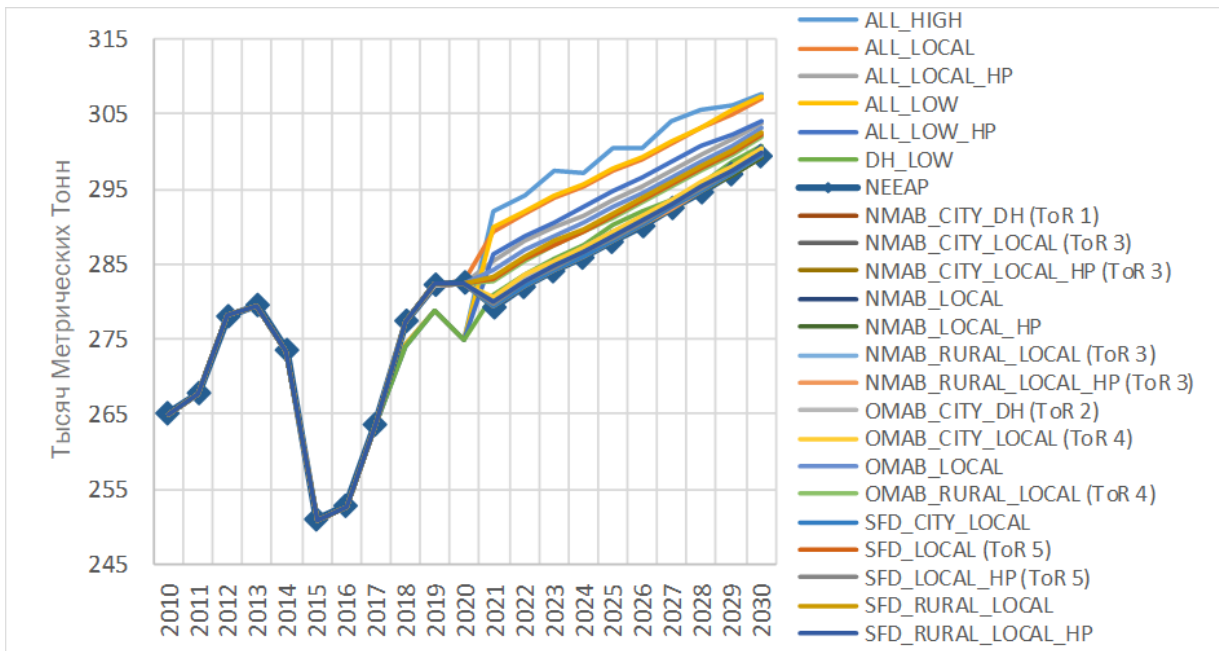
Рисунок 4-4 Динамика выбросов NO_x (сценарий NEEAP)





В сценарии NEEAP показаны самые низкие выбросы NO_x; любой другой сценарий приводит к более высоким уровням выбросов (в диапазоне 299.4 – 307.6 тыс. т NO_x в 2030 году). Увеличение достигает 8 тыс. т NO_x, в рамках самых худших сценариев предусмотрена частичная электрификация отопления (ALL_LOW, ALL_LOW_HP, DH_LOW). Возрастающее использование транспорта вызывает все большее увеличение выбросов NO_x, что является тенденцией всех вариантов.

Рисунок 4-5 Сравнение динамики примерных выбросов NO_x в отдельных сценариях

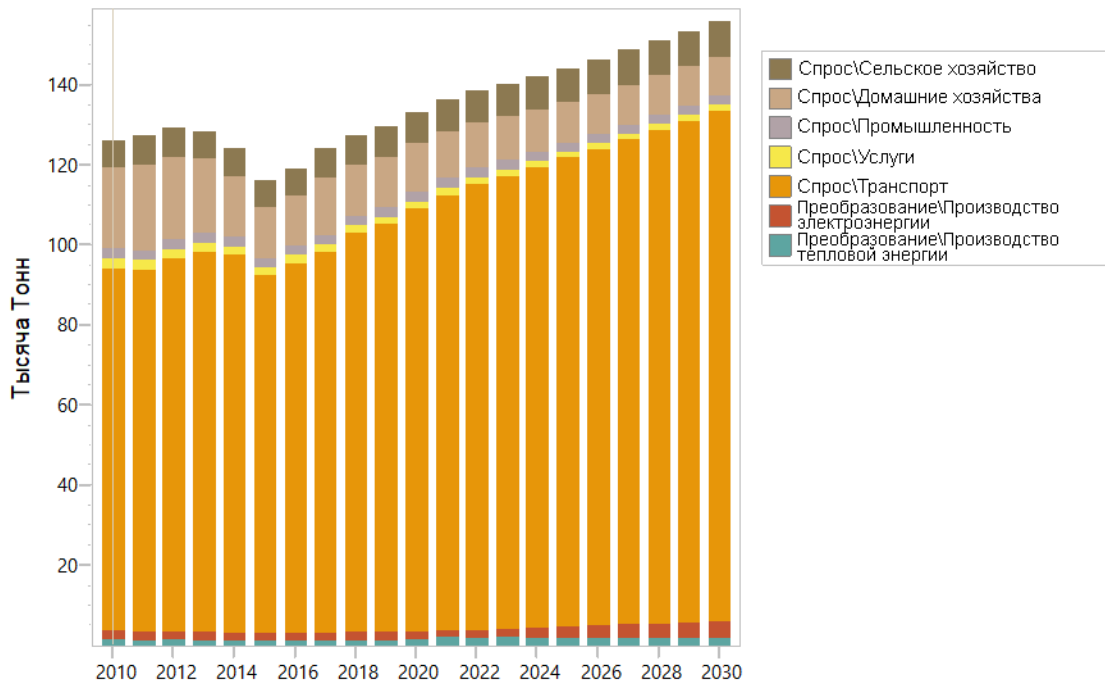


Данные результаты показаны в виде таблицы в Приложении А.

Неметановые летучие соединения, в основном, поступают от транспорта. Соответствующие доли домохозяйств и выработка электроэнергии и тепла довольно незначительны.

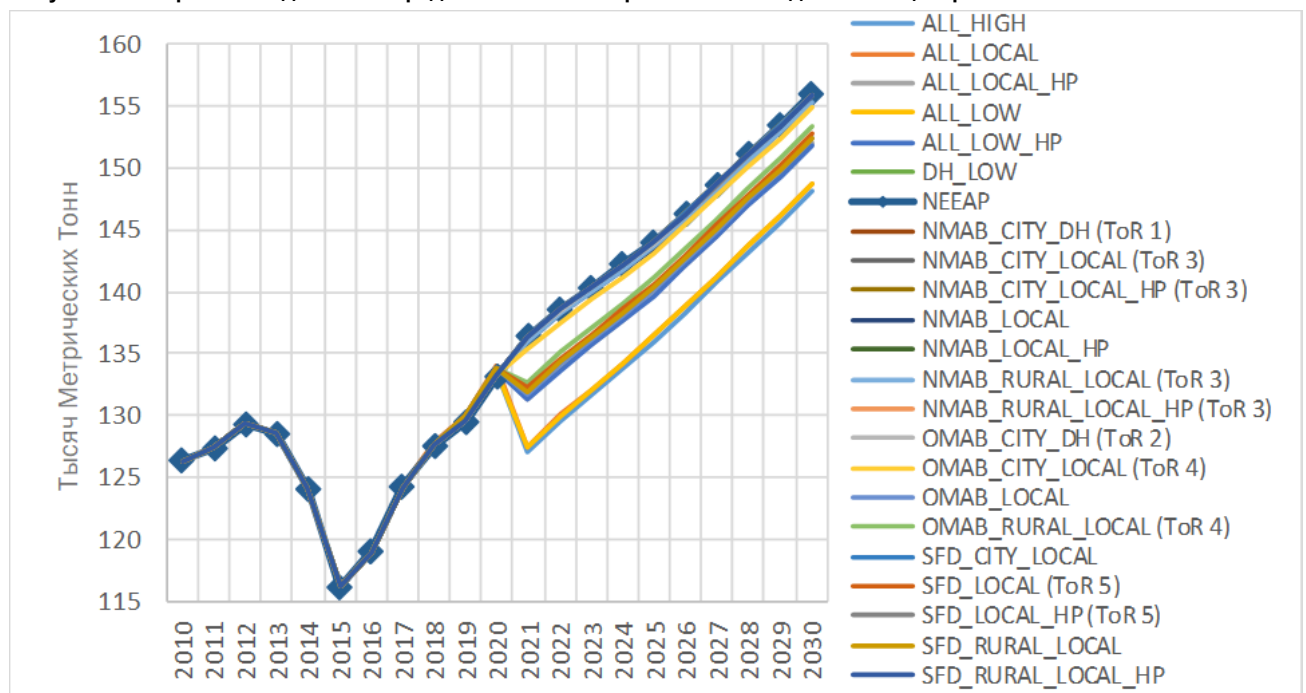


Рисунок 4-6 Динамика примерных выбросов неметановых летучих органических соединений (ЛОС) (сценарий NEEAP)



Максимальное снижение выбросов ЛОС достигает 8 тыс. тонн (Рисунок 4-7); наиболее благоприятными являются сценарии с максимальной электрификацией помещений и подогревом воды для горячего водоснабжения домохозяйств (ALL_LOCAL, ALL_LOW). Тенденция к увеличению выбросов ЛОС во всех сценариях вновь связана с транспортным сектором, а также с увеличением доли ТЭЦ, работающих на биомассе.

Рисунок 4-7 Сравнение динамики предполагаемых выбросов ЛОС в отдельных сценариях

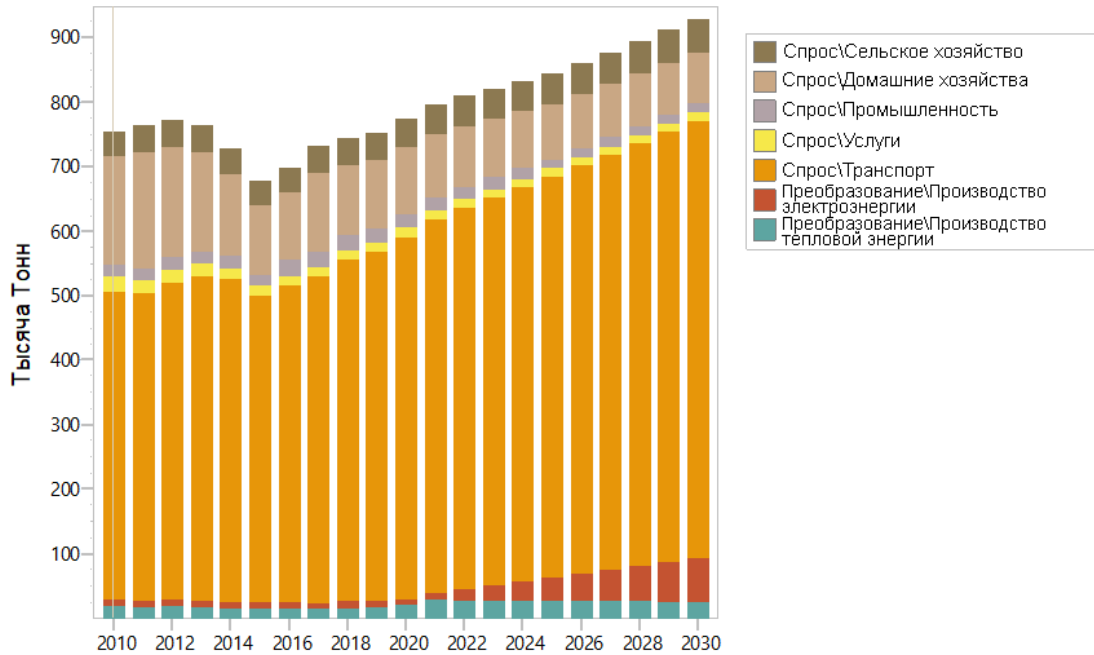


Эти результаты представлены в виде таблицы в Приложении А.



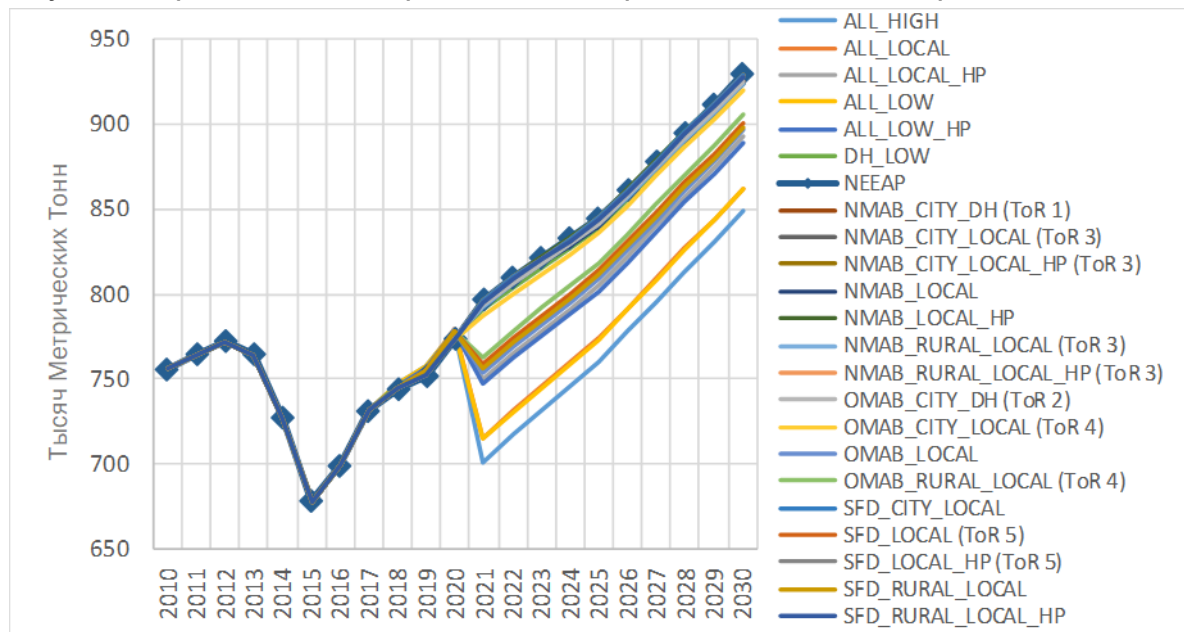
Выбросы монооксида углерода (849 – 929.3 килотонн CO в 2030 году) происходят, в основном, от транспорта. Доля домохозяйств, а также выработки электроэнергии и тепла выше по сравнению с той, что приходится на VOC (10% для VOC и 18.7% для CO). Существует значительное увеличение прогнозируемых выбросов окиси углерода (Рисунок 4-8), которые поступают, главным образом, от транспорта. Наблюдается довольно резкое увеличение выбросов CO, вызванное увеличением доли ТЭЦ, работающих на биомассе.

Рисунок 4-8 Динамика предполагаемых выбросов CO (сценарий NEEAP)



Предполагаемые выбросы CO могут сократиться до 68 тыс. т в сценариях, предусматривающих полную электрификацию помещений и подогрев воды для горячего водоснабжения домохозяйств (ALL_LOCAL, ALL_LOW).

Рисунок 4-9 Сравнение динамики предполагаемых выбросов CO в отдельных сценариях



Эти результаты представлены в виде таблицы в Приложении А.

На основании предыдущих восьми рисунков можно сделать следующий вывод:

ЗАДАЧА 3 - ДЕТАЛЬНЫЙ ОБЗОР ПОТЕНЦИАЛА УВЕЛИЧЕНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСТВА В ЖИЛИЩНОМ СЕКТОРЕ И ОБЩИЙ ОБЗОР ПОТЕНЦИАЛА В ПРОМЫШЛЕННОМ И КОММЕРЧЕСКОМ СЕКТОРАХ



- ◆ Кроме сектора транспорта, который не является частью этого исследования, прогнозные выбросы SO_2 и NO_x могут быть снижены, в основном, что касается, подачи электроэнергии и тепла. Поскольку на тепловых электростанциях используются высокие дымоходы, воздействие этих загрязняющих веществ на окружающую среду широко распространено.
- ◆ Сокращение выбросов ЛОС и СО происходит в основном со стороны потребления. Таким образом, воздействие на окружающую среду, связанное с этими двумя загрязняющими веществами, довольно локализовано.



5 ВЛИЯНИЕ НА СИСТЕМУ ПЕРЕДАЧИ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

В этом разделе показано возможное влияние на систему передачи и распределения (ПиР) электрической энергии в рамках трех основных возможных вариантов увеличения потребления/подачи электроэнергии в жилом секторе;

- ◆ Мероприятия по замене подачи тепла от системы ЦТ;
- ◆ Переход к прямым источникам электрического отопления в многоквартирных зданиях и индивидуальных жилых домах;
- ◆ Переход к использованию тепловых насосов.

Модернизация электрогенерирующего оборудования и объектов электросетевого хозяйства в Беларуси была выполнена в рамках трех программ¹⁵:

- ◆ Государственная комплексная программа модернизации основных производственных фондов Белорусской энергетической системы, энергосбережения и увеличения доли использования в республике собственных топливно-энергетических ресурсов на период до 2011 года¹⁶;
- ◆ Государственная программа развития белорусской энергетической системы (2011-2016 гг.)¹⁷;
- ◆ Программа развития электроэнергетики (2016 – 2020 гг.)¹⁸.

Вся информация о системах ПиР, которая представлена в этом разделе, была получена из этих программ.

На практике, воздействия на системы ПиР будут очень специфичными для конкретного места, поскольку они будут зависеть от существующей нагрузки систем. В некоторых случаях, станет возможным приспособиться к увеличенным электрическим нагрузкам с помощью незначительных инвестиций или совсем без дополнительных инвестиций; в других случаях, когда электрическая система уже очень нагружена, понадобятся значительные инвестиции в ПиР. Таким образом, это будет решающим фактором для принятия решения о том, где проводить электрификацию. Ниже приведен обзор существующей ситуации.

5.1 Мероприятия по замене подачи тепла из системы ЦТ

Система электропередачи в Беларуси спроектирована на напряжение от 35 кВ до 750 кВ, в то время как распределительная система – ниже 35 кВ. Электроинтерфейс для ТЭЦ и котельных выглядит следующим образом:

- ◆ Выходные параметры генератора от ТЭЦ, как правило, на уровне, 6 кВ или 10 кВ. Станция подсоединена к сети через трансформатор для подключения напряжением 110 кВ или 330 кВ.
- ◆ Отопительные котельные подключены, как правило, под напряжением 0.4-10 кВ в зависимости от мощности ЦТ, т.е., в распределительную сеть.

Поскольку электрификация ЦТ будет осуществляться только в отопительных котельных, то влияние можно будет увидеть, в основном, в распределительных системах. Ниже описано

¹⁵ Вся информация и данные, представленные в этом разделе, получены от этих программ, плюс публикации 'Энергетическая стратегия', 'Энергетическая эффективность' и 'Энергия для Беларуси' с газеты Министерства энергетики. URLs представлены в приемлемых разделах.

¹⁶ <https://energodoc.by/file/fulltext-view/2397.pdf>

¹⁷ <http://minenergo.gov.by/>

¹⁸ <https://energodoc.by/document/view?id=2944>



текущее состояние трансформаторов, распределительных устройств, воздушных линий и кабельных сетей в распределительных системах.

Парк распределительных трансформаторов.

Распределительные линии оборудованы трансформаторами напряжением от 10 кВ до 0.4 кВ. В настоящее время, количество распределительных трансформаторов в распределительной системе составляет 74,579 единиц общей мощностью около 16,700 МВА.

Обновление парка трансформаторов в рамках государственных программ включает модернизацию устаревших трансформаторов, замену старых масляных выключателей на вакуумные, а также внедрение систем дистанционного регулирования и элементов 'Интеллектуальной сети'. Около 15% низковольтных систем оборудованы выключателями, которые отработали свой срок службы.

Ниже в таблице показано местоположение, мощность и состояние распределительных трансформаторов в регионах.¹⁹

Таблица 5-1 Местоположение, мощность и состояние распределительных трансформаторов

		Количество трансформаторных подстанций напряжением 6-10 кВ до 0.4 кВ	Мощность трансформаторных подстанций напряжением 6-10 кВ до 0.4 кВ	Удовлетворительное состояние
	Сеть	Число подстанций	МВА	%
РУП - "Брестэнерго"	Городская	2177	865	87
	Сельская	8830	1479	82
РУП - "Витебскэнерго"	Городская	1190	507	95
	Сельская	5900	771	97
РУП - "Гомельэнерго"	Городская	2735	1133	99
	Сельская	8259	1485	98
РУП - «Гродноэнерго»	Городская	1649	779	97
	Сельская	8859	1241	93
РУП- "Минскэнерго"	Городская	5480	3417	75
	Сельская	16 672	2770	86
РУП- "Могилевэнерго"	Городская	2344	960	100
	Сельская	10 479	1782	100

Можно сделать вывод, что большая часть существующих трансформаторов и распределительных устройств, как в городских, так и сельских районах, находятся в хорошем состоянии. При условии, что программой электрификации не перегружаются местные трансформаторы, в будущем потребуются незначительные инвестиции в трансформаторы и распределительные устройства.

¹⁹ www.energo.by/, www.brestenergo.by/, www.gomelenergo.by/, www.vitebsk.energo.by/, www.energo.grodno.by/, www.minskenergo.by/, www.mogilev.energo.by/, <http://www.energystrategy.by/>; <http://bies.by/zhurnal-energoeffektivnost/>; <http://www.energo.by/content/infocenter/otraslevaya-pressa/gazeta-energetika-belarusi/>



Анализ распределительной сети

Протяженность, местоположение и срок службы распределительных линий представлены ниже в таблице.

Таблица 5-2 Протяженность, местоположение и срок службы распределительных сетей в Беларуси по типам и уровню напряжения¹⁸

Тип линии	Напряжени е	Протяженн ость (км)	Городск ие	Сельские	Срок эксплуатации (в годах)	Требуемый ремонт (км в год)
Воздушны е линии	6-10 кВ	103 420	4 172	99 248	33	3 134
	0.4 кВ	99 089	14 537	84 552	33	3 003
	<i>Всего</i>	<i>202 509</i>	<i>18 709</i>	<i>183 800</i>	<i>33</i>	<i>6 137</i>
Кабельная линия	6-10 кВ	22 558	18 877	3 681	25	902
	0.4 кВ	17 365	12 344	5 021	25	695
	<i>Всего</i>	<i>39 923</i>	<i>31 221</i>	<i>8 702</i>	<i>25</i>	<i>1 597</i>

В период с 2011 по 2015 годы модернизация и реконструкция распределительных сетей проводилась на уровне около 1500 км в год, т.е., около 20% от требуемого уровня. В период 2015–2020 гг. планируется ежегодное строительство и реконструкция распределительных сетей напряжением 0,4–10 кВ около 1500 км (~ 25% от требования), в то время как ежегодная реконструкция подземных кабельных линий напряжением 10 (6) кВ - около 300 км. в год (~33% от требования). В 2018 году было построено или реконструировано 996 км сетей напряжением 0,4-10 кВ. В 2019 году планируется реконструировать до 1500 км распределительных сетей напряжением 0,4-10 кВ. По состоянию на 1 января 2019 года почти 37% (8,353 км) кабельных линий напряжением 10 (6) кВ полностью достигли окончания своего срока службы. Существующий уровень модернизации и замены предполагает, что эта цифра в будущем увеличится.

Тот факт, что воздушные линии и кабельные отработали свой (теоретический) срок службы не обязательно означает, что они не могут продолжать функционировать в течение еще ряда лет. Однако, это доказывает то, что места для электрификации котельных должны тщательно выбираться с тем, чтобы минимизировать затраты на усиление электрических распределительных систем. С этой целью. Надо включить электрификацию в места, где замена распределительной сети уже запланирована, таким образом, неся незначительные затраты или никакие.

5.2 Переход к прямым источникам электрического отопления

Переход центрального отопления в системах отопления многоквартирных зданий и отдельных квартир на подогреватели прямого нагрева или электрические котлы также окажет влияние на распределительные системы, но поскольку нагрузки будут небольшими и более широко распределены, то, маловероятно, что они приведут к перегрузкам местной распределительной сети. Необходимо более тщательно рассмотреть вопрос о том, смогут ли внутренние электрические системы в зданиях, подверженных такому влиянию, справиться с возросшим потреблением.

Основные нормативные правила, которые применяются к подаче энергии в жилых зданиях, описаны ниже.

Подача электроэнергии

Подача электроэнергии в жилые здания должна осуществляться с распределительной сети напряжением 400/230 вольт. В жилых зданиях не разрешается устанавливать встроенные трансформаторные подстанции непосредственно в зонах проживания.



В других зонах этих зданий разрешено устанавливать встроенные трансформаторные подстанции, используя сухие трансформаторы удельной мощностью не выше 1250 кВА.

Входные устройства, центральные щиты управления, распределительные устройства, панели переключателей и электрические щиты управления

На входе в здание, на центральном щите управления должно быть установлено входное устройство (ВУ) или входное распределительное устройство (ВРУ). Если в здании находится несколько экономически изолированных потребителей, тогда рекомендуется, что каждый из них устанавливал независимое ВУ или ВРУ. Каждое ВУ или ВРУ, а также центральный щит управления должны быть оборудованы защитными устройствами на входах линий подачи и на всех отходящих линиях. На отходящих линиях блоки регулирования могут быть либо установлены на каждой линии, либо быть общими для нескольких линий.

Электропроводка и кабельные линии

Внутренняя электропроводка должна быть выполнена с учетом большого количества технических требований, например, количество отдельных потребителей, разводки межсоединений, пожарозащиты, систем управления, типа защитного распределительного устройства и материалов и т. д.

Надежность источника энергии

В общем, надежность источника энергии спроектирована в соответствии с предполагаемыми требованиями к энергии установленного электрического оборудования. Это будет включать освещение, кухонное оборудование, водяное отопление и отопление помещения (если применяется) в отдельных квартирах плюс коммунальное оборудование, например, лифты, аварийное освещение и освещение общественных помещений.

Мощность подстанции силовых трансформаторов должна учитывать общую нагрузку и максимально допустимую мощность трансформаторов. Рекомендовано устанавливать трансформаторы мощностью превышающей 1000 кВА на внутренних трансформаторных подстанциях, хотя разрешено увеличивать до 1250 кВА согласно ТЭО.

Все вышеупомянутое означает, что в существующих зданиях установленное электрическое оборудование было спроектировано для надлежащего выдерживания ожидаемых нагрузок от отдельных потребителей. Если не определен электрический обогрев (а большинство зданий в настоящее время будут получать энергии от газовых котлов или систем ЦТ), считается вероятным, что большинство электрических систем не будет иметь мощности для принятия нагрузок прямого электрического отопления без значительного усиления и замены проводки.

Существующая ситуация

Для того чтобы определить количество текущего потребления энергии в жилых зданиях в Беларуси и определить резервы использования электроэнергии в жилых зданиях, были проанализированы следующие данные:

- ◆ Данные по среднему потреблению электроэнергии основных типовых жилых зданий в Беларуси.²⁰
- ◆ Данные по потреблению электроэнергии в 40 многоквартирных жилых домах города Новогрудок за 2015-2017 годы²¹.

На основе анализа этих данных было установлено, что:

²⁰ Источник: Проект UNDP-GEF № 00077154 "Данные по энергопотреблению типичных жилых зданий в Беларуси"

https://www.by.undp.org/content/belarus/ru/home/operations/projects/environment_and_energy/Green-cities.html

²¹ Данные региональной распределительной компании (РЭС) Новогрудок



- ◆ Среднемесячное потребление электроэнергии в однокомнатных квартирах с 2015 по 2017 год составило от 83 до 73 кВтч/месяц, в 2-комнатных квартирах - от 114 до 102 кВтч/месяц, а в 3-комнатных квартирах - около 120 кВтч/месяц;
- ◆ Среднемесячное потребление электроэнергии в общих зонах многоквартирных домов г. Новогрудок в 2015-2017 годах составило от 235 до 219 кВтч/месяц;
- ◆ Удельное потребление электроэнергии в анализируемых зданиях находится в диапазоне 30 - 110 кВтч/м² в год;

Дополнительное удельное потребление электроэнергии для воздушного отопления, вероятно, будет в диапазоне 90–200 кВтч/м² в год, что удвоит текущие удельные затраты. Маловероятно, что электроустановки в существующих зданиях могли бы поддержать этот уровень повышения, поэтому для того, чтобы полностью обеспечить потенциал большинства многоквартирных жилых домов для использования электроэнергии для отопления и воды, необходимо будет реконструировать оборудование электроснабжения и электропроводки этих зданий. Такая реконструкция, безусловно, была бы слишком дорогостоящей в случае ее проведения в больших масштабах.

5.3 Переход к использованию тепловых насосов

Как обсуждалось в предыдущих разделах, тепловые насосы могут использоваться как в системах ЦТ, так и в отдельных домах или многоквартирных зданиях.

Системы ЦТ

При использовании в системе ЦТ, тепловой насос будет, как правило, дополнять существующий источник тепла для достижения необходимой температуры воды, хотя могли бы также использоваться электрические элементы отопления (так-называемые бивалентные системы). В первом сценарии электрическая нагрузка будет, обычно, на уровне 30% от нагрузки электрического котла, повышаясь до 50%, если используются электрические элементы. Это означает, что любое местоположение, где система ЦТ может быть заменена на электрический котел (Раздел 5.1), будет также приемлемо для теплового насоса. На самом деле, более низкая нагрузка означает, что больше мест, где существует недостаточно мощности для электрического котла, может быть приемлемо для теплового насоса без значительных инвестиций в распределительную систему.

Многоквартирные здания и индивидуальные жилые дома

В тех ситуациях, когда тепловой насос будет иметь меньшую мощность и, как правило, моновалентный дизайн, электрическая нагрузка будет, обычно, на уровне 30-35% от нагрузки равнозначного электрического котла и, таким образом, теоретически может использоваться в большем количестве мест, без модернизации электрических систем зданий.

Однако основным ограничивающим фактором в существующих зданиях является не электрическая мощность, а дизайн самой системы отопления (как правило, на основе радиаторов горячей воды) и тепловых свойств здания. Такая ситуация требует воды более высокой температуры, которая может подаваться с помощью теплового насоса. Таким образом, основное применение тепловых насосов, будет в новых застройках, где система отопления (обычно, пол с подогревом) спроектирована для использования тепла более низкой температуры в энергоэффективном здании. В этих сценариях электрические системы зданий будут спроектированы для выдерживания увеличивающейся электрической нагрузки и, значит, будут только минимальные дополнительные затраты на распределительное устройство и кабельные сети более высокой мощности.

5.4 Системы электропередачи

Любое увеличение электрической нагрузки в распределительных системах будет, конечно, отражаться в системе электропередачи. Однако в последние годы были значительные инвестиции в систему электропередачи в Беларуси.



За период с 2015 по 2020 гг. были запланированы значительные объемы ввода в эксплуатацию новых подстанций и модернизации существующих трансформаторных подстанций напряжением 330 кВ как часть проекта по подаче энергии от АЭС. С этой целью, была построена одна новая подстанция "Поставы" напряжением 330 кВ, а еще две подстанции напряжением 330 кВ были реконструированы ("Рось" и "Сморгонь"). На самом деле, все запланированные работы по этой программе уже завершены.

В течение периода 2007-2011 гг. были выполнены модернизация и реконструкция 14,840 км сетей электропередач (примерно 60% от общей протяженности). За период 2015-2017 гг., как часть проекта по созданию системы электропередачи от АЭС были построены линии электропередачи напряжением 330 кВ от АЭС до подстанций. Тем не менее, к 2030 году необходимо будет модернизировать или заменить оставшиеся участки высоковольтной сети.

Таким образом, существует высокая степень уверенности в том, что система электропередачи может быть приспособлена к увеличению нагрузки, что вызвано электрификацией жилого сектора без дополнительных инвестиций.

5.5 Краткие выводы об аспектах электропередачи и распределения

Системы центрального теплоснабжения, как правило, подключены к распределительной системе напряжением от 0.4 до 10 кВ. Анализ текущей ситуации показывает, что состояние распределительных трансформаторов, в основном, неплохое, но существует значительная доля распределительных кабелей и линий, которые отработали свой срок службы. Это означает, что для любой электрификации систем ЦТ, использующих электрические котлы, надо надлежащим образом выбирать место с учетом существующих электрических нагрузок и состояния распределительных линий. Это даст возможность, в дальнейшем, минимизировать инвестиции, необходимые для подключения новых котлов в электрическую сеть.

Переход на прямой электронагрев в многоквартирных зданиях и индивидуальных жилых домах, вероятно, удвоит потребление электроэнергии на внутренних системах. В большинстве случаев существующее электрическое оборудование и кабельные сети будут неспособны справляться с таким уровнем возрастания напряжения и понадобятся значительные инвестиции для обеспечения необходимой мощности.

При использовании тепловых насосов, новая электрическая нагрузка будет, как правило, на уровне 30-50% от той, что предусмотрена для прямого источника тепла или котла. В системах ЦТ тепловой насос будет обычно работать в сочетании с существующим источником тепла, таким образом, понадобится больше мест, где возможна электрификация без значительных инвестиций в распределительные системы. В многоквартирных зданиях и индивидуальных жилых домах тепловые свойства здания и температура, которая необходима в системах отопления, будут означать, что они не смогут быть приемлемы для тепловых насосов. Таким образом, использование тепловых насосов ограничено новыми застройками и капитальной реконструкцией, где условия проектирования могут выдерживать более низкие температуры источника тепла.

Система электропередачи была недавно модернизирована и должна быть в состоянии выдерживать электрификацию жилого сектора без дальнейших инвестиций, кроме тех, которые уже запланированы.

6 ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

В этом разделе представлены экономические аспекты технологий, рекомендованных для использования в электрификации жилого сектора – электрические котлы, тепловые насосы и баки-аккумуляторы. Основное внимание уделяется оценке инвестиционных затрат, хотя также учитывается влияние тарифов на различные источники тепла. Инвестиционная стоимость не включает той, которая предусмотрена для модернизации системы передачи и распределения, поскольку она касается конкретного местоположения и сценария.

Установление уровня цен на электроэнергию, поставляемую для отдельных секторов в Беларуси, определяется ценой на подводимое топливо и соответствующими затратами на техобслуживание генерирующих станций, государственной экономической политикой и доминирующими секторами экономики. Для сравнения приведены тарифные цены для разных стран ЕС/ЕЭЗ.

6.1 Инвестиционные затраты на электротехнические технологии

Ниже в таблицах приведена инвестиционная (капитальная) стоимость²² для вышеупомянутых технологий.

Электрические котлы

Инвестиционная стоимость электрических котлов приведена в Таблице 6-1.

Таблица 6-1 Обзор инвестиционной стоимости электрических котлов

Тип	Диапазон (МВтч)	Удельные затраты (евро/МВтч)
Электрод (высоковольтный)	Свыше 1 МВт	60 000 – 90 000
Электрод или резистивный	До 1 МВт	30 000 – 120 000

Тепловые насосы

Инвестиционная стоимость крупномасштабных тепловых насосов, которые могли бы использоваться в системах ЦТ представлена в Таблице 6-2, в то время, как стоимость небольших тепловых насосов, которые могли бы использоваться в многоквартирных зданиях и индивидуальных жилых домах, представлена соответственно в Таблицах 6-3 и 6-4.

Таблица 6-2 Обзор инвестиционной стоимости тепловых насосов для систем ЦТ

Тип	Диапазон (МВтч)	Удельные затраты (евро/МВтч)
Тепловой насос – окружающая среда Механическое сжатие	Свыше 1 МВт	500 000 – 800 000
Тепловой насос – высокая температура Абсорбционный тип	Свыше 1 МВт	350 000 – 400 000
Тепловой насос – геотермальный Абсорбционный тип	Свыше 1 МВт	400 000 – 500 000

²² Цены ЕС


Таблица 6-3 Обзор инвестиционной стоимости тепловых насосов в многоквартирном здании

Тип	Диапазон (МВтч)	Удельные затраты (евро/МВтч)
Воздух-вода	До 1 МВт	700 000 – 1 300 000
Воздух-вода (высокотемпературный)	До 1 МВт	1 200 000 – 1 500 000
Вода-вода	До 1 МВт	1 000 000 – 1 500 000
Грунт-вода	До 1 МВт	1 400 000 – 2 000 000

Таблица 6-4 Обзор инвестиционной стоимости тепловых насосов в индивидуальных жилых домах

Тип	Диапазон (МВтч)	Удельные затраты (евро/МВтч)
Воздух-вода	До 30 кВт	500 – 1 100
Воздух-вода	До 30 кВт	700 – 1 300
Воздух-вода (высокотемпературный)	До 30 кВт	1 200 – 1 500
Вода-вода	До 30 кВт	1 000 – 1 500
Грунт-вода	До 30 кВт	1 400 – 2 000

Газовые котлы

Для сравнения инвестиционная стоимость газовых котлов представлена в Таблице 6-5

Таблица 6-5 Обзор инвестиционной стоимости газовых котлов

Тип	Диапазон (МВтч)	Удельные затраты (евро/МВтч)
Газовая котельная	Свыше 1 МВт	40 000 – 130 000
Газовая котельная	Свыше 100кВт до 1 МВт	50 000 – 200 000
Газовый котел (автономный)	До 100 кВт	50 000 – 100 000
Газовый котел (автономный) с теплоаккумулятором	До 100 кВт	160 000 – 200 000

С вышеупомянутого можно сделать вывод, что электрические котлы по стоимости очень похожи на газовые котлы относительно сравнительных размеров. Удельная стоимость (евро/МВт_{тыс}) тепловых насосов значительно выше и она колеблется в зависимости от тепловой мощности и типа теплового насоса. Однако, затраты на техобслуживание (электроэнергия) тепловых насосов будут на уровне, примерно, 30% от тех, которые предусмотрены для электрических котлов из-за более высокого КПД (COP).

Установки с тепловыми насосами воздух-воздух общей тепловой мощностью 30-70 кВт_{тыс} в качестве непосредственной замены прямого электрического или газового отопления представлены в некоторых странах ЕС, включая Финляндию, Литву, Словакию, Францию и Швецию. Удельная стоимость составляет около 800 евро/ кВт_{тыс} без дополнительных затрат на внутреннюю централизованную систему отопления.

Аккумуляирование энергии

Инвестиционная стоимость аккумуляирования тепла при использовании в системах ЦТ представлена в Таблице 6-6.



Таблица 6-6 Обзор инвестиционной стоимости аккумулирования тепла в ЦТ

Время действия	Давление	Удельная стоимость (евро/м ³)
Сезонное/ долгосрочное	Атмосферное (безнапорное)	50 – 300
День - неделя/краткосрочное	Атмосферное (безнапорное) – 1 зона	300 – 500
	Атмосферное (безнапорное) – 2 зоны	400 – 700
День/краткосрочное	Под давлением	800 - 1200

Удельная стоимость (евро/м³), которая значительно ниже для долгосрочных (сезонных) систем аккумулирования, а системы под давлением примерно в два раза выше стоимости систем атмосферного аккумулирования. Примеры систем аккумулирования энергии в ЕС описаны в Разделе 2. Некоторые учебные примеры с использованием баков-аккумуляторов включены в Приложение D.

6.2 Политика ценообразования на энергию в Беларуси

С 1992 года до настоящего времени ценообразование на энергию в Беларуси было основано на сложной системе перекрестного субсидирования. Правовая основа этой политики предусмотрена Законом № 255-3 “О ценообразовании” (от 10.05.1999 г.) и Указом Президента № 72 - “О некоторых вопросах тарифного регулирования” (от 25.02.2011 г.). Кроме того, для обеспечения баланса интересов потребителей и энергоснабжающих компаний Совет Министров одобрил Постановление № 222 от 17 марта 2014 года. В этом Постановлении изложены ключевые принципы тарифообразования на природный газ и сжиженный газ, а также на электроэнергию и тепло. Постановлением регулируется создание так-называемых “базовых цен” (тарифов), которые отражают все затраты на производство и транспортировку (передачу), включая затраты на ремонтные услуги, амортизацию фондов, зарплаты и социальные взносы, налоги и страхование, а также нормативную прибыль. Согласно Постановлению, инвестиционные потребности покрываются через отражение в тарифах таких компонентов, как затраты на амортизацию и кредиты, нормативная прибыль. Кроме того, выделения из бюджета и национальных не бюджетных фондов также могут использоваться для удовлетворения инвестиционных потребностей.

Общая практика состоит в том, что Белтопгаз предоставляет Министерству антимонопольного регулирования и торговли оценки затрат на поставку природного газа и сжиженного газа. Белэнерго делает то же самое для электроэнергии и тепла. С учетом таких оценок затрат Министерство экономики устанавливает “базовую цену” на каждый тип энергии. Однако тарифы для некоторых групп конечных потребителей устанавливаются ниже “базовых цен”. В таких случаях, падение выручки компенсируется путем перекрестного субсидирования от более высоких тарифов для других групп потребителей (Постановление № 222, 2014 г.). В Таблице 6-7 представлен обзор существующих тарифов для домохозяйств и потребителей нежилого сектора, а также уровни цен. Методика ‘стоимость плюс’ и перекрестное субсидирование среди различных групп потребителей, которые описаны выше, включены в тариф для каждого источника энергии.


 Таблица 6-7 Принципы ценообразования на энергию в Беларуси²³

Источник энергии	Категории цен	Цена в 2019 году
Природный газ	<p>Для домохозяйств тариф на газ дифференцируется в зависимости от периода года (более низкий во время отопительного периода), наличия счетчиков и использования индивидуальных газовых котлов.</p> <p>Для юридических лиц (компаний) тариф на газ дифференцируется в зависимости от сектора экономики (самый низкий для химической промышленности и производителей стеклянных изделий) и объема потребления.</p>	<p>Цены для домохозяйств и организаций такие же, как и тариф для домохозяйств: 411.40 BYN/тыс. м³ (119.0 BYN/ тыс. м³ во время отопительного периода);</p> <p>Для юридических лиц (по состоянию на 2019 год, цена включая НДС): 533.72 BYN/ тыс. м³</p>
Электроэнергия	<p>Для домохозяйств тариф на электроэнергию дифференцируется в зависимости от минимального и максимального периодов нагрузки и цели использования (электрические плиты, горячая вода и подача тепла).</p> <p>Для юридических лиц тариф на электроэнергию дифференцируется в зависимости от категорий потребителей и мощности.</p>	<p>Для домохозяйств и организаций, которые платят такой же тариф, как и домохозяйства: 0.148 BYN/кВтчас, при использовании электроэнергии для электрического отопления (только тепловой насос) тариф составляет: 0.0335 BYN/кВтчас.</p> <p>Выбранные цены для юридических лиц (кроме НДС): промышленные потребители: 0.239 BYN/кВтчас, если мощность до 750 кВА.</p>
Тепло	<p>Для промышленных и других потребителей тарифы сильно дифференцируются в зависимости от категорий потребителей и региональной теплоснабжающей компании.</p>	<p>Для домохозяйств и организаций, которые платят такой же тариф, как и домохозяйства: тепловая энергия для отопления и горячего водоснабжения – 18.48 BYN/Гкал</p> <p>Для юридических лиц и частных предпринимателей (кроме НДС) 101.88 BYN/Гкал</p>

Это четко свидетельствует о более низких ценах, которые платит жилой сектор, особенно, когда энергия используется для отопления.

6.3 Тарифы на энергию в Беларуси

Природный газ

Цена на импортируемый газ согласована между российским монополистом газа “Газпром” и Министерством энергетики Беларуси. Цены на газ для конечных потребителей регулируются государством в соответствии с вышеописанными процедурами. Тарифы на газ для домохозяйств перекрестно субсидированы за счет промышленных потребителей. Однако некоторые промышленные сектора также субсидируются благодаря более низким тарифам. Все промышленные потребители и большинство домохозяйств имеют установленные счетчики.

²³ Министерство энергетики Республики Беларусь, 2019 г.



Электроэнергия

Тарифы на электроэнергию в значительной степени дифференцируются в зависимости от категорий потребителей, в частности, промышленные потребители мощностью свыше 750 кВА (двухставочный тариф), промышленные потребители с подключенной мощностью до 750 кВА (одноставочный тариф), электрифицированный общественный транспорт, государственные учреждения, системы уличного освещения и т. д. Тарифы на тепло и электроэнергию для потребителей нежилого сектора привязаны к обменному курсу доллара США (Секретариат Энергетической Хартии, 2013 г.). Тарифы на электроэнергию для небытовых потребителей дифференцированы по пиковым и внепиковым периодам, а также по использованию электроэнергии.

Для отдельных категорий организаций, являющихся юридическими лицами, таких как организации здравоохранения, учреждения социальных служб, религиозные организации и некоторые другие, применяются субсидируемые тарифы, установленные на уровне тарифов на электроэнергию для домохозяйств.

Тепло

Тарифы на тепло дифференцируются по группам потребителей (домохозяйства, государственные организации, промышленные предприятия и т. д.), а также регионы. Домохозяйства покрывают только часть затрат на производство тепла, в диапазоне от 10% до 21% (в среднем, 17.2%, доля зависит от ряда факторов, включая размер системы ЦТ и ее состояние, используемое топливо и эффективность производства).

Ниже в таблице показана цена на энергию в 2019 году в зависимости от источника энергии и категории потребителей.

Таблица 6-8 Цены на энергию в Беларуси в 2019 г.²⁴

Тип энергии	Категории цен	Цена в 2019 г. в BYN	Цена в 2019 г. в евро/кВтчас
Электроэнергия за кВтчас	Юридические лица и частные предприниматели	0.23975	0.10
	Жилой сектор	0.14840	0.0619
	Жилой сектор для электрического отопления (тепловые насосы в индивидуальном жилье) ²⁵	0.03350	0.0140
Природный газ за тыс. м ³	Юридические лица и частные предприниматели	533.72	0.0199
	Юридические лица и частные предприниматели, предоставляющие коммунальные услуги для производства тепловой энергии для жилого сектора	533.72	0.0199
	Жилой сектор	411.40	0.0153
	Жилой сектор для отопления	119.00	0.0044
Тепло за Гкал	Юридические лица и частные предприниматели	101.8863	0.0425
	Жилой сектор	18.4831	0.0077

Эта таблица четко показывает более низкие цены, которые платит жилой сектор за тепло и газ, что используются для отопления, по сравнению с другими секторами. Стоимость электроэнергии для тепловых насосов в индивидуальном жилье, также значительно ниже 'стандартной', хотя она все же намного выше, чем цена газа и тепла. Это усложняет создание экономического сценария для электрификации отопления с существующими структурами тарифов.

²⁴ Министерство энергетики Республики Беларусь, 2019 г., Постановление Совета Министров № 480 от 21 июня 2016 г., www.tarify.by

²⁵ Тариф на тепловые насосы в многоквартирных домах еще предстоит определить.



6.3.1 Тарифы в странах ЕС

Тарифы на электроэнергию, электроэнергию для тепловых насосов (отопление), газ и тепло системы центрального теплоснабжения в странах ЕС/ЕЭЗ взяты из Европейского рынка тепловых насосов и Статистического отчета за 2014 год²⁶. Как и в Беларуси, стоимость электроэнергии для тепловых насосов снижена по сравнению со 'стандартной' в большинстве стран, поэтому, стоимость электроэнергии конкурентоспособна с ценой газа.

Таблица 6-9 Обзор средних цен на энергоносители и структура выработки электроэнергии в странах ЕС/ЕЭЗ

Страна	Цена энергии (Евро/ кВт)				Структура электроэнергии		
	ЭЭ	Теплов ые насосы	Газ	ЦТ	Возобновл яемые источники	Ядерная	Газ + Твердое топливо
Бельгия	0.22	0.08	0.07		14%	49%	35%
Чешская Республика	0.15	0.05	0.07	0.06	10%	35%	55%
Дания	0.3	0.12	0.11		48%	0%	48%
Эстония	0.14	0.05	0.05	0.07	12%	0%	87%
Финляндия	0.16	0.06		0.08	41%	33%	25%
Франция	0.15	0.06	0.07	0.07	16%	75%	7%
Германия	0.29	0.11	0.07	0.07	24%	16%	58%
Венгрия	0.15	0.07	0.05	0.05	8%	46%	46%
Ирландия	0.13	0.04	0.05	0.09	20%	0%	79%
Литва	0.13	0.04	0.05	0.09	34%	0%	57%
Нидерланды	0.19	0.07	0.08	0.07	12%	4%	81%
Норвегия	0.01		0.03	0.07	98%	0%	2%
Польша	0.15	0.05	0.05	0.08	11%	0%	83%
Португалия	0.2	0.07	0.07		44%	0%	51%
Словакия	0.17	0.06	0.05	0.07	20%	54%	24%
Испания	0.22	0.08	0.07		30%	21%	44%
Швеция	0.21	0.08	0.12	0.1	59%	38%	2%
Швейцария	0.14				57%	38%	5%
Великобритания	0.17	0.07	0.05		12%	19%	67%

Цены на газ в основном составляют около 0,05 - 0,07 евро/кВтч, а цены на тепло из системы центрального теплоснабжения, в основном, составляют около 0,07-0,09 евро/кВтч. Разница в ценах на электроэнергию в разных странах более выражена. Цены в основном варьируются от 0,15 до 0,17 евро/кВтч, но в некоторых странах цена составляет всего 0,13 евро/кВтч или 0,29 евро/кВтч. В целом, страны с высоким уровнем выработки атомной энергии не демонстрируют значительно более низких цен на электроэнергию. Средняя цена на электроэнергию для тепловых насосов составляет от 30 до 40% от цены на электроэнергию. В таких странах, как Чешская Республика, Франция, Ирландия, Литва, Нидерланды и Швеция, цена на электроэнергию для тепловых насосов ниже, чем цена на газ. Германия, Словакия и Великобритания - страны с более высокими ценами на электроэнергию, чем ценами на газ.

²⁶ <https://www.ehpa.org/market-data/market-report/>



6.4 Краткие выводы

Электрические котлы имеют более низкую инвестиционную стоимость и стоимость технического обслуживания, чем тепловые насосы, но последние потребляют намного меньше энергии, часто на показатель (коэффициент) 3 или выше. Стоимость усиления сети и улучшений распределения электроэнергии в здании будет зависеть от каждого отдельного сценария и влиять на решение об изменении источников электроэнергии в данном месте.

Общая стоимость будет также зависеть от того, используется ли бак-аккумулятор как часть решения. Системы аккумулирования увеличат капитальные затраты, но снизят затраты на техобслуживание из-за мощности для использования более низких (внепиковых) тарифов на электроэнергию и избыточной возобновляемой энергии.

В Беларуси уже есть тарифы, которые поддерживают использование электроэнергии для отопления, особенно, для тепловых насосов, хотя, стоимость электроэнергии по-прежнему значительно выше стоимости тепла и газа, которые используются для отопления, что усложняет создание экономического сценария для электрификации в существующих зданиях.



7 ОБЗОР ПРОМЫШЛЕННОГО СЕКТОРА

В этом разделе представлен обзор потенциала для увеличения потребления электроэнергии во всех секторах промышленности²⁷, согласно данным Белстата. Обзор не предполагает подробного исследования, как это было в случае с жилым сектором, а скорее показывает в каких секторах промышленности возможно замещение газа и/или тепла электроэнергией.

Общее конечное потребление энергии для газа, тепла и электроэнергии в секторах промышленности в 2017 году и количество, потребляемое в производственной промышленности, показаны в следующей таблице²⁸.

Таблица 7-1 Энергоисточники в секторе промышленности в Беларуси

Энергоисточник	Общее конечное потребление (ГВтч)	Потребление производственной промышленности (ГВтч)	Производственная промышленность %
Газ	19,503	12,407	63.6
Тепло	38,036	23,002	60.5
Электроэнергия	25,530	14,172	55.5

Данные по теплоэнергии включают данные, полученные от ТЭЦ, многие из которых находятся в таких промышленных секторах, как нефтеперерабатывающая промышленность и химическое производство.

7.1 Отрасли промышленности

В показатели Белстата включены следующие определения секторов промышленности и, поэтому, они используются в этом анализе. В каждом сценарии приведено использование процентного соотношения вышеупомянутого общего потребления газа и тепла.

7.1.1 Сельское хозяйство, лесное хозяйство и рыболовство

Данный сектор потребляет 6,9% общего объема газа и 5,5% тепла. Большая часть потребления приходится на аграрно-продовольственную промышленность, такую как переработка сахара, где есть крупногабаритные котлы, производящие технологический пар, соединенные с системами ТЭЦ. В этих ситуациях нет возможности замещения электроэнергии. Могут быть некоторые возможности для электрических котлов или тепловых насосов в последующих процессах, таких как смешивание, но обычно они также подключены к центральной паросиловой установке.

В животноводческом секторе частично возможно использование тепловых насосов для теплоснабжения в инкубатории и для первых этапов разведения животных. Электроэнергию также можно использовать для увеличения рыбного производства и защиты популяции рыб путем принудительной подачи кислорода от электрических аэраторов.

Незначительная доля тепла будет использоваться для процессов сушки, таких как сушка сельскохозяйственных культур, но часто это тепло от отходов самовырабатываемой биомассы или от передвижной установки, работающей на дизельном топливе или сжиженном газе (LPG). Опять же, практически нет возможности для замещения электроэнергии. Некоторый потенциал экономии первичного топлива возможен при утилизации отходов сельского хозяйства для производства энергии (биогазовые установки, биогазовые двигатели ТЭЦ, тепло для систем ЦТ).

²⁷ В этом сценарии "промышленность" включает также большие коммерческие здания

²⁸ Данные не охватывают жилой сектор



7.1.2 Добывающая промышленность

В этом секторе потребляется всего 0,8% общего объема газа и 1,4% тепла, и, вероятно, большая часть этого объема используется для отопления зданий. В данном случае возможно замещение газовыми котлами или тепловыми насосами, но экономия (на национальном уровне) будет незначительной.

7.1.3 Отрасли производства

Белстатом определены следующие сектора, которые организованы в порядке общего использования газа и тепла.

Производство кокса и нефтепродуктов

На эту категорию приходится 12,9% общего объема газа и 16,2% потребления тепла. Производство кокса основано на угле, который также является источником тепла. Для прямого замещения электроэнергии возможности нет, но использование водорода, полученного путем электролиза, может сыграть свою роль в будущем (см. Раздел 7.3).

Переработка нефти - это высокоинтегрированный процесс, потребляющий значительное количество тепла, большая часть которого поступает от ТЭЦ с рекуперацией тепла из процесса. Первичные котлы - это крупногабаритные паровые агрегаты, которые слишком велики для замены электрическими котлами. Могут быть некоторые возможности для использования электрических котлов или тепловых насосов в менее емких процессах и процессах, требующих более низких температур, но общее влияние на национальном уровне, вероятно, должно быть небольшим.

Химическое производство

Химическая промышленность является важным сектором в Беларуси, потребляющей 10,6% от общего количества газа и 15,7% от общего количества тепла, большая часть которых будет поступать от ТЭЦ на более крупных предприятиях. Сектор охватывает широкий диапазон продукции, включая первичные химические вещества и удобрения, которые производятся на больших комбинатах, а также на меньших предприятиях, производящих вторичную продукцию.

Кроме ТЭЦ, на многих крупных заводах существуют высокотемпературные печи, которые не реально заменить электрическими установками. Менее крупные заводы потребляют значительное количество пара и горячей воды в процессах, которые могли бы, возможно, вырабатываться от электрических котлов или тепловых насосов в некоторых сценариях, но, опять же, общее влияние будет незначительным.

В будущем, для химического сектора существует возможность использовать избыточную электроэнергию, получаемую при производстве водорода для транспортных топлив с низким уровнем выбросов и в некоторых промышленных процессах. Водород получают путем электролиза, где электроэнергия используется для производства водорода и кислорода из воды. Водород может храниться и поэтому рассматривается как топливо, которое эффективно накапливает избыточную электрическую энергию. Поэтому существенным преимуществом электролиза в большом промышленном масштабе является возможность влиять на суточную кривую потребления электроэнергии. Время запуска и остановки для использования водорода очень незначительно (несколько минут) и вся избыточная электроэнергия может потребляться на одной или двух установках по производству водорода. Недостатком процесса электролиза является низкая эффективность преобразования (обычно около 4-10%).

Водородный продукт будет представлять интерес для нефтехимических или химических компаний, которые обладают ноу-хау и технологиями для производства и хранения аналогичных продуктов. Потенциал водорода возрастает за счет выработки возобновляемой электроэнергии и спроса на топливо с низким уровнем выбросов для транспортных средств по всей территории ЕС. В настоящее время сдерживающим фактором роста в транспортном секторе является отсутствие водородной инфраструктуры и его низкая доступность, а также отсутствие спроса на транспортные средства, работающие на водородном топливе. Несколько стран ЕС поддерживают использование водорода и развитие водородных технологий.



Производство резиновых и пластмассовых изделий, прочих неметаллических минеральных продуктов

Этот комплексный сектор включает производство стекла, цемента и керамики, а также резины и пластмасс. На его долю приходится 20,9% газа, и только 3,3% тепла. Большая часть газа используется при производстве стекла и цемента.

Производство стекла

Основной причиной высокого потребления газа в этой категории является его использование в контейнерах и печах для плавления плоского стекла, которые не реально заменить электроэнергией из-за их размера, режима работы (обычно пять-семь лет непрерывно) и температуры (>1500°C). Многие из этих больших печей имеют ступени электрического усилителя, обеспечивающие 10-50% мощности плавления. Эти ступени повышения качества улучшают качество стекла, уменьшают выбросы и увеличивают производительность и общую эффективность. Например, типичная контейнерная стекловаренная печь, работающая на ископаемом топливе, имеет тепловой КПД в лучшем случае около 45%, тогда как степень электрического наддува имеет КПД почти 100%. Поскольку эта технология надлежащим образом освоена, этапы электрического бустинга используются в Беларуси, как правило, стеклотарными заводами, поэтому, существует мало возможностей для дальнейшей замены.

В некоторых вторичных процессах производства контейнерного стекла (например, кондиционирование, формование, отжиг) может использоваться либо газовое, либо электрическое оборудование. Опять же, электрические системы более эффективны и требуют меньше обслуживания.

Меньшие электрические стекловаренные емкости используются главным образом для производства специальных продуктов, таких как свинцовое стекло, термостойкое стекло, высококачественная посуда, косметическая и фармацевтическая тара или для небольших партий продукции. Стекловолокно также обычно производится в электрических печах. Хорошо спроектированная электропечь может иметь общий тепловой КПД около 85%. Кроме того, электрические печи не производят выбросов NOx или твердых частиц на производственной площадке, что является преимуществом с экологической точки зрения.

Производство цемента

Цемент производится в больших (как правило, >100 м длины) вращающихся печах, которые работают на коксе (в значительной степени смешивается с биомассой, топливом из бытовых отходов, паллетами и использованными шинами) или иногда на газе. Углерод в топливе служит в качестве восстановителя в процессе производства клинкера, который затем измельчается и перемалывается для производства конечного продукта. Использование электроэнергии для сжигания в печах невозможно, поскольку это не дает нужного эффекта снижения. В будущем, при производстве цемента может использоваться водород (производящийся электрическим способом), но такие изучения находятся пока на этапе исследований и разработок.

Производство керамики

Для производства керамики используются высокотемпературные (800-900°C) печи для обжига глиняных изделий. Печи для обжига кирпича являются большими установками, имеющими длину, как правило, 100 м, с продукцией, движущейся через секции печи на грузовиках-платформах. Теоретически, процесс может происходить и в электропечах, но, на практике, это маловероятно, ввиду физических размеров и значительно более высоких затрат на энергию.

Печи для производства столовой посуды похожи по размеру на те, которые используются для производства стеклотарных изделий и для подогрева может использоваться либо газ, либо электроэнергия. В последнее время предпочтение все чаще отдается электропечам из-за более высокого КПД и более низких выбросов.

Резина и пластмассы

Производство резиновых изделий обычно включает использование пара для формующих роликов на производственных линиях. В настоящее время паровые котлы будут работать на газе и могут быть заменены электрическими блоками.

Большая часть тепла, используемого в производстве пластмассовых изделий, уже поступает из экструзионного и формовочного оборудования с электрическим нагревом.



Производство продуктов питания, напитков и табачных изделий

Этот сектор потребляет 5,2% общего объема газа и 13,6% тепла. Существует значительное количество низкотемпературного (<200°C) тепла от пара и горячей воды, используемых в этом секторе, как для производства, так и для очистки оборудования. Большая часть газа будет использоваться для паровых или водогрейных котлов, поэтому есть возможность заменить их электрическими котлами или, возможно, тепловыми насосами для процессов, требующих более низких температур (до 70°C). Часть тепла на более крупных объектах будет поступать от ТЭЦ, где нет возможности для замещения электроэнергии.

Как и в жилом секторе, существует возможность замещения газовых котлов на электрические, в основном благодаря их энергоэффективности (до 98% на момент использования). Они не требуют сжигания ископаемого топлива, такого как газ или нефть, для производства тепла, и нет потерь тепла через отработанные газы в газоходах или дымоходах. Поскольку они содержат очень мало механических деталей, электрические котлы требуют минимального технического обслуживания.

Водонагреватели с тепловым насосом намного эффективнее, чем стандартные с сопротивлением. Эффективность обычно измеряется как коэффициент производительности (КПД). КПД определяется как сумма энергии, поставляемой агрегатом, деленная на количество потребленной энергии. Промышленные тепловые насосы обычно имеют как тепловой насос, так и, по меньшей мере, один элемент электрического сопротивления для нагрева. Электрические резистивные элементы обычно включаются, если тепловой насос не отвечает потребности в тепле или если условия окружающего воздуха не позволяют тепловому насосу работать. Максимальная температура нагреваемой воды ограничивается 60-70°C.

Металлургическое производство; производство металлоизделий, кроме машин и оборудования

На этот сектор приходится 8,3% всего объема газа, и только 0,5% тепла. В металлургическом производстве используются высокотемпературные печи, как при первичной плавке, так и при вторичной термообработке. Электрические печи уже используются в некоторых приложениях, указанных ниже.

Изготовление стали

Сталеплавильное производство осуществляется в двух основных направлениях:

- ♦ через доменные печи (обычно обжигают на коксе, который производится на том же месте);
- ♦ через электродуговые печи (обычно используются для изготовления специализированной стали, такой, как нержавеющая сталь).

Маловероятно, что доменная печь будет заменена дуговыми печами ввиду различных типов производимой стали и огромных затрат на такое производство. Однако в настоящее время в Швеции проводятся исследования (см. Раздел 4.6) по замене кокса водородом для повышения эффективности и сокращения выбросов.

Производство алюминия

Производство алюминия - это крупномасштабный электрический процесс, использующий электроэнергию, обычно производимую системой ТЭЦ на том же производстве. Нет никакой возможности для дальнейшего замещения электроэнергии в процессе плавки

Обработка черных и цветных металлов

Вторичное плавление черных и цветных металлов используется до проведения других процессов, таких как литье и экструзия. Печи могут работать на газе, нефти или угле и имеют относительно небольшие масштабы по сравнению с первичным производством. В ЕС существует значительное количество электрических индукционных плавильных печей, как в черной, так и в цветной металлургии. Это хорошо зарекомендовавшая себя технология (более 50 лет), поэтому она, вероятно, широко используется и в Беларуси, особенно, когда используется преимущество более низких ночных тарифов.



В последующих производственных циклах также используются печи для процессов термообработки, таких как отпуск и отжиг. Опять же, печи могут работать на топливе или на электроэнергии, поэтому в Беларуси могут быть некоторые возможности для замещения.

Металлические изделия

После того, как металлы изготовлены в виде листов, прутков и т.д., они подвергаются завершающим процессам, таким как прессование, расточка, штамповка и т. д. Все эти процессы задействованы на электрооборудовании. Таким образом, в данном случае нет дополнительных возможностей для замещения электроэнергии.

Производство древесины и бумажной продукции; полиграфическая деятельность и тиражирование средств массовой информации

Этот сектор потребляет 1,2% газа и 4,2% тепла. Тепло используется преимущественно для основного производства бумаги (включая производство целлюлозы). Это тепло поступает от крупногабаритных паровых котлов, обычно соединенных с ТЭЦ, поэтому возможности для замещения электроэнергии практически отсутствуют. Могут быть некоторые возможности для электрических котлов и электрических инфракрасных отопительных систем на менее крупных технологических заводах, но опять же, это относительно небольшой сектор в Беларуси, поэтому эффект на национальном уровне будет минимальным.

Производство машин и оборудования, не включенное в другие категории

На этот сектор приходится 2,6% газа и 1,8% тепла. Как и в случае с производством металлических изделий, вся обработка осуществляется с помощью электрического привода. (Предполагается, что такие процессы, как литье, отжиг и т. д., включены в предыдущую категорию, поскольку они предполагают низкий уровень использования газа и тепла в этом секторе).

Производство транспортных средств и транспортного оборудования

На эту категорию приходится 1,0% газа и 1,2% тепла. Процессы аналогичны предыдущей категории (хотя, по-видимому, это меньший сектор в Беларуси), поэтому потенциал для замещения электроэнергии отсутствует.

Производство текстиля, одежды, кожи и меха

Этот сектор потребляет 0,3% газа и 1,8% тепла. Данный сектор аналогичен сектору производства продуктов питания и напитков, который характеризуется потреблением значительного количества горячей воды и пара, используемых в некоторых текстильных процессах. "Влажные" процессы в текстильной промышленности требуют много тепловой и горячей воды для чистки и крашения. Эта вода довольно сильно загрязнена после процесса. "Сухие" процессы на одном и том же предприятии требуют оптимального диапазона температуры и влажности окружающей среды на производственном объекте. Низкотемпературный нагрев необходим для подготовки исходного запаса материала. Следовательно, и здесь есть возможности для использования электрических котлов и, возможно, тепловых насосов.

В ЕС существуют некоторые процессы сушки текстиля с использованием радиочастотного или микроволнового нагрева, но они редки (исключительно для специализированной продукции), поскольку капитальные затраты и затраты на техобслуживание высоки. Этот сектор, безусловно, небольшой в Беларуси, поэтому, вероятно, не стоит рассматривать вопрос о замещении электроэнергией.

7.1.4 Подача электроэнергии, газа, пара, горячей воды и кондиционирования воздуха

На эти цели приходится 0,4% газа и 2,3% тепла. Эти небольшие количества, вероятно, предназначены для отопления зданий, поэтому в данном случае могут быть некоторые дополнительные возможности для использования электрических котлов или тепловых насосов.



7.1.5 Водоснабжение; сбор, обработка и утилизация отходов, мероприятия по устранению загрязнения

Аналогично предыдущей категории, но с использованием меньшего количества (0,1% газа и 0,3% тепла) газа и тепла на отопление зданий.

7.1.6 Строительство

Аналогично предыдущим двум секторам (1.1% газа; 1.0% тепла).

7.1.7 Секторы обслуживания

В данных Белстата перечислены десять отдельных секторов обслуживания, все из которых занимают здания. Вместе они составляют 26,8% общего потребления газа и 6,8% потребления тепла. Однако почти весь (98%) газ используется в газовых компрессорах на белорусских газопроводах и транзитных трубопроводах. Теоретически, компрессоры могут быть заменены электрическими блоками, но это не будет иметь экономического смысла, потому что газ легкодоступен и эффективно «свободен» в месте использования.

Возможна замена части тепла, используемого для зданий в секторах обслуживания, электрическими котлами или тепловыми насосами.

7.1.8 Государственное управление, образование и здравоохранение

Хотя эти сектора выходят за рамки Задачи 3, их стоит упомянуть. На них приходится только 0,4% газа, но 14,8% тепла (государственное управление 1,3%; образование 9,7%; здравоохранение 3,9%). Есть возможность замещения центрального теплоснабжения электрическими котлами или тепловыми насосами в зданиях систем образования и здравоохранения.

7.1.9 Крупные коммерческие здания и аэропорты

В настоящее время крупные коммерческие здания и аэропорты в Беларуси отапливаются традиционными системами отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха с использованием теплообменников с горячей водой или газовых горелок. Электрической альтернативой этой системе является использование инфракрасных систем отопления.

Инфракрасное отопление очень эффективно, потому что оно нагревает только определенную область вместо всего пространства. В отличие от конвекционного нагрева, инфракрасный нагрев не нагревает воздух; вместо этого его энергия передается объектам (людям, структурам здания) на его пути. Инфракрасное излучение мгновенно производит тепло и, следовательно, потребляет меньше энергии. Это лучший способ обогрева больших зданий, таких как аэропорты, авиационные ангары и железнодорожные станции, так как не требуется времени на предварительный обогрев и тепло не поднимается в пространство крыши, где оно в значительной степени теряется.

В основном аэропорты имеют очень высокие потолки и большие площади помещений. Терминалы аэропорта обычно не должны быть слишком теплыми, так как люди передвигаются и одеты в верхнюю одежду. Инфракрасные обогреватели также являются отопительными решениями отопления для железнодорожных станций, поскольку тепло излучается по «прямым линиям» и не зависит от движения воздуха.

Аналогично для промышленных помещений, таких как склады и другие, труднодоступные для отопления здания, инфракрасное отопление является наиболее энергоэффективным способом обеспечения тепла для пользователей помещений.



7.2 Планы электрификации в Беларуси

В феврале 2019 года Совет Министров принял Постановление²⁹ о планах по увеличению использования электроэнергии во всех секторах в период с 2020 по 2025 гг. Этим Постановлением дополнено предыдущее Постановление³⁰ за 2016 год, в котором описаны те же вопросы.

В целом, это свидетельствует об увеличении установленной мощности на уровне 1191 МВт в течение пятилетнего периода, но большая часть такого объема мощности будет за счет новых производственных предприятий, других зданий и преобразования котельных ЦТ, а не за счет перевода существующих промышленных процессов на сжигание с помощью электроэнергии. Значительные инвестиции в промышленные предприятия и процессы включают следующее:

- ◆ Шесть проектов в нефтехимической отрасли для производства водорода и серы плюс гидрокрекинг нефтяных осадков (всего 150 МВт);
- ◆ Восемь проектов в металлургической отрасли для плавки металла и для вспомогательного оборудования (95 МВт);
- ◆ Установка для производства картона (75 МВт);
- ◆ Строительство завода по производству листового металла и белой жести в Витебской области (70 МВт);
- ◆ Шесть проектов в производстве текстильных изделий и волокон (5 МВт);
- ◆ Реконструкция существующих и создание новых инженерных и производственных мощностей для производства мясных изделий в Минской области (3 МВт);
- ◆ Производство медицинского стекла (1.6 МВт).

Существует также несколько примеров тепловых насосов, которые используются для промышленных процессов, например, в нефтехимической промышленности, производстве полимеров, автомобильной промышленности, мясоперерабатывающей и молочной.

Хотя они предусматривают значительное увеличение электрической нагрузки (всего около 400 МВт), но это все же сравнительно небольшая часть по сравнению с потенциалом в жилом секторе.

7.3 Опыт ЕС

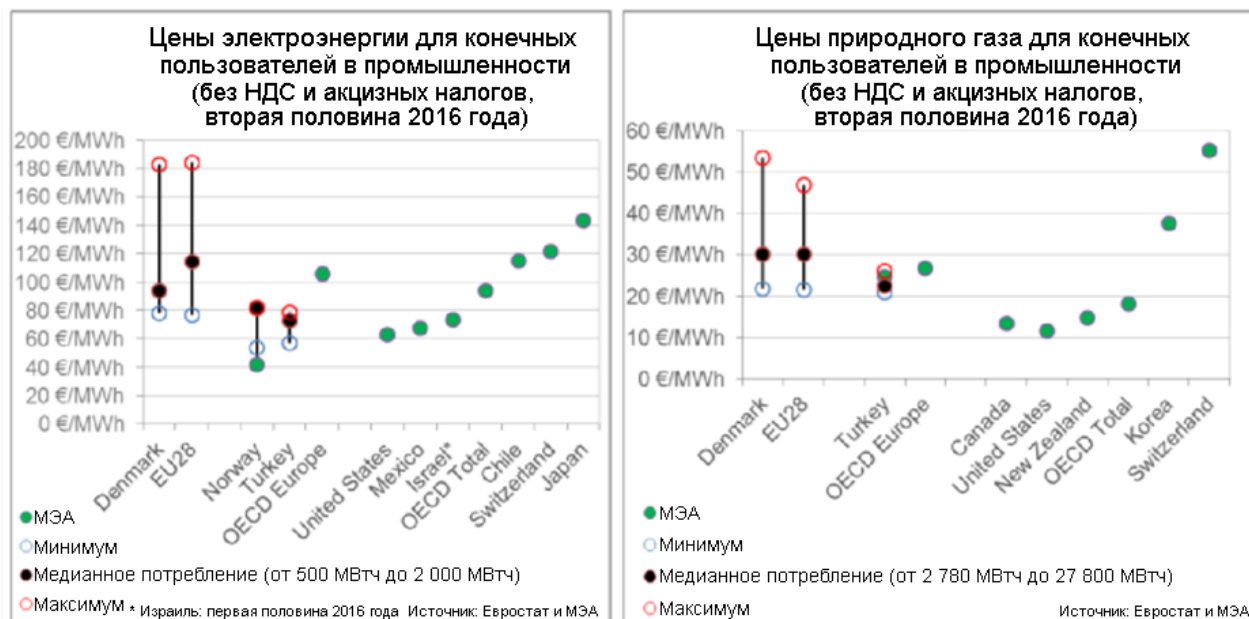
В целом, в ЕС мало примеров использования электрических котлов с целью замещения газа для производства пара и горячей воды в промышленности и коммерческих секторах. Это объясняется главным образом тем, что во всех странах ЕС электроэнергия намного дороже, чем газ, поэтому нет экономических стимулов для осуществления таких изменений. Это показано на Рисунке 7-1 ниже.

²⁹ Постановление Совета Министров Республики Беларусь 09/02/2019 № 587

³⁰ Постановление Совета Министров Республики Беларусь 03/01/2016 № 169



Рисунок 7-1 Обзор цен для конечных потребителей электроэнергии и газа в промышленности (2016 г., источник: ЕВРОПЕЙСКАЯ КОМИССИЯ - Информационный бюллетень Энергетического Союза)



В рамках этого обзора более детально были рассмотрены три страны ЕС/ЕЭЗ³¹, потому что они имеют особенности подачи электроэнергии или, как известно, используют крупномасштабные тепловые насосы в других секторах.

- ♦ **Норвегия**, где почти вся электроэнергия поступает от крупных гидроэлектростанций и поэтому является относительно дешевой (см. Рис. 7.1);
- ♦ **Франция**, которая имеет большую долю (около 75%) атомной электроэнергии;
- ♦ **Дания**, которая все чаще использует тепловые насосы в системах центрального теплоснабжения.

Норвегия

На сектор промышленности приходится около 48% общего норвежского потребления энергии; на транспорт приходится 21%, а остаток потребляется зданиями и для услуг. Использование энергии в норвежской промышленности сосредоточено на следующих отраслях:

- Добыча нефти и газа (около 47,5% от общего промышленного потребления энергии);
- Производство металлов (около 22%)
- Химическая промышленность (около 10%)
- Производство целлюлозы и бумаги (около 5,5%)
- Другие отрасли (около 15%)

На рисунке 7-2 показана доля потребления различных видов топлива в норвежской промышленности. Основной промышленной стратегией является использование обширной электрификации, в частности, за счет использования водорода (см. ниже). Базовый прогноз после внедрения плана³² предусматривает экономию энергии примерно в размере 17% в промышленном секторе.

³¹ Европейская экономическая зона. Включает Норвегию, Исландию и Лихтенштейн, а также 28 стран-членов ЕС

³² Statnett – Электроэнергия Норвегии – от ископаемого топлива до электроэнергии



Рисунок 7-2 Потребление топлива в промышленности Норвегии в 2017 году



В стратегии Норвегии упоминается, что для многих промышленных процессов в настоящее время нет технологии, позволяющей заменить ископаемое топливо непосредственно на электроэнергию. Тем не менее, электроэнергия может быть использована для производства водорода или синтетических углеводородов. Электрификация также может быть использована при производстве тепла или пара из газовых и масляных котлов.

В стратегии также говорится, что степень, в которой технически возможно электрифицировать другие промышленные процессы, является неопределенной и существенно варьируется между различными промышленными процессами. Предлагаемые меры для отдельных отраслей промышленности:

- ♦ *Добыча нефти и газа* - электрификация производственных платформ, снижение непосредственного потребления в газовых турбинах, двигателях и компрессорах, а также уменьшения тепла для резервного оборудования и газовых турбин. К 2015 году 50% платформ были переведены на электроэнергию. (Этот сектор не актуален для Беларуси.)
- ♦ *Производство металлов* - использование электролиза в производстве алюминия широко распространено в Норвегии. Производство ферросплавов включает в себя широкомасштабное использование угля или кокса для удаления кислорода (процесс восстановления). Использование газообразного водорода в качестве восстановителя в металлургической промышленности часто технически возможно и даже изучается в сталелитейной промышленности для замены процесса коксования. (Например, HYBRIT Швеция³³). Использование водорода для этих процессов также значительно снижает выбросы CO₂.
- ♦ *Химическая промышленность* - основной потенциал данной отрасли - производство коммерческих удобрений. В этом процессе используется природный газ для производства водорода, который в свою очередь используется для производства аммиака. Возможным решением с низким уровнем выбросов является производство аммиака непосредственно с использованием водорода из электролиза.
- ♦ *Строительство зданий и сооружений* - деятельность сосредоточена на замещении электроэнергией дизельного топлива для машин в прокладывании туннелей, например, для бурения и инъектирования. Возобновляемое дизельное топливо, не содержащее пальмового масла и пищевого сырья, уже используется для грузовых автомобилей и небольших машин. С 2022 года на норвежских строительных площадках будет запрещено использовать оборудование для сушки и обогрева, работающее на нефти.
- ♦ Другие отраслевые примеры и планы электрификации включают следующее:

³³ См. <https://www.ssab.com/company/sustainability/sustainable-operations/hybrit>



- Замену коксовой печи новой электродуговой печью в производстве стеклопластика.
- Замену сжигания газа электрическим нагревом в целлюлозно-бумажной промышленности, производство стекла и других продуктов на основе нефтяных продуктов, а также увеличение доли электрических машин (заменяющих дизельное топливо) в карьерах.

Некоторые из этих идей можно было бы с пользой изучить в Беларуси.

Франция

Несмотря на высокую долю ядерной энергетики во Франции, нет примеров широко распространенной электрификации в промышленном секторе. Вместо этого, последовательные законодательные и нормативные изменения в энергетическом секторе направлены на укрепление позиций потребителей (конечных пользователей и крупных промышленных потребителей), либо с точки зрения их прав на доступную информацию, либо с точки зрения новых возможностей для участия в «балансировании» энергосистемы (например, из-за перебоев в подаче электроэнергии, включения и выключения нагрузки или участия в энергетическом рынке посредством местной генерации - так называемые «меры в области регулирования спроса»).

Оператор системы передачи электроэнергии France-RTE создал исследовательскую программу для разработки новых методов управления активами, основанную на сборе более индивидуализированной информации обо всем оборудовании сетевой системы и обработке данной информации с помощью алгоритмов оптимизации. Это привело бы к распространению цифровой революции в энергетическом секторе (технология "Интернет вещей" - Интернет вещей, супермассив данных, искусственный интеллект и т. д.).

Во-первых, эти наработки отражают стремление государственных органов Франции поддерживать конкурентоспособность энергоемких национальных отраслей, а во-вторых, упрочить участие французских потребителей, которые все больше озабочены вопросами энергетики. Технология "Интернет вещей" (IoT) для энергетического сектора также открывает значительные новые перспективы для управления активами.

Хотя эти изменения затрагивают отраслевой сектор (особенно крупных потребителей), они не нацелены на замещение ископаемого топлива электроэнергией. Тем не менее, для белорусского энергетического сектора этот опыт может быть полезен.

Дания

В Дании энергопотребление промышленности составляет около 15% конечного потребления энергии, из которых на сельское хозяйство/лесное хозяйство/рыболовство приходится около 5,5%. Транспорт потребляет около 35%, а жилой сектор - около 30%, в то время как услуги составляют оставшуюся часть. Не существует стратегии по увеличению электрификации в промышленности, вероятно, потому что потенциал электрификации и энергосбережения в секторе центрального теплоснабжения гораздо выше.

В основном, развитие технологий в Дании сосредоточено на технологиях использования биомассы, энергии ветра и других возобновляемых источников энергии (например, солнечной энергии), водородных технологий и технологий, с использованием топливных элементов, зданий с низким энергопотреблением, энергоэффективных решений и интеграции энергетических систем, энергоэффективных технологий для нефти и газа, более эффективное и экологически чистое производство тепла и электроэнергии в целом (включая улавливание и хранение двуокси углерода (УХУ)).

Деятельность в сфере энергетики в промышленности Дании в первую очередь направлена на экономию энергии и повышение энергоэффективности. Примеры в различных секторах:

- ◆ *Добыча и переработка полезных ископаемых; производство цемента* - замена газовых печей на отходящее тепло; разработка низкоэнергетического цемента и бетона.
- ◆ *Процессы производства и термообработки* - электронное «картирование» потребления энергии в производственных процессах, управление энергопотреблением.
- ◆ *Пищевая промышленность* - установка двигателей с регулируемой частотой вращения (РЧВ), рекуперация тепла и энергоменеджмент.



- ◆ *Фармацевтика* - экономия на системах охлаждения и вентиляции.
- ◆ *Текстиль и кожевенное производство* - утилизация сточных вод, рекуперация тепла.

Результативность энергоэффективности в промышленности Дании увеличилась примерно на 24% в период с 1990 по 2010 гг. (то есть на 1,4% в год). С 2000 года показатели энергоэффективности повысились еще быстрее, примерно на 16% (1,7% в год). В последнее время, в химической промышленности повышение энергоэффективности достигло 36%, в то время как в сталелитейной и пищевой промышленности энергоэффективность повысилась на 21% и 8% соответственно.

Особый интерес представляет проект HyBalance³⁴ в Дании, который станет первым проектом в Европе, продемонстрировавшим полную производственно-технологическую цепочку от водорода, производимого из возобновляемых источников энергии, до конечных пользователей. Водород будет производиться путем электролиза воды, и использоваться для чистой транспортировки и в промышленности. Возобновляемая электроэнергия, производимая ветряными турбинами и хранящаяся в форме водорода, также будет поддерживать надежность энергосистемы, демонстрируя потенциал водорода в будущем энергетическом балансе.

Опять же, деятельность, связанная с водородом, может представлять особый интерес для Беларуси.

7.4 Краткие выводы

Масштаб возможностей в национальном контексте относительно замещения газа и тепла электроэнергией в промышленных секторах можно подытожить в Таблице 7-2 ниже.

Таблица 7-2 Потенциал для электрификации в секторах промышленности

Сектор	Потенциал для электрификации
Сельское хозяйство, лесное хозяйство и рыболовство	Низкий
Добывающая промышленность	Очень низкий
Производство кокса и нефтепродуктов	Низкий
Химическое и нефтехимическое производство	Средний
Производство резиновых и пластмассовых изделий, прочих неметаллических минеральных продуктов	Низкий
Производство продуктов питания, напитков и табачных изделий	Средний
Металлургическое производство; производство металлоизделий, кроме машин и оборудования	Средний
Производство древесины и бумажной продукции; полиграфическая деятельность и тиражирование средств массовой информации	Низкий
Производство машин и оборудования, не включенное в другие категории	Очень низкий
Производство транспортных средств и транспортного оборудования	Очень низкий
Производство текстиля, одежды, кожи и меха	Очень низкий
Подача электроэнергии, газа, пара, горячей воды и кондиционирования воздуха	Очень низкий
Водоснабжение; сбор, обработка и утилизация отходов, мероприятия по устранению загрязнений	Очень низкий
Строительство	Очень низкий
Секторы обслуживания	Средний
Государственное управление, образование и здравоохранение	Средний
Крупные коммерческие здания и аэропорты	Низкий

³⁴ См. <http://hybalance.eu>



Как видно из таблицы, ни один из секторов и подсекторов не предлагает больших возможностей для электрификации (по сравнению, например, с жилым сектором). Самыми лучшими возможностями являются:

- ◆ Электрические котлы для пара и горячей воды в секторе производства продуктов питания и напитков. Вероятно, существуют также возможности для тепловых насосов для производства горячей воды;
- ◆ Электрические котлы или тепловые насосы для производства горячей воды или отопления в секторах государственного управления, образования и здравоохранения, а также в секторах обслуживания (здания).
- ◆ (Вероятно) электропечи для вторичных процессов (термическая обработка) при производстве стеклотарной продукции и обработке металлов.

Все другие сектора предлагают низкий или очень низкий потенциал.

Во всех сценариях будущей электрификации использование электрооборудования будет постоянным или охватывать обычные дневные часы, поэтому, существует потенциал увеличения пикового потребления электроэнергии в Беларуси, а также заполнение некоторых впадин на графике потребления. Что касается решений, связанных с электрическими водогрейными котлами, то существует необходимость учитывать вопросы аккумуляции горячей воды для удовлетворения спроса в пиковые часы. В ночное время выполняется некоторая деятельность, связанная с плавкой металла, используя преимущества более низких тарифов.

Основной будущей возможностью для использования избыточной электроэнергии, либо от возобновляемых источников энергии, либо от АЭС, является производство водорода для использования в различных видах транспорта с низкими выбросами и в промышленных процессах.

Общий вывод из обзора сектора промышленности состоит в том, что возможности для дальнейшей электрификации в существующих промышленных процессах являются низкими по сравнению с жилым сектором, хотя, вероятно, должно быть больше возможностей на новых производственных предприятиях.

Таким образом, усилия по электрификации в Беларуси должны быть сосредоточены на жилом секторе и других зданиях, где возможности для использования электрических котлов и тепловых насосов выше, а необходимые технологии относительно простые и хорошо себя зарекомендовали.



8 ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

8.1 Выводы

Профили потребления электроэнергии

Анализ профилей потребления электроэнергии в Беларуси показывает, что максимальное зимнее пиковое потребление составляет примерно 5,700 МВт, падая приблизительно до 3,700 МВт между полночью и 6-00. Профиль зимнего рабочего дня относительно плоский между 9-00 и 20-00 только с неглубокой 'впадиной' между 14-00 и 6-00. Это свидетельствует о том, что существуют ограниченные возможности для роста электрического отопления в течение зимнего дня без увеличения общего максимального потребления. В период с 23-00 до 6-00 существует потенциал для внедрения систем хранения энергии.

Электрические технологии для воздушного и водяного отопления

Основными технологиями для отопления в жилищном хозяйстве и секторе центрального теплоснабжения, являются:

- i. *Электрические радиаторы, панели и конвекторы.* Они приемлемы для отдельных помещений или квартир. Это простые, хорошо освоенные технологии с высокой эффективностью в месте использования, а также с низкими капитальными и текущими затратами
- ii. *Электрические котлы.* В них для подогрева воды могут использоваться резистивные элементы (трубчатые электронагреватели – ТЭН) или электроды. ТЭНы являются простыми приборами с невысокими капитальными и текущими затратами. Диапазон мощности составляет от 20 кВт до 2 МВт и, они могут использоваться в индивидуальных домах или квартирах, многоквартирных зданиях, малых системах центрального теплоснабжения. Электродные котлы имеют большую мощность (2 - 60 МВт) и, поэтому, они приемлемы для крупных многоквартирных домов и систем центрального теплоснабжения. Оба типа электрокотлов применяются в ЕС, но их использование для отопления широко не распространено в связи со значительно более высокими тарифами на электроэнергию по сравнению с природным газом.
- iii. *Тепловые насосы.* Тепловые насосы являются более сложными устройствами, чем электрические котлы и, имеют высокие капитальные затраты и затраты на техобслуживание. Однако, их энергетические затраты намного ниже, чем затраты для электрических котлов, поскольку тепловой насос, используя теплоту окружающей среды через компрессор повышает температуру теплоносителя.. Меньшая мощность (до 100 кВт_{тепл}) позволяет их эффективно использовать с отопительными приборами с температурой до 50°C и, они наиболее эффективны для жилых зданий с высокими стандартами энергетической эффективности. Большие тепловые насосы могут давать температуру теплоносителя на выходе до 90°C и они широко используются в ЕС в промышленных установках и системах центрального теплоснабжения, где работают в сочетании с традиционными источниками тепла для обеспечения высокотемпературного теплоснабжения.
- iv. *Аккумуляция тепла.* Системы аккумуляции тепла являются, в основном, большими резервуарами воды (теплоносителя), которые нагреваются ('заряжаются') в течение периода низкого спроса в сети (как правило, периоды низких тарифов), или когда при наличии избыточной энергии от ВИЭ. Затем тепло используется в период пикового потребления. В суточном диапазоне баки-аккумуляторы тепла широко используются в ЕС в системах центрального теплоснабжения. Применяются также сезонные баки-аккумуляторы, которые намного больше по объему и используются для балансирования потребления тепла между зимним и летним периодами.



Тарифы на электроэнергию в ЕС

Рассмотрены структуры тарифов в трех странах (Чешская Республика, Польша и Франция). Во всех трех странах используются три структуры тарифов:

- ◆ Одноставочный тариф (или единая цена по тарифу) для небольших потребителей, как домохозяйств, так и юридических лиц;
- ◆ Дифференцированный тариф (как правило, дневной/ночной) для небольших потребителей для стимулирования потребления во внепиковые периоды;
- ◆ Сложные тарифы с многоставочными временными периодами для крупных потребителей. Эти типы тарифов отражают оптовую цену электроэнергии.

Такой принцип дифференциации тарифов, как правило, применяется во всех странах ЕС. Похожая структура тарифов уже используются в Беларуси, таким образом, стимулируя использование электроэнергии и баков-аккумуляторов во время внепиковых периодов с низкими затратами на её покупку.

Моделирование ДСПЭА

Модель ДСПЭА использовалась для моделирования сценариев и сочетаний сценариев использования электроэнергии для водяного и воздушного отопления в индивидуальных жилых домах и квартирах, многоквартирных зданиях, системах центрального теплоснабжения, городских сельских районов. Моделирование проведено на базе пяти конкретных сценариев, определенных в ТЗ. Ниже наводятся общие выводы:

- ◆ Ввод в эксплуатацию АЭС приведет к значительному снижению с $\approx 45\%$ до $\approx 25\%$ использования установленных мощностей существующих ТЭЦ. Кроме того, это также приводит к дефициту до 2500 МВт установленной тепловой мощности для систем центрального теплоснабжения. Необходимо подчеркнуть, что нехватка установленной тепловой мощности прогнозируется в системах централизованного теплоснабжения, которые получают энергию от ТЭЦ, а не в системах, которые получают энергию с котельных.
- ◆ Доля отопления с использованием электроэнергии, которая вырабатывается котельными, может составить до 40%, с сохранением необходимых резервных мощностей, при отсутствии перехода на электроэнергию в локальных и централизованных системах воздушного и водяного отопления.
- ◆ Доля отопления с использованием электроэнергии, которая вырабатывается котельными, может достигать до 30%, с сохранением необходимых резервных мощностей, при замещении природного газа, торфа и биомассы электроэнергией в локальных и централизованных системах воздушного и водяного отопления. В рамках всех рассмотренных сценариев можно также значительно снизить дефицит установленной мощности на КЭС, поскольку они улучшают годовое использование существующих ТЭЦ. Размер дефицита различен в зависимости от различных сценариев, но ввод электрических котлов сможет сократить дефицит примерно до 1000 МВт, в то время как в рамках сценариев, предусматривающих использование тепловых насосов, можно полностью покрыть нехватку мощности систем центрального теплоснабжения.
- ◆ Большинство сценариев приводят к увеличению использования природного газа от 30 до 1024 тыс.т у.т. Этого не происходит только в сценариях с использованием тепловых насосов в новых зданиях.

Влияние на экологию

Экологическая оценка сценариев показала следующее:

- При замещении ископаемых видов топлива на электрическую энергию экономия в конечном потреблении отсутствует, т.к. внутреннее потребление зданием не меняется. Потребление *первичных энергоносителей* увеличивается в связи с низким КПД преобразования на КЭС (около 35%) по сравнению с прямым использованием ископаемых видов (80-95%). Наибольший эффект достигается в сценариях с использованием тепловых насосов.



- Во всех сценариях, кроме одного (тепловые насосы в индивидуальном жилом доме), увеличиваются выбросы CO₂, экв. по сравнению базовым сценарием NEEAP. В сценариях с использованием электрических котлов растут выбросы CO₂, по сравнению со сценариями с тепловыми насосами. Все смоделированные сценарии по сравнению со сценарием NEEAP не превышают объемы выбросов на 5% от общего количества.
- Выбросы SO₂ и NO_x растут во всех сценариях, в то время как выбросы ЛОС (Летучие органические соединения) и CO снижаются. Выбросы SO₂ и NO_x связаны, в основном, с сектором преобразования.

Исходя из результатов моделирования, ни один из сценариев для жилого сектора не может рассматриваться как проект повышения энергоэффективности, поскольку он приводит к увеличению потребления первичной энергии и соответствующих выбросов CO₂.

Влияние на систему передачи и распределения электрической энергии

Системы центрального теплоснабжения, как правило, подключены к распределительным сетям напряжением от 0.4 до 10 кВ. Состояние распределительных подстанций, удовлетворительное, но значительная доля распределительных сетей и кабельных линий отработала свой срок службы. Для электрификации систем центрального теплоснабжения с использованием электрических котлов необходимо выполнить технико-экономическую оценку с учетом существующих электрических нагрузок и состояния распределительных линий для минимизации капитальных вложений, необходимых для подключения нагрузок к электрической сети.

Переход к отоплению с использованием электроэнергии в многоквартирных зданиях и индивидуальных жилых домах, увеличивает в два раза потребление электроэнергии во внутренних системах электроснабжения. В большинстве случаев существующее электрическое оборудование и размер сечений не требуемый прирост мощности и, соответственно, необходимы значительные дополнительные капитальные затраты.

В случае использования тепловых насосов, прирост электрической нагрузки составит 30-50% по сравнению прямым преобразованием электроэнергии в тепло. В системах центрального теплоснабжения тепловые насосы, как правило, работают в сочетании с существующими источниками тепла, следовательно, их присоединение возможно без значительных дополнительных затрат в распределительные системы. В существующих многоквартирных зданиях и индивидуальных жилых домах проектные характеристики и расчетные сетевые графики не позволяют применять тепловые насосы для систем отопления. Т.е. использование тепловых насосов будет ограничено новым строительством и капитальной реконструкцией с приведением систем отопления к требуемым проектным условиям с низкотемпературным теплоносителем.

Высоковольтные системы передачи электроэнергии в последнее время были модернизированы и их состояние позволяет обеспечить прирост мощности без дополнительных затрат.

Экономическая эффективность

Для электрических котлов капитальные затраты и затраты на техобслуживание ниже, чем у тепловых насосов, у которых ниже энергетические затраты (коэффициент преобразования 3 и выше). Затраты на электросетевое строительство в зданиях зависят от конкретного проекта и принятие решений относительно необходимости их перевода в каждом случае индивидуально.

Общие затраты зависят от применения систем аккумулирования энергии в проектах. Системы аккумулирования увеличивают капитальные вложения, но снижают текущие из-за дифференцированных тарифов на электроэнергию и ВИЭ.

В Беларуси введены тарифы на электроэнергию для отопления, в т.ч., для тепловых насосов, но стоимость использования электроэнергии пока выше, тепла или газа, для отопления, что снижает экономическую целесообразность электрификации существующих зданий.

Промышленность и коммерческие сектора

Ни один из промышленных и коммерческих секторов не предлагает больших возможностей для электрификации в существующих процессах, по сравнению с жилым сектором. Ниже представлены самые лучшие возможности:



- ◆ Электрические котлы для пара и горячей воды в секторах производства продуктов питания и напитков. Вероятно, есть также возможности относительно тепловых насосов для горячей воды;
- ◆ Электрические котлы или тепловые насосы для горячей воды или отопления в зданиях системы государственного управления, образования, охраны здоровья и сферы услуг.
- ◆ Электропечи для вторичных (тепловая обработка) процессов в производстве стеклянной тары и при обработке металлов.

Вполне вероятно, что более широкие возможности существуют на новых производственных предприятиях, где электротехнические технологии могут быть включены в этап проектирования.

Как и в жилом секторе, баки-аккумуляторы могут использоваться в сочетании с электрическими котлами или тепловыми насосами для сглаживания графика потребления и/или оптимизации экономики функционирования.

Основной будущей возможностью использования избыточной электроэнергии, либо от возобновляемых источников, либо от АЭС, является производство водорода для использования в транспорте с низкими выбросами и в промышленных процессах.

Общий вывод из обзора сектора промышленности состоит в том, что возможность для дальнейшей электрификации в существующих промышленных процессах является низкой по сравнению с жилым сектором, хотя, вероятно, есть больше возможностей на новых производственных предприятиях.

8.2 Рекомендации

Принимая во внимание все вышеупомянутые выводы, рекомендации для программы электрификации в жилом секторе будут следующими:

- В качестве основного приоритета, использование тепловых насосов в новых и реконструированных зданиях, где высокие стандарты изоляции. Этого можно достичь при самой низкой стоимости, поскольку понадобятся незначительные инвестиции или их совсем не понадобится в распределительное оборудование зданий.
- Параллельно, использование либо электрических котлов, либо тепловых насосов в выбранных котельных центрального теплоснабжения до 40% от существующей установленной мощности, в то же время, сохраняя некоторые существующие котельные, работающие на ископаемых видах топлива. Не все газовые котлы должны быть полностью заменены, поскольку многие из них могут быть оборудованы элементами электрического отопления в рамках существующей структуры. Выбор того, какие станции должны быть трансформированы, будет зависеть от местных условий в распределительной сети и затрат на модернизацию.
- Рассмотрение электрификации воздушного отопления и водяного отопления в индивидуальных жилых домах или многоквартирных зданиях, где усовершенствование внутренних распределительных сетей электроэнергии не вызывает значительных финансовых затрат.
- С учетом каждого конкретного сценария, рассмотреть использование систем аккумулирования тепла, которые бы работали в сочетании с электрическими источниками с учетом экономики (капитальные и текущие затраты) и влияния на профиль потребления электроэнергии.

С помощью этой стратегии можно достичь требуемого уровня электрификации в жилом секторе с наименьшим требованием к дополнительной мощности системы центрального теплоснабжения, а также с наименьшими инвестиционными затратами. Это приведет также к относительно небольшому увеличению подачи первичной энергии, выбросам CO₂ и выбросам других загрязняющих веществ таких, как SO₂, NO_x, ЛОС и СО.



В секторах промышленности надо изучить возможности использования электрических котлов и тепловых насосов в процессах, где используется большое количество горячей воды (например, при производстве продуктов питания и напитков, некоторые вторичные химические процессы). Подобным образом, надо проанализировать сценарий для электрических решений в нежилых зданиях, где условия будут похожими на те, что существуют в жилом секторе. Необходимо внедрить, там, где это возможно, электротехнические технологии, в новые производственные предприятия.



Приложение А Сравнение показателей выбросов в отдельных сценариях моделирования

Таблица А - 1 Сравнение показателей выбросов CO₂ в различных сценариях моделирования

[Мт CO ₂]	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
ALL_HIGH	60.6	62.6	63.5	60.5	64.9	64.4	64.6	63.5	63.7	62.7	63.0	62.7	61.8	61.4
ALL_LOCAL	60.6	63.9	64.9	63.2	63.2	62.9	62.6	62.2	61.9	61.6	61.4	61.1	60.9	60.6
ALL_LOCAL_HP	60.6	63.9	64.9	63.2	61.4	61.2	60.9	60.4	60.1	59.8	59.6	59.4	59.2	58.9
ALL_LOW	60.6	62.6	63.5	60.5	63.5	63.0	62.8	62.3	62.1	61.7	61.5	61.2	61.0	60.7
ALL_LOW_HP	60.6	62.6	63.5	60.5	61.8	61.5	61.2	61.0	60.7	60.4	60.2	59.9	59.5	59.2
DH_LOW	60.6	62.6	63.5	60.4	61.0	60.8	60.5	60.2	60.2	59.9	59.4	59.2	59.3	59.0
NEEAP	60.6	63.9	64.8	63.2	60.2	60.0	59.7	59.4	59.1	58.9	58.7	58.5	58.4	58.2
NMAB_CITY_DH (ToR 1)	60.6	63.8	64.8	63.1	60.7	60.5	60.2	59.9	59.6	59.4	59.2	59.1	58.9	58.7
NMAB_CITY_LOCAL (ToR 3)	60.6	63.9	64.8	63.2	60.2	60.0	59.7	59.4	59.1	58.9	58.8	58.6	58.4	58.3
NMAB_CITY_LOCAL_HP (ToR 3)	60.6	63.9	64.8	63.2	60.2	60.0	59.7	59.3	59.1	58.8	58.7	58.5	58.4	58.2
NMAB_LOCAL	60.6	63.9	64.8	63.2	60.3	60.1	59.9	59.6	59.3	59.1	58.9	58.7	58.6	58.4
NMAB_LOCAL_HP	60.6	63.9	64.8	63.2	60.1	59.9	59.6	59.2	58.9	58.7	58.6	58.4	58.2	58.1
NMAB_RURAL_LOCAL (ToR 3)	60.6	63.9	64.8	63.2	60.3	60.1	59.8	59.5	59.2	59.0	58.8	58.6	58.5	58.3
NMAB_RURAL_LOCAL_HP (ToR 3)	60.6	63.9	64.8	63.2	60.1	60.0	59.7	59.3	59.0	58.8	58.7	58.5	58.3	58.2
OMAB_CITY_DH (ToR 2)	60.6	63.8	64.8	63.1	60.8	60.5	60.3	59.9	59.7	59.4	59.2	59.1	58.9	58.7
OMAB_CITY_LOCAL (ToR 4)	60.6	63.9	64.8	63.2	60.6	60.3	60.0	59.6	59.4	59.1	59.0	58.8	58.6	58.5
OMAB_LOCAL	60.6	63.9	64.9	63.2	61.7	61.4	61.1	60.7	60.4	60.2	60.0	59.8	59.5	59.3
OMAB_RURAL_LOCAL (ToR 4)	60.6	63.9	64.9	63.2	61.3	61.0	60.7	60.4	60.1	59.8	59.6	59.4	59.2	59.0
SFD_CITY_LOCAL	60.6	63.9	64.8	63.2	60.2	60.0	59.7	59.4	59.1	58.9	58.7	58.6	58.4	58.3
SFD_LOCAL (ToR 5)	60.6	63.9	64.9	63.2	61.4	61.2	60.8	60.5	60.2	59.9	59.7	59.5	59.3	59.1
SFD_LOCAL_HP (ToR 5)	60.6	63.9	64.8	63.2	59.8	59.6	59.3	59.0	58.7	58.5	58.4	58.2	58.0	57.9
SFD_RURAL_LOCAL	60.6	63.9	64.9	63.2	61.5	61.3	61.0	60.6	60.3	60.0	59.8	59.6	59.4	59.2
SFD_RURAL_LOCAL_HP	60.6	63.9	64.8	63.2	59.9	59.6	59.4	59.0	58.8	58.5	58.4	58.2	58.1	57.9



Таблица А - 2 Сравнение выбросов SO₂ в различных сценариях моделирования

[тыс. т SO ₂]	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
ALL_HIGH	86,6	91,2	91,8	94,6	68,7	68,5	68,1	67,6	67,2	67,5	68,0	68,4	68,7	69,3
ALL_LOCAL	86,6	91,3	92,0	99,2	93,1	91,9	91,6	90,3	90,2	89,9	90,5	90,4	90,4	90,1
ALL_LOCAL_HP	86,3	91,1	91,7	99,0	96,3	95,1	94,6	93,0	92,6	92,4	92,9	92,9	93,0	92,8
ALL_LOW	86,6	91,2	91,8	94,6	89,0	87,8	87,3	85,9	85,5	85,7	86,1	86,3	86,5	86,8
ALL_LOW_HP	86,3	91,0	91,6	94,3	90,1	88,7	88,1	86,4	85,9	86,0	86,4	86,7	87,0	87,3
DH_LOW	86,3	90,9	91,0	93,3	92,3	90,6	89,7	87,8	87,0	87,3	87,7	88,0	88,3	88,7
NEEAP	86,3	90,9	91,2	98,0	104,3	103,0	102,2	100,9	100,2	100,1	100,5	100,6	100,7	100,6
NMAB_CITY_DH (ToR 1)	86,3	90,4	90,6	97,2	98,1	96,5	95,5	93,8	92,9	92,7	93,1	93,1	93,1	93,0
NMAB_CITY_LOCAL (ToR 3)	86,3	90,9	91,2	98,0	103,7	102,7	101,8	100,4	99,7	99,6	100,0	100,0	100,1	100,1
NMAB_CITY_LOCAL_HP (ToR 3)	86,3	90,9	91,2	98,0	104,2	103,0	102,1	100,8	100,1	100,0	100,3	100,4	100,5	100,5
NMAB_LOCAL	86,3	90,9	91,2	98,1	103,5	102,1	101,3	100,2	99,5	99,3	99,7	99,8	99,8	99,8
NMAB_LOCAL_HP	86,3	90,9	91,2	98,0	103,9	102,3	101,4	100,1	99,3	99,2	99,6	99,7	99,7	99,7
NMAB_RURAL_LOCAL (ToR 3)	86,3	90,9	91,2	98,1	103,6	102,3	101,4	99,8	99,0	98,9	99,3	99,4	99,4	99,4
NMAB_RURAL_LOCAL_HP (ToR 3)	86,3	90,9	91,2	98,0	103,9	102,9	102,0	100,7	100,0	99,9	100,3	100,4	100,4	100,4
OMAB_CITY_DH (ToR 2)	86,3	90,4	90,6	97,2	97,0	95,6	94,8	93,5	92,9	92,7	93,1	93,1	93,1	93,0
OMAB_CITY_LOCAL (ToR 4)	86,3	90,9	91,2	98,0	101,8	100,5	99,7	98,0	97,4	97,2	97,6	97,7	97,8	97,8
OMAB_LOCAL	86,3	91,0	91,7	98,9	97,9	96,7	96,2	95,2	94,8	94,7	95,2	95,2	95,3	95,2
OMAB_RURAL_LOCAL (ToR 4)	86,3	91,0	91,7	98,9	99,6	98,5	97,9	96,7	96,6	96,4	96,9	97,0	97,1	97,1
SFD_CITY_LOCAL	86,3	90,9	91,2	98,0	103,9	102,9	102,0	100,7	100,0	99,9	100,3	100,4	100,5	100,5
SFD_LOCAL (ToR 5)	86,3	91,0	91,7	98,9	99,7	98,5	97,6	96,4	96,0	95,8	96,3	96,3	96,4	96,3
SFD_LOCAL_HP (ToR 5)	86,3	90,9	91,2	98,0	102,4	101,1	100,3	99,2	98,5	98,4	98,8	98,9	99,0	98,9
SFD_RURAL_LOCAL	86,3	91,0	91,7	98,9	99,3	98,2	97,6	96,1	95,7	95,5	96,0	96,0	96,1	96,0
SFD_RURAL_LOCAL_HP	86,3	90,9	91,2	98,0	102,6	101,2	100,4	99,3	98,6	98,5	98,9	99,0	99,1	99,0



Таблица А - 3 Сравнение показателей выбросов NO_x в различных сценариях моделирования

[тыс. т NO _x]	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
ALL_HIGH	263,7	274,2	278,9	275,0	292,1	294,1	297,4	297,2	300,4	300,5	304,0	305,7	306,1	307,6
ALL_LOCAL	263,7	277,4	282,3	282,6	289,2	291,8	293,8	295,4	297,4	299,1	301,2	303,2	305,1	307,1
ALL_LOCAL_HP	263,7	277,4	282,3	282,6	285,4	288,1	290,0	291,6	293,6	295,4	297,5	299,6	301,6	303,7
ALL_LOW	263,7	274,2	278,9	275,0	289,9	292,1	294,0	295,6	297,7	299,2	301,4	303,2	305,4	307,3
ALL_LOW_HP	263,7	274,1	278,9	275,0	286,2	288,7	290,7	292,8	294,8	296,5	298,7	300,6	302,2	304,1
DH_LOW	263,7	274,1	278,9	275,0	280,8	283,6	285,7	287,5	290,3	292,1	293,6	295,8	298,6	300,8
NEEAP	263,7	277,4	282,3	282,5	279,3	282,1	284,1	286,0	288,0	290,1	292,4	294,6	296,9	299,4
NMAB_CITY_DH (ToR 1)	263,7	277,3	282,2	282,3	280,2	283,1	285,1	287,0	289,1	291,1	293,4	295,6	297,8	300,1
NMAB_CITY_LOCAL (ToR 3)	263,7	277,4	282,3	282,5	279,3	282,2	284,2	286,1	288,2	290,2	292,5	294,8	297,1	299,5
NMAB_CITY_LOCAL_HP (ToR 3)	263,7	277,4	282,3	282,5	279,3	282,1	284,1	286,0	288,1	290,1	292,4	294,7	297,0	299,4
NMAB_LOCAL	263,7	277,4	282,3	282,5	279,7	282,6	284,6	286,6	288,7	290,7	293,0	295,3	297,6	300,0
NMAB_LOCAL_HP	263,7	277,4	282,3	282,5	279,3	282,1	284,1	286,0	288,1	290,1	292,4	294,7	297,0	299,4
NMAB_RURAL_LOCAL (ToR 3)	263,7	277,4	282,3	282,5	279,6	282,5	284,5	286,3	288,4	290,5	292,8	295,1	297,4	299,8
NMAB_RURAL_LOCAL_HP (ToR 3)	263,7	277,4	282,3	282,5	279,3	282,2	284,2	286,1	288,1	290,2	292,5	294,8	297,1	299,5
OMAB_CITY_DH (ToR 2)	263,7	277,3	282,2	282,3	280,4	283,2	285,2	287,1	289,2	291,1	293,4	295,6	297,8	300,1
OMAB_CITY_LOCAL (ToR 4)	263,7	277,4	282,3	282,5	280,7	283,5	285,5	287,3	289,4	291,4	293,6	295,9	298,1	300,5
OMAB_LOCAL	263,7	277,4	282,3	282,6	284,2	286,9	288,8	290,6	292,6	294,4	296,6	298,7	300,8	303,0
OMAB_RURAL_LOCAL (ToR 4)	263,7	277,4	282,3	282,6	282,8	285,5	287,5	289,2	291,3	293,2	295,4	297,5	299,6	301,9
SFD_CITY_LOCAL	263,7	277,4	282,3	282,5	279,4	282,3	284,2	286,1	288,2	290,2	292,5	294,8	297,1	299,5
SFD_LOCAL (ToR 5)	263,7	277,4	282,3	282,6	283,1	285,8	287,7	289,4	291,5	293,4	295,6	297,8	300,0	302,2
SFD_LOCAL_HP (ToR 5)	263,7	277,4	282,3	282,5	279,7	282,6	284,6	286,5	288,6	290,6	292,9	295,1	297,4	299,7
SFD_RURAL_LOCAL	263,7	277,4	282,3	282,6	283,4	286,1	288,1	289,8	291,8	293,7	295,9	298,1	300,2	302,4
SFD_RURAL_LOCAL_HP	263,7	277,4	282,3	282,5	280,0	282,8	284,8	286,7	288,8	290,8	293,1	295,3	297,6	299,9



Таблица А - 4 Сравнение показателей выбросов ЛОС (Летучие органические соединения) в различных сценариях моделирования

[тыс. т ЛОС]	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
ALL_HIGH	124,3	127,7	129,9	133,7	127,0	129,6	131,7	133,8	136,0	138,3	140,8	143,2	145,6	148,2
ALL_LOCAL	124,3	127,8	130,0	134,0	127,5	130,1	132,2	134,3	136,5	138,8	141,2	143,7	146,2	148,7
ALL_LOCAL_HP	124,2	127,7	129,9	133,9	131,4	133,8	135,8	137,8	139,8	142,2	144,6	147,0	149,5	152,0
ALL_LOW	124,3	127,7	129,9	133,7	127,5	130,1	132,2	134,3	136,4	138,8	141,2	143,7	146,1	148,7
ALL_LOW_HP	124,2	127,7	129,9	133,6	131,3	133,7	135,7	137,7	139,7	142,1	144,5	146,9	149,4	151,9
DH_LOW	124,2	127,6	129,5	133,0	136,2	138,5	140,2	142,0	143,9	146,2	148,5	150,9	153,3	155,8
NEEAP	124,2	127,6	129,5	133,2	136,4	138,6	140,4	142,2	144,1	146,4	148,7	151,1	153,5	155,9
NMAB_CITY_DH (ToR 1)	124,2	127,6	129,5	133,3	136,3	138,6	140,3	142,1	144,0	146,2	148,6	151,0	153,4	155,8
NMAB_CITY_LOCAL (ToR 3)	124,2	127,6	129,5	133,2	136,3	138,5	140,3	142,1	143,9	146,2	148,6	150,9	153,3	155,8
NMAB_CITY_LOCAL_HP (ToR 3)	124,2	127,6	129,5	133,2	136,4	138,6	140,4	142,2	144,1	146,3	148,7	151,1	153,5	155,9
NMAB_LOCAL	124,2	127,6	129,5	133,3	136,0	138,2	140,0	141,8	143,6	145,8	148,2	150,5	152,9	155,4
NMAB_LOCAL_HP	124,2	127,6	129,5	133,2	136,4	138,7	140,4	142,2	144,1	146,4	148,7	151,1	153,5	156,0
NMAB_RURAL_LOCAL (ToR 3)	124,2	127,6	129,5	133,3	136,0	138,2	140,0	141,8	143,6	145,9	148,2	150,5	152,9	155,4
NMAB_RURAL_LOCAL_HP (ToR 3)	124,2	127,6	129,5	133,2	136,4	138,6	140,4	142,2	144,1	146,3	148,7	151,1	153,5	155,9
OMAB_CITY_DH (ToR 2)	124,2	127,6	129,5	133,3	136,3	138,6	140,3	142,1	144,0	146,2	148,6	151,0	153,4	155,8
OMAB_CITY_LOCAL (ToR 4)	124,2	127,6	129,5	133,2	135,3	137,6	139,4	141,2	143,1	145,4	147,7	150,1	152,5	155,0
OMAB_LOCAL	124,2	127,7	129,9	133,9	131,7	134,1	136,1	138,1	140,1	142,5	144,9	147,3	149,8	152,4
OMAB_RURAL_LOCAL (ToR 4)	124,2	127,7	129,9	133,9	132,7	135,1	137,1	139,1	141,1	143,5	145,9	148,3	150,8	153,3
SFD_CITY_LOCAL	124,2	127,6	129,5	133,2	136,4	138,6	140,4	142,2	144,1	146,3	148,7	151,1	153,5	155,9
SFD_LOCAL (ToR 5)	124,2	127,7	129,9	133,9	132,2	134,7	136,6	138,6	140,6	143,0	145,3	147,8	150,2	152,8
SFD_LOCAL_HP (ToR 5)	124,2	127,6	129,5	133,2	136,3	138,6	140,4	142,2	144,0	146,3	148,6	151,0	153,4	155,9
SFD_RURAL_LOCAL	124,2	127,7	129,9	133,9	131,9	134,4	136,3	138,3	140,4	142,7	145,1	147,5	150,0	152,5
SFD_RURAL_LOCAL_HP	124,2	127,6	129,5	133,2	136,3	138,6	140,4	142,2	144,0	146,3	148,6	151,0	153,4	155,9



Таблица А - 5 Сравнение показателей выбросов CO в различных сценариях моделирования

[тыс. т CO]	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
ALL_HIGH	732,2	746,7	757,2	778,0	700,3	717,3	731,6	745,9	760,7	777,7	795,3	813,0	830,7	849,0
ALL_LOCAL	732,2	745,5	756,0	779,7	715,5	731,8	746,1	760,0	774,9	791,6	809,2	826,7	844,3	862,1
ALL_LOCAL_HP	731,7	745,0	755,5	779,2	750,1	765,3	778,4	791,5	805,1	821,9	839,4	856,9	874,5	892,3
ALL_LOW	732,2	746,7	757,2	778,0	714,5	730,9	745,1	758,8	773,5	790,6	808,1	825,7	843,5	861,6
ALL_LOW_HP	731,7	746,2	756,7	777,5	747,4	762,6	775,5	788,1	801,6	818,6	836,1	853,7	871,4	889,5
DH_LOW	731,7	745,4	753,4	771,8	790,6	804,1	815,5	826,5	838,4	854,9	871,7	888,8	906,0	923,5
NEEAP	731,7	744,2	752,3	773,5	796,2	810,0	821,4	832,8	844,8	861,1	878,0	894,9	912,0	929,3
NMAB_CITY_DH (ToR 1)	731,7	744,7	752,8	774,3	793,5	807,0	818,4	829,5	841,4	857,6	874,5	891,3	908,3	925,5
NMAB_CITY_LOCAL (ToR 3)	731,7	744,2	752,3	773,5	795,6	809,0	820,3	831,7	843,6	859,9	876,7	893,6	910,6	927,8
NMAB_CITY_LOCAL_HP (ToR 3)	731,7	744,2	752,3	773,5	796,1	809,9	821,3	832,7	844,7	861,0	877,9	894,8	911,8	929,2
NMAB_LOCAL	731,7	744,2	752,5	774,0	792,7	806,3	817,5	828,5	840,3	856,4	873,1	889,8	906,7	923,8
NMAB_LOCAL_HP	731,7	744,2	752,3	773,5	796,2	810,3	821,7	833,1	845,0	861,4	878,2	895,1	912,1	929,4
NMAB_RURAL_LOCAL (ToR 3)	731,7	744,2	752,5	774,0	792,8	806,4	817,6	829,2	841,0	857,1	873,8	890,5	907,3	924,4
NMAB_RURAL_LOCAL_HP (ToR 3)	731,7	744,2	752,3	773,5	796,3	809,8	821,2	832,6	844,6	860,9	877,8	894,7	911,7	929,1
OMAB_CITY_DH (ToR 2)	731,7	744,7	752,8	774,3	793,2	806,9	818,3	829,3	841,3	857,6	874,5	891,3	908,3	925,5
OMAB_CITY_LOCAL (ToR 4)	731,7	744,2	752,3	773,5	786,7	800,5	812,0	823,8	835,9	852,2	869,1	886,1	903,2	920,5
OMAB_LOCAL	731,7	744,9	755,3	778,7	753,9	769,3	782,4	795,1	808,7	825,6	843,2	860,8	878,4	896,4
OMAB_RURAL_LOCAL (ToR 4)	731,7	744,9	755,3	778,7	763,3	778,7	791,7	804,7	817,9	834,8	852,3	869,9	887,5	905,4
SFD_CITY_LOCAL	731,7	744,2	752,3	773,5	796,3	809,9	821,3	832,7	844,6	861,0	877,9	894,8	911,8	929,2
SFD_LOCAL (ToR 5)	731,7	744,9	755,3	778,7	759,1	774,3	787,5	800,3	813,8	830,5	847,9	865,2	882,7	900,4
SFD_LOCAL_HP (ToR 5)	731,7	744,2	752,3	773,5	795,2	809,0	820,4	831,5	843,4	859,8	876,7	893,6	910,6	928,0
SFD_RURAL_LOCAL	731,7	744,9	755,3	778,7	756,4	771,7	784,7	797,9	811,4	828,1	845,4	862,7	880,2	897,9
SFD_RURAL_LOCAL_HP	731,7	744,2	752,3	773,5	795,2	809,0	820,4	831,5	843,5	859,8	876,7	893,6	910,7	928,0



Приложение Б Влияние профилей нагрузки на различные источники электроэнергии

В рамках профиля нагрузки отдельные типы электростанций распределены в соответствии с порядком ранжирования, показанным в следующей таблице.

Таблица Б - 1 Порядок ранжирования отдельных электростанций

Тип электростанции	Порядок ранжирования
Гидроэлектростанция	1
ТБО Минск	1
Возобновляемые источники новых ТЭЦ, работающих на биомассе	1
Возобновляемые источники новых ветроэлектростанций	1
Новые ветроэлектростанции - гос.модуль энергообеспечения (StatePgm)	1
Фотоэлектрические станции	1
Ветроэлектростанция	1
Возобновляемые источники новых фотоэлектрических станций	2
Новые фотоэлектрические станции гос.модуль энергообеспечения (StatePgm)	2
АЭС	3
Автопроизводитель - ТЭС и ТЭЦ	4
КЭС	4
Муниципальная ТЭЦ	4

Порядок ранжирования показывает способность электростанции покрывать пиковые нагрузки³⁵. Значение 1 означает, что электростанция подходит для базовой нагрузки. Чем выше значение порядка ранжирования, тем больше электростанция подходит для пикового режима.

Энерговыработка на малых гидроэлектростанциях, ветряных электростанциях и фотоэлектрических станциях не может легко регулироваться, поэтому для них определена базовая нагрузка (значение 1 в порядке ранжирования). Минская электростанция, работающая на отходах, функционирует в течение всего года, поэтому ей также присвоено значение 1 в порядке ранжирования.

Поскольку целью является максимальное использование возобновляемой энергии, значение 2 в порядке присвоено ТЭЦ, работающей на биомассе. Такие ТЭЦ также могут рассматриваться для более высокого значения в порядке ранжирования и участвовать в покрытии пиковой нагрузки, но это уменьшит ежегодное использование их установленной мощности.

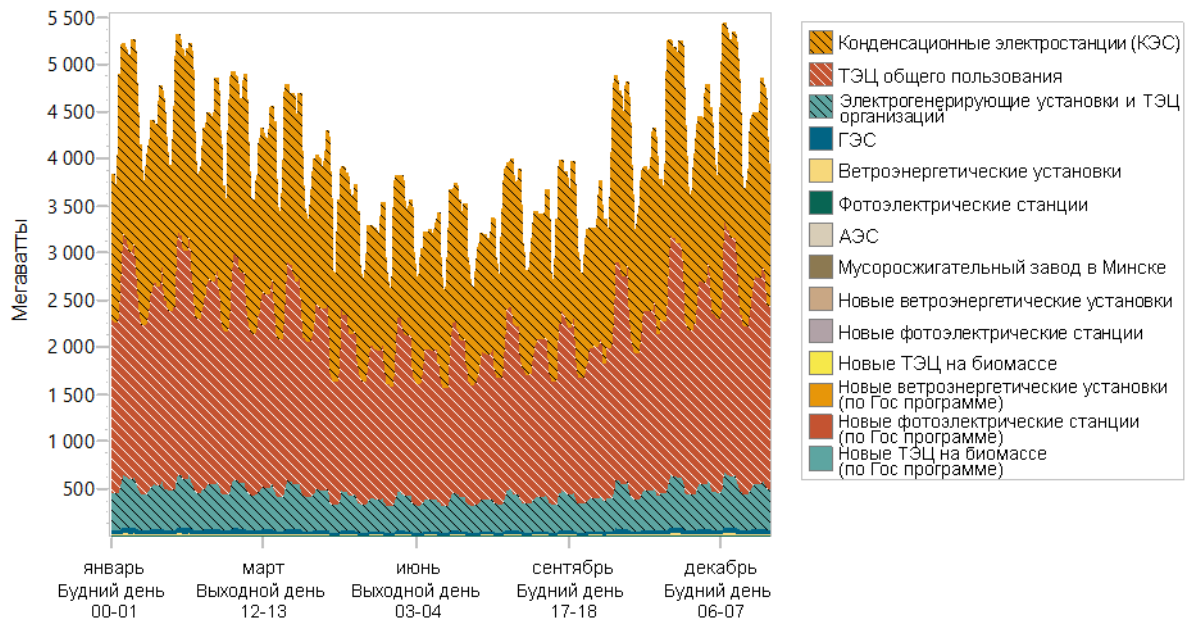
Значение 3 было присвоено атомной электростанции. АЭС имеют ограниченную способность покрывать пиковые нагрузки. Частые изменения нагрузки АЭС неэкономичны - высокие инвестиционные затраты и низкие затраты на топливо определяют АЭС для базовой нагрузки. Кроме того, частые изменения нагрузки сокращают срок эксплуатации ядерных топливных элементов и самой электростанции.

³⁵ Финансовые аспекты не были рассмотрены при моделировании в рамках этого исследования. Для этого может потребоваться намного больше экономических данных по всем технологиям, ценам на топливо, тарифам и т. д. по сравнению с существующими. Порядок ранжирования является упрощенным способом отражения предпочтений участия смоделированных электростанций в регулировании мощностей. Результаты ДСПЭА должны учитываться индикативно, касательно моделирования графиков нагрузки. Необходимы специализированные вероятностные модели для оценки ВПН (вероятности потери нагрузки), частоты и длительности остановов и т. д.



Электростанциями, наиболее подходящими для пикового режима в Белорусской энергосистеме, являются конденсационные электростанции и ТЭЦ - им присвоено значение 4. В то время как одновременный теплоподвод ограничивает пиковые мощности ТЭЦ, конденсационные электростанции имеют только технологические ограничения.

Рисунок Б - 1 Распределение средней мощности – сценарий NEEAP, 2017 год



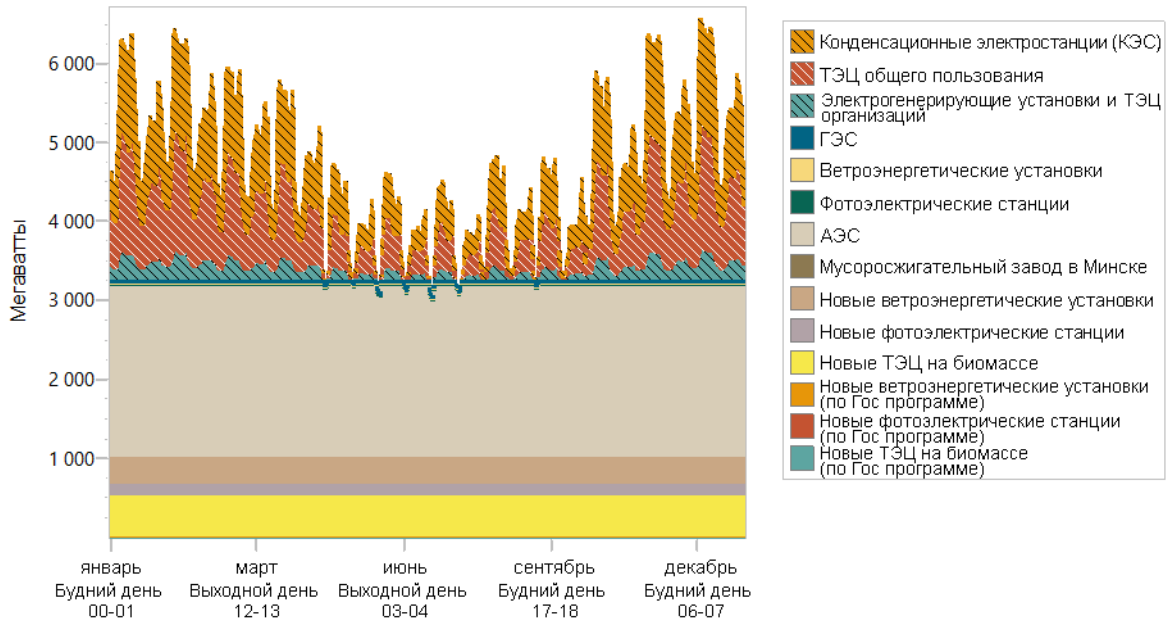
На предыдущем рисунке показана средняя мощность, распределяемая по сценарию NEEAP в 2017 году. Из рисунка видно, что существует только три основных типа электростанций, которые в равной степени покрывают переменные нагрузки в течение года.

На следующем рисунке показан тот же график, но для 2030 года. Ситуация принципиально иная. Существует огромная базовая нагрузка (АЭС, ТЭЦ, работающих на биомассе, гидроэлектростанции, фотоэлектрические станции, ветряные электростанции), и колебания нагрузки покрываются только конденсационными электростанциями и ТЭЦ. Летом есть несколько периодов, когда АЭС также должна участвовать в регулировании нагрузки³⁶. Эти короткие периоды также могут быть покрыты за счет снижения выработки на ТЭЦ, работающих на биомассе. Чем ниже потребление электроэнергии, тем выше доля колебаний нагрузки, которые должны покрываться электростанциями, обслуживающими базисную нагрузку.

³⁶ Ввиду высоких инвестиционных затрат и низких затрат на топливо, АЭС являются наиболее приемлемыми для базовой нагрузки. Возможности регулирования существующих АЭС лучше, чем те, что были ранее. Однако частые изменения нагрузки по-прежнему сокращают срок службы корпуса реактора и топливных элементов, поэтому, их лучше избегать. Производитель реакторов определяет максимальные показатели различных видов изменения нагрузки (амплитуда, скорость) в течение срока службы станции. Это не означает, что АЭС не должны принимать участие в регулировании нагрузки.

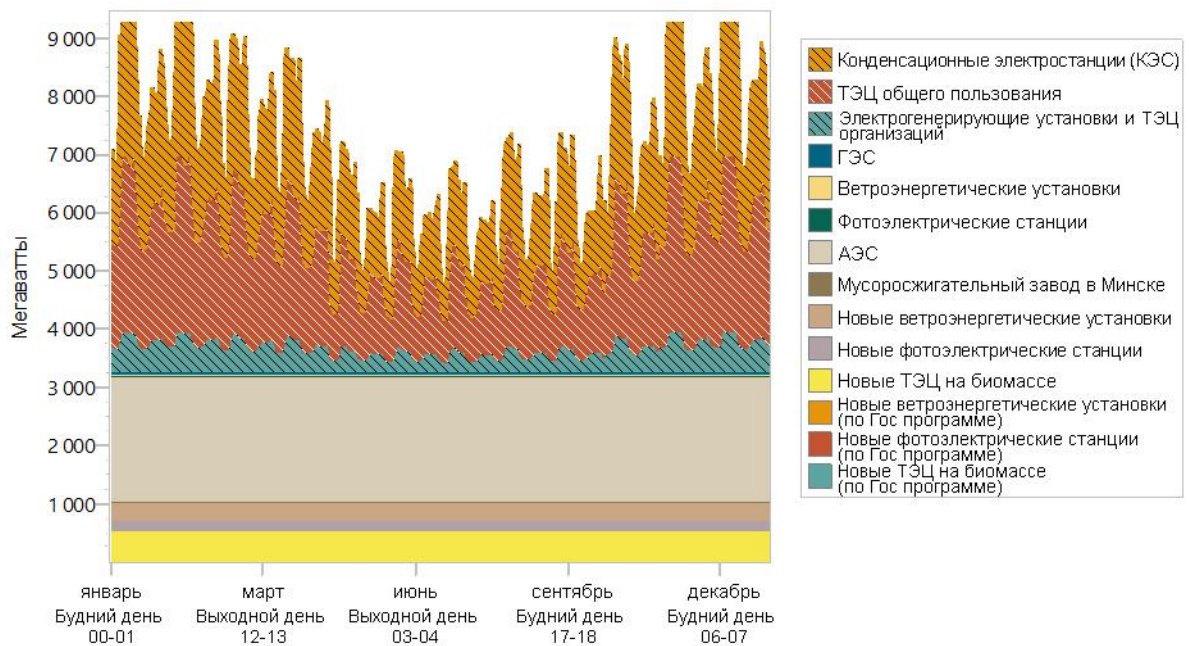


Рисунок Б - 2 Распределение средней мощности – NEEAP сценарий, 2030 год



На третьем рисунке снова показан тот же график, но для сценария DH_HIGH в 2030 году. Выработка электроэнергии намного выше, чем по предыдущему сценарию. Можно сделать вывод, что весь рост выработки электроэнергии покрывается конденсационными электростанциями и ТЭС.

Рисунок Б - 3 Распределение средней мощности – сценарий DH_HIGH, 2030 год





Ключевые идеи данных трех рисунков состоят в следующем:

- Необходимо сохранить установленные мощности конденсационных электростанций и ТЭЦ для поддержания регулирующих мощностей энергосистемы.
- Изменения в потреблении электроэнергии покрываются в основном за счет конденсационных электростанций и ТЭЦ.
- В случае очень низкого потребления электроэнергии электростанции с базовой нагрузкой также должны участвовать в регулировании нагрузки.

Эти ключевые идеи объясняют некоторые, по-видимому, неожиданные результаты моделирования, а именно:

- Несмотря на ввод в эксплуатацию новой атомной электростанции, электростанции, работающие на ископаемом топливе, покрывают любое увеличение потребления электроэнергии.
- Тесная связь между выработкой электроэнергии и тепла на ТЭЦ приводит к следующим эффектам:
 - Увеличение потребления электроэнергии приведет к увеличению производства электроэнергии и тепла на ТЭЦ. Следовательно, отопительные котельные будут производить меньше тепла, чтобы сбалансировать избыток тепла от ТЭЦ.
 - И наоборот. Если потребление тепла изменится, это также повлияет на выработку электроэнергии на ТЭЦ. Остальные электростанции уравновесят это изменение.

Приложение В Учебные примеры

1. ТЭЦ - МИНСК (БЕЛАРУСЬ)

ТЭЦ 3 в Минске подает тепло и электроэнергию в систему ЦТ и в электросети. Существующие газовые котлы недавно (2019 г.) были заменены на два электродных котла мощностью 50 МВтэ производства норвежской компании Parat Halvorsen as. Новые котлы будут использовать избыточную электроэнергию из сети, кроме того, будут использоваться для регулирования сети. Будут также снижены местные выбросы. (<https://www.parat.no/en/news/parat-to-deliver-two-huge-50mw-electrode-boilers-to-minskenergo-in-belarus/>)



ТЭЦ 3 - Минск (источник: Минскэнерго)

Инвестор	Минскэнерго – ТЭЦ 3 (Минск)
Мощность	2 x 50 МВтэ
Производитель/поставщик	Parat Halvorsen
Новая технология	Электродные котлы
Параметры	10.5 кВ/160°C
Инвестиционная стоимость	Неизвестно
Год	2019
Существующее топливо	Газ
Новое топливо	Электроэнергия

Ниже представлена схема нового котла и монтаж системы отопления.

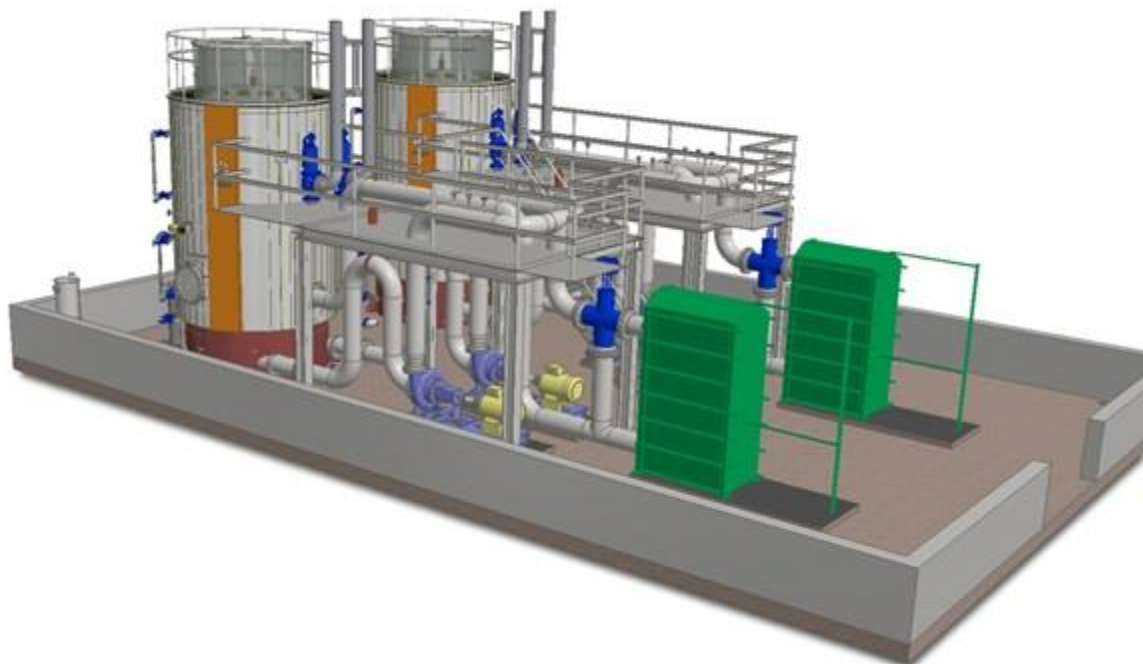


Схема электродных котлов и монтаж системы отопления (Источник: Parat Halvorsen)

2. СИСТЕМА ЦТ – РОГАЧЕВСКАЯ (БЕЛАРУСЬ)

Новые электрические котлы (4x 10 МВтэ) вместе с баком ежедневного хранения горячей воды (6,000 м³) были установлены в котельной системы ЦТ Рогачевская в Беларуси. Они заменили газовые котлы для воздушного отопления и горячего водоснабжения для бытовых нужд, а существующие газовые котлы были оставлены в качестве резервных. Основная цель состоит в использовании избыточной электроэнергии от сети во время низкого спроса и обеспечении регулирования сети. Инвестиционная стоимость составляет 7 млн. евро, а ожидаемый период окупаемости около пяти лет.

Инвестор	Котельная Рогачевская (Беларусь)
Мощность	40 МВтэ
Производитель/поставщик	КЭВ 10000/1
Новая технология	Электрические котлы
Параметры	4 x 10 МВтэ
Инвестиционная стоимость	7 000 000 евро
Мероприятия	Электрический котел для подачи тепла от системы ЦТ (4 x 10 МВтэ) Бак-аккумулятор - 6 000 м ³
Год	2017
Старое топливо	Газ
Новое топливо	Электроэнергия с резервным газом
Простой период окупаемости	5 лет
Цель	Регулирование и балансирование электросети

Источник: Установка электродных котлов на Рогачевской котельной по адресу г. Рогачев, ул. Белинского, 21 – предпроектная документация - ГПО БЕЛЭНЕРГО, Минск 2017

3. МНОГОКВАРТИРНОЕ ЗДАНИЕ (БЕЛАРУСЬ)

Электрические котлы используются для воздушного отопления (2х 105 кВтэ) и горячего водоснабжения для бытовых нужд (54 кВтэ) в недавно построенное (2019 г.) многоквартирное здание площадью 3,687 м² с 60 квартирами в Гомельской области Беларуси. Существует также бак ежедневного хранения горячей воды для использования избыточной электроэнергии от сети в ночное время, а также на радиаторах в квартиры были установлены термостатические клапаны для улучшения контроля отопления и энергоэффективности.

Инвестор	Гомельская область
Мощность	2 х 105 кВтэ (отопление)+ 54 кВтэ (горячая вода для бытовых нужд)
Производитель/поставщик	КЭВ 10000/1
Новая технология	Электрические котлы с принудительной циркуляцией
Инвестиционная стоимость	Неизвестно
Мероприятия	Электрические котлы в основной котельной Ежедневный бак-аккумулятор Термостатические клапаны на радиаторах
Год	2019
Новое топливо	Электроэнергия

Источник: www.mas.gov.by

4. МНОГОКВАРТИРНОЕ ЗДАНИЕ (СЛОВАКИЯ)

Это многоквартирное здание площадью 1845 м², имеющее общую стену с 18 квартирами было построено в 1993 году с использованием крупнопанельных конструкций без теплоизоляции, с простыми однокамерными стеклопакетами и деревянными рамами, а также крышей с двойным наружным покрытием. Подача тепла осуществляется от местной системы ЦТ. В 2014 году в рамках программы тепловой реабилитации была улучшена изоляция крыши и стен, заменены окна с современным дизайном и были установлены элементы регулирования нагрева. Это дало возможность поменять источник тепла на сочетание тепловых насосов (2 х 15.7 кВт), электрического резистивного котла мощностью 14 кВт и баков-аккумуляторов горячей воды (2х 1000л). Благодаря таким мероприятиям была достигнута значительная экономия энергии и затрат. Инвестиционная стоимость составила 215,000 евро.



Инвестор	Область Кошице (Словакия)
Мощность	2 x WPL 23 E
Производитель/поставщик	Stiebel Eltron
Параметры	2 x 15.7 кВт (тепловые насосы) + электрический котел 14 кВт (бивалентная система)
Мероприятия	Тепловые насосы, электрический котел и бак-аккумулятор; тепловая изоляция здания. Новые окна и регулирование нагрева
Инвестиционная стоимость	215 000 евро
Год	2014
Старое топливо	Тепло от системы ЦТ
Новое топливо	Электроэнергия
Простой период окупаемости	17.5 лет
Экономия энергии	72% от первоначального уровня

Источник: Энергоаудит. ЭА C2S0002448 от Проекта MunSEFF (ЕБРР)

5. ТЭЦ ЧЕРВЕНЫ МЛЫН (Červený mlýn) – (ЧЕШСКАЯ РЕСПУБЛИКА)

В 2018 году ТЭЦ в городе Червены Млын была переведена со старого резервуара мазута на бак ежедневного хранения горячей воды мощностью 350 МВтчас. Бак-аккумулятор был также оборудован электрическим котлом мощностью 20 МВт для работы в сочетании с существующими котлами, работающими на природном газе и древесной щепе. Такой котел использует электроэнергию с сети от возобновляемых источников энергии, когда цена низкая, и он также используется для регулирования сети, что является платной услугой. Время эксплуатации и КПД регулирования сети улучшились благодаря использованию бака-аккумулятора. Инвестиционная стоимость составила 2.5 млн. евро с ожидаемым периодом окупаемости семь лет.



Источник: www.teplarny.cz

Инвестор	Teplárny Брно (Чешская Республика)
Мощность	20 MWe
Производитель/поставщик	Parat Halvorsen
Новая технология	Электрические котлы
Параметры	10.5 кВ/160°C
Инвестиционная стоимость	2 500 000 евро
Мероприятия	Электрический котел; ежедневный бак-аккумулятор
Год	2018
Старое топливо	Смесь (природный газ, древесная щепа)
Новое топливо	Смесь (природный газ, древесная щепа и электроэнергия)
Простой период окупаемости	7 лет
Экономия энергии (в год)/причина	Регулирование электросети (баланс)

6. МНОГOKBAPТИРНОЕ ЗДАНИЕ – ЧЕШСКАЯ РЕСПУБЛИКА

Это многоквартирное здание было построено с использованием бетонных панелей в конце 1970-х годов и, следовательно, имело плохие уровни изоляции. В здании четыре этажа с 26 квартирами, а общая площадь составляет 1664 м². Программа реконструкции, которая была проведена в 2018 году, включала улучшение тепловой изоляции ограждающей конструкции и установку термостатических клапанов в системе отопления. Это позволило установить тепловые насосы и баки-аккумуляторы для дополнения тепла из системы ЦТ (бивалентная система). Основную целью изменения было снижение стоимости поставленного тепла.

Тепловой насос и баки - аккумуляторы



Источник: <https://www.jcted.cz>

Инвестор	Tábor city (Чешская Республика)
Производитель/поставщик	Acond
Мощность	35 кВт (тепловой насос)
Мероприятия	Тепловой насос; баки-аккумуляторы
Инвестиционная стоимость	52 000 евро
Год	2018
Старое топливо	Тепло от системы ЦТ
Новое топливо	Электроэнергия; тепло от системы ЦТ
Простой период окупаемости	6 лет