МИНИСТЕРСТВО ЭКОЛОГИИ, ГЕОЛОГИИ И ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Акционерное общество «Жасыл даму»

Обновление инструментов моделирования, тестовые расчеты с анализом чувствительности ключевых параметров, определение параметров и анализ прогнозных выбросов парниковых газов в базовом сценарии

г. Нур-Султан, 2022 год

Лист согласования

Обновление инструментов моделирования, тестовые расчеты с анализом чувствительности ключевых параметров, определение параметров и анализ прогнозных выбросов парниковых газов в базовом сценарии

№	ФИО	Должность	Подпись
1	Кабдолданов Нуржан Кенесбаевич	Заместитель Председателя Правления АО «Жасыл даму»	
2	Насирхан Рустам	Директор департамента моделирования, анализа и прогнозирования АО «Жасыл даму»	
3	Бакдолотов Айдын Айсултанович	Менеджер департамента моделирования, анализа и прогнозирования АО «Жасыл даму»	
4	Карибаева Мадина Кажимеровна	Менеджер департамента моделирования, анализа и прогнозирования АО «Жасыл даму»	
5	Сайлауова Назым Алматкызы	Менеджер департамента моделирования, анализа и прогнозирования АО «Жасыл даму»	

Содержание

Введение 5

1 Введение в TIMES модель 6

1.1 TIMES модель энергетической системы 7

1.2 Входные данные и источники данных для моделирования 9

1.3 Методология 12

1.4Результаты моделирования TIMES 44

2 SD модель системной динамики 60

2.1 Описание модели 60

2.2 Состояние жилищного фонда в Казахстане 61

2.3Входные данные и источники данных для моделирования 66

2.4 Методология 74

2.5 Результаты моделирования системной динамики 102

3 Угольный сектор 119

3.1 Анализ угольного сектора Казахстана 119

3.2 Структурное описание модели 127

3.3 Описание результатов 136

3.4 Описание результатов Чистого нуля для угольного сектора 161

Заключение 181

Список использованной литературы 183

Ключевые сокращения

AGR	Сектор сельского хозяйства
CHP	ТЭЦ
EE	Энергоэффективность
GDP	ВВП
GDPC	ВВП на душу населения
GHG	Парниковые газы (ПГ)
HDV	Тяжелые грузовики
LDV	Легкие грузовики
IND	Промышленность
ktoe	тысячи тонн нефтяного эквивалента
PHYSPROD	Физическое производство
PP	Электростанции
PV	СЭС/фотовольтаика
RES1	Возобновляемые источники энергии (ВИЭ)
RSD	Сектор населения
SUP	Сектор поставок
TER	Третичный сектор/сфера услуг
TRA	Транспорт
USD	Доллар США
VI	Объемный индекс
ЖКХ	Жилищно-коммунальное хозяйство

Введение

Модель KAZ LEDS — это индивидуально разработанная системно-динамическая модель для содействия созданию Стратегии развития Казахстана с низким уровнем выбросов (LEDS). Модель адаптирована к контексту Казахстана через процесс, который начался с создания отраслевых диаграмм причинно-следственных связей (CLD) и продолжился настройкой модели запасов и потоков. Они основывались на данных и информации от местных заинтересованных сторон.

Население и ВВП — это два основных фактора в модели KAZ LEDS, они используются в качестве экзогенных входных данных модели. Это означает, что эффективность различных отраслевых моделей напрямую не влияет ни на численность населения, ни на ВВП. С другой стороны, результаты СД модели используются вычислимой моделью общего равновесия (ВОР), которая рассчитывает ВВП эндогенно. Исторические данные по обоим показателям были получены из Бюро статистики РК; прогноз численности населения был получен из "Мировых демографических перспектив ООН", прогноз ВВП был получен из модели ВОР.

1 Введение в модель TIMES

Моделирование энергетической системы с помощью генератора моделей TIMES в Казахстане началось с 2009 года в Назарбаев Университете. На протяжении многих лет модель энергетической системы развивалась в большинстве случаев в исследовательских целях для подготовки научных публикаций и для подготовки материалов для различных проектов как Национальные сообщения и двухгодичные доклады, подаваемые в РКИК ООН (В рамках проектов Программы развития ООН в Казахстане), для расчета цели ОНУВ в 2015 году, которая также была подана в РКИК ООН и для международных организации, заинтересованных в проекциях выбросов ПГ (например, Программа Всемирного банка PMR (Partnership for Market Readiness – Партнерство по готовности рынка) и многие другие.

В рамках проекта «Поддержка зеленой экономики в Казахстане и Центральной Азии для низкоуглеродного экономического развития - Моделирование экономических, экологических и социальных последствий низкоуглеродного экономического развития в Казахстане» для Казахстана была разработана новая модель TIMES с целью анализа альтернативных вариантов развития энергетического сектора страны при различных сценариях на временном горизонте до 2060 года и в рамках поддержки подготовки стратегии низкоуглеродного экономического развития.

1.3 TIMES модель энергетической системы

1.3.1 Описание модели

Общие положения

TIMES (аббревиатура от Integrated MARKAL-EFOM System) — это генератор моделей энергетических систем, которые могут формироваться на местном, национальном или мультирегиональном уровне.

Подробное описание генератора моделей TIMES можно найти в документации к модели, которые доступны на веб-сайте программы сотрудничества IEA-ETSAP Technology Collaboration Program, что разрабатывала модель в течение последних тридцати лет. Данная программа сотрудничества осуществляется Международным энергетическим агентством (МЭА). Описание генератора моделей TIMES на сайте содержит подробную математическую формулировку всех уравнений, используемых при генерации моделей, а также взаимодействие кодов, которые написаны на различных языках программирования.

Модель TIMES используется для исследования возможных вариантов будущего развития энергетической системы на основе различных сценариев. Сценарии состоит из набора различных предположений о будущих траекториях движущих сил развития энергетических секторов, поэтому разработчик сценариев должен тщательно проверять сделанные предположения на внутреннюю согласованность с помощью достоверности траектории развития предыдущих периодов.

Модель TIMES может включать несколько тысяч технологий во всех секторах энергетической системы (добыча энергоресурсов, из подготовка, экспорт и импорт, преобразование, переработка, транспортировка, распределение и

конечное использование). Количество технологий и их относительная топология могут быть изменены посредством спецификации ввода данных, без необходимости пользователю изменять уравнения модели.

TIMES вычисляет частичное равновесие на энергетических рынках. Это означает, что модель вычисляет как потоки энергии и материалов, так и их цены, таким образом, что поставщики энергии производят именно то количество, которое потребители готовы потребить. Эта функция равновесия присутствует на всех этапах энергетической системы: на уровне поставки первичной энергии, преобразования во вторичную энергию, транспортировки, распределения и на уровне энергетических услуг.

Каждая технология описывается в TIMES несколькими ключевыми технико-экономическими параметрами, достаточными для решения системы модели. Каждая технология явно идентифицируется (получает уникальное имя) и отличается от всех других в модели.

Обычно модель применяется для анализа всего энергетического сектора, но может также применяться для детального изучения отдельных секторов (например, сектора электроэнергетики и централизованного теплоснабжения).

Использование модели может выходить за рамки чисто энергетических вопросов, а также отражает выбросы в окружающую среду, связанные с энергетической системой. Кроме того, модель подходит для анализа энергетической и экологической политики, который может быть представлен с точностью благодаря четкости представления технологий и топливных ресурсов во всех секторах.

Поскольку вычислительные возможности, объем задач с моделирования и потребности лиц, принимающих решения, могут изменяться / увеличиваться с течением времени, модель необходимо поддерживать на самом высоком уровне, а также постоянно обновлять и улучшать.

1.4 Входные данные и источники данных для моделирования

Данные, используемые в модели TIMES, собираются и формируются в наборы рабочих книг Excel или так называемые «шаблонами». Это дает разработчику модели возможность просматривать и анализировать данные и структуру модели удобным для пользователя способом (либо через Excel, либо через программный интерфейс, созданный специально для работы с кодом генератора модели TIMES: «VEDA-FE»).

Для модели энергетической модели Казахстана TIMES, существует четыре различных типа шаблонов:

1. Шаблоны базового года – шаблоны для секторов предложения, преобразования (например, нефтепереработки, тепловой энергии и электроэнергии) и спроса (жилищный сектор, коммерческий сектор, транспорт, промышленность и сельское хозяйство). К ним относятся все калиброванные данные на основе специальной восходящей оценке и рассмотрении данных энергетического баланса за базовый год, 2017 год.

2. Шаблоны системных параметров – шаблоны с параметрами системы и данные определения временного горизонта, которые задают количество лет для анализа, интервалы между годами моделирования и т. д.

3. Шаблоны будущих технологий – шаблоны, которые содержат информацию о пуле новых технологий, которые ожидаются в энергетической системе в будущем.

4. Шаблоны сценариев - сценарные файлы, включающие динамические факторы и элементы сценария, такие как: прогнозы спроса, международные цены на энергию, доступность ресурсов, пределы выбросов парниковых газов и любые другие гипотезы или политики, которые включены в модель для объема анализа.

В следующей таблице в консолидированном виде представлены данные, использованные в модели, и соответствующие источники.

Таблица 1.1. – Данные для модели и источники данных

Данные	**Источники**
Кривая нагрузки на электроэнергию на 2017 год, Существующие мощности традиционных и возобновляемых электростанций	Расчеты на основе данных, предоставленных экспертами и KEGOC
План вывода из эксплуатации существующих мощностей	Расчеты и эндогенно на основе остаточного срока службы
Потенциал ветровой энергии, малых ГЭС и солнечной энергии	Расчеты на основе данных ATLAS, ПРООН, правительственной программы по гидроэнергетике и международных исследований.
Потенциал биомассы	Предположения, частично основанные на исходных данных Жасыл Даму (например, использование твердой биомассы)
Прогноз цен импорта/экспорта энергетических ресурсов до 2060 года	Расчеты на основе международных исследований (WEO 2020, 2021, Net Zero к 2050 году), сценарии отражающий различные сюжетные линии для других стран
Энергетический баланс за 2017, 2018, 2019, 2020 и 2021 года	Расчеты на основе национальных данных (национальный энергетический баланс, отраслевые данные) и международных источников (EIA)

Данные	Источники
Будущие объемы экспорта	Ориентированные на цену (ограниченные возможностями инфраструктуры, когда это необходимо)
Характеристики новых технологий, доступных во временном горизонте анализа моделирования	Расчеты на основе международной базы данных (например, база сценариев EU-Reference, используемая для NECP, международный опыт моделирования, DB технологий с открытым исходным кодом, модель EU-JRC Times, каталоги технологий DEA).
Спрос на энергию в секторах спроса/услуг	Расчеты, основанные на восходящем анализе технологий и способов использования, а также на данных Жасыл Даму (например, проникновение устройств/приборов)
Статистика жилищного фонда для жилого сектора, потребление энергии по типу жилья и видам энергии	Официальная статистика: Бюро национальной статистики (Жилищная статистика 2019_GI (ZD); ЖКХ 2012-2016; сборник 2018 по жилому фонду; и т.д.) и собственные расчеты
Затраты и экономия энергии в результате реконструкции фасадов зданий	Расчеты, основанная на реальных примерах, и сравнение с литературными данными.
Существующий парк автомобилей по типам и видам топлива, Пассажиро-километры и тонно-километры спроса по видам	Официальная статистика: Бюро национальной статистики; база данных МВД по зарегистрированным автомобилям за 2015 год; Министерство внутренних дел (дополнительно скорректировано с учетом данных по энергопотреблению)

Данные	Источники
транспорта (автомобильный, железнодорожный и т.д.)	
Прогноз численности населения до 2060 года	Прогноз Министерства национальной экономики (на 2020-2027 гг.), SSP2 IIASA - KC & Lutz 2017 (после 2025 г.)
Прогноз ВВП и отраслевого производства по секторам	Прогноз Министерства национальной экономики (на 2020-2027 гг.), база данных МВФ и WEO (после 2025 года)
Коэффициенты выбросов	Коэффициенты выбросов Межправительственной группы экспертов по изменению климата и AR5 - Пятый оценочный доклад (GWP)

1.5Методология

Модель TIMES-KZ — это многофункциональный инструмент, ориентированный на спрос, созданный с использованием парадигмы «TIMES», который может использоваться для изучения эволюции всей энергетической системы Казахстана на временном горизонте и который может быть расширен или сокращен в зависимости от потребностей анализа.

Правила именования шаблонов

Используемые в модели шаблоны именуются согласно стандартному подходу, используемому в моделях на основе TIMES.

Шаблоны модели

Базовые информационные шаблоны это два шаблона со стандартными названиями:

BY_Trans.xlsx: включает любые изменения, которые необходимо внести в информацию, содержащуюся в шаблонах базового года. Может быть пустым, если никаких изменений не требуется.

SysSettings.xlsx: содержит основные параметры, необходимые для модели, таких как определение базового года, периодов времени, временных интервалов, количество и название регионов, ставки дисконтирования и правила интерполяции. Он должен включать минимальные базовые настройки модели.

Шаблоны базового года определяются пользователем, файлы на основе Excel, которые включают всю информацию, необходимую для калибровки модели для начального года (2017). Используемое соглашение об имени:

VT_KZK_SEC_VNN.xlsx

где:

KZK: представляет собой трехбуквенный код страны.

SEC: представляет собой «трехбуквенный» код, описывающий сектор (ы), включенный в этот шаблон.

В TIMES-KZ используются следующие трехбуквенные коды:

SUP: Горнодобывающая промышленность, возобновляемые источники энергии, импорт, экспорт, нефтеперерабатывающие заводы и другие.

ELC: Электричество, ТЭЦ и центральное отопление.

IND: Промышленность.

RSD: Жилой сектор.

TER: Коммерчиский сектор (общественные и частные).

AGR: Сельскохозяйственный сектор.

TRA: Транспортный сектор.

VNN : Указывает версию шаблона и имеет формат V01, V02 и т.д.

Шаблоны новых технологий, включают новые технологии и имеют формат именования:

SubRES_Sectorname.xlsx

где «Sectorname (Название сектора)» принимает следующие описания:

Supply_Chains: Варианты со стороны предложения (новые связи, производство биотоплива, производство водорода и т. д.).

Electricity: электростанции, ТЭЦ и технологии централизованного теплоснабжения.

Agriculture: новые технологии в сельском хозяйстве (только в сфере энергетики).

Industry: новые технологии промышленного сектора.

Residential: новые технологии в жилом секторе.

Tertiary: новые технологии в коммерческом секторе.

Transport: новые технологии в транспортном секторе.

Сценарии спроса, это входные данные, связанные со спросом, включаются в файлы, начинающиеся с Scen_D1_Demands_KZK_Name.xlsx, которые содержат прогнозы потребностей в энергетических услугах с использованием прогнозов конкретных драйверов (например, ВВП, отраслевой выпуск, население и количество людей на домашнее хозяйство, физическое производство и т. д.) и эластичности к драйверам (при необходимости).

Сценарные файлы представляют собой шаблоны, которые включают описание конкретных факторов, действий, политик, ограничений, вариаций и т. д.

для будущего развития энергетической системы. Правило об именования сценарных файлов:

Scen_Name.xlsx

Общие параметры

Механизмы решения: модель TIMES была разработана как задача смешанно-целочисленного линейного программирования (MILP), поскольку некоторые переменные (размер электростанций) ограничены целыми числами. Формулы целочисленного линейного программирования обеспечивают более точный инструмент для представления конкретных инвестиционных решений за счет более высоких вычислительных затрат. Поэтому рекомендуется запускать модель на мощных машинах.

Структура: в описываемой версии модели TIMES была разработана и реализована полностью «новая» эталонная энергетическая система (взаимосвязь между процессами и потоками), позволяющая проводить анализ долгосрочной динамики энергии и климата с учетом передовых методов моделирования.

Глобальные параметры, которые используются в модели и включены в SysSettings.xlsx:

Начальный период (базовый год): Начальный период имеет решающее значение, поскольку для этого года требуются все «калибровочные» данные. Базовым годом для модели TIMES-KZ является 2017 год. Модель настроена таким образом, что базовый год может быть изменен при условии наличия всех необходимых данных и повторной калибровки модели с использованием новых данных.

Временной горизонт: новая модель TIMES охватывает период с 2017 по 2060 год. Модель «перекалибрована» с использованием самых последних отраслевых данных (дальнейшая проверка и обработка для получения самосогласованного

представления всей системы за начальный год и последующие исторические года). Внутригодовое представление системы было уточнено, чтобы можно было лучше представить ключевые технологии, такие как ветер, солнце, современные обогреватели, хранение и т. д.

Продолжительность периода: TIMES решает проблему оптимизации энергосистемы за несколько периодов, и каждый период может длиться разное количество лет. Например, периоды продолжительностью один год означают, что модель решает ежегодно, а пятилетние периоды означают, что результаты представляются каждые пять лет. TIMES является гибким, и продолжительность периодов может меняться в соответствии с потребностями моделиста.

Срезы времени: чтобы смоделировать изменение спроса во времени в течение года и изменение производства энергии из переменных возобновляемых источников энергии, каждый год следует разделить на ряд «временных интервалов», которые представляют собой периоды времени с аналогичными характеристиками. Разбивка на временные отрезки должна учитывать как изменение во времени спроса (в частности, кривую электрической нагрузки), так и изменение во времени выработки за счет технологий возобновляемых источников энергии.

По причинам производительности модели количество временных интервалов должно быть разумным, чтобы гарантировать, что время решения, требуемое моделью, не будет очень большим.

Определение временных интервалов в TIMES-KZ следующее:

Сезоны:

- Весна
- Лето
- Осень
- Зима

Срез день/ночь:

- Ночной период
- Ранний утренний период
- Утренний период
  - Дневной период
  - Послеобеденный период
  - Вечерний период

Ставка дисконтирования: Общая ставка дисконтирования 5% и ставки дисконтирования для конкретных технологий (определенные в Scen_Hurdle_Rates.xls) 7%-45% используются при расчете приведенной стоимости всех денежных потоков в горизонте модели.

Пиковый запас: Требование пикового резерва 5% - 10% включено для электроэнергии (увеличивается со временем), что означает, что установленная мощность должна быть как минимум на 5% - 10% больше, чем потребность в пиковом срезе.

Правила интерполяции: В файле SySetings.xlsx правила интерполяции, которые используются в модели для расширения значений различных параметров, определены на листе «Interpol_Extrapol_Defaults».

Единицы

В модели используются следующие стандартные единицы измерения:

1. Все денежные величины в модели выражены в постоянных ценах базового года. Денежные единицы - доллары США. Инвестиционные затраты выражаются в $/kW для процессов, мощность которых выражается в GW, и в $/GJ в год для всех других технологий. Стоимость энергоносителей выражается в $/GJ. Результаты по инвестициям и затратам представлены в миллионах долларов.

2. Энергия выражается в петаджоулях (PJ). Это единицы энергии по умолчанию в модели. В отчете о результатах модели (VEDA-BE) есть возможность автоматической смены единиц измерения.

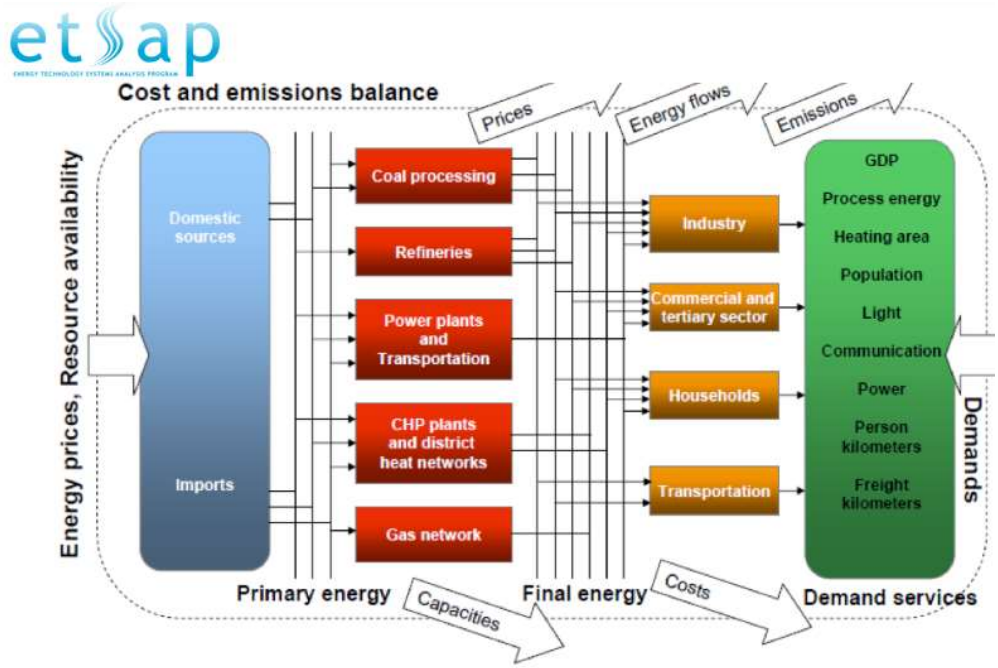
3. Мощность выражается в гигаваттах (GW) для сектора энергетики, когенерации и тепла и выражается в специальных единицах измерения для других процессов и технологий. Это единицы измерения по умолчанию, используемые в модели, чтобы избежать проблем с масштабированием и способствовать сходимости модели. Вывод может быть преобразован в желаемые пользователем единицы.

4. Потребности в энергетических услугах: для транспортного сектора потребность выражается в пассажиро-километрах (pkm) или тонно-километрах (tkm); для конкретных промышленных секторов, которые детально моделируются (например, цемент), потребности выражаются в миллионах тонн (Mt) физического производства (например, Mt произведенного цемента).

5. Выбросы парниковых газов выражаются в тысячах тонн (ktCO_2eq).

Эталонная энергетическая система

Представление энергосистемы Казахстана в TIMES схематично приведена ниже на рисунке. Энергетическая система делится на предложение (левая часть следующего рисунка), преобразование и спрос (правая часть следующего рисунка), а затем далее подразделяется в зависимости от поставляемого энергоресурса и сектора, в котором энергоресурсы потребляются.



Источник: сайт ETSAP, описание модели TIMES

Рисунок 1.1 – Эталонная энергетическая система

Поставка ресурсов

Сторона предложения эталонной энергетической системы в TIMES относится к производству угля, сырой нефти и природного газа и возобновляемых источников энергии (биомасса, ветер, солнечная энергия, гидроэнергетика), а также к импорту, экспорту и изменениям запасов всех энергоносителей, что используются в стране.

Вся эта информация включена в шаблон базового года. VT_KZK_UPS_V01.xls.

Процессы добычи твердого топлива (битуминозного, полубитуминозного, бурого угля) определены в шаблоне базового года поставок. (VT_KZK_SUP_V01.xls) на листе PRI_Coal. (Накопленные) запасы и объемы добычи твердого топлива определяются и контролируются в конкретном сценарном файле. Scen_E1_Extraction.

Процессы добычи в TIMES могут предоставлять только один выходной энергоресурс (например, RSVOILCRD) и не иметь функций обычных процессов, например эффективность или потребление вспомогательных энергоресурсов не применимы напрямую. Поэтому был введен отдельный процесс добычи (например, SPR_OILCRD_EXTR), который позволяет моделировать потребление энергии в процессе добычи. В процессах добычи энергия используется в качестве вспомогательного сырья.

В модели определены процессы импорта и экспорта всех энергоресурсов. Активность процессов экспорта и импорта была откалибрована по данным базового года и исторического периода. Следует отметить, что в будущие годы деятельность будет определяться ценами на международном рынке энергии (и далее контролироваться для моделирования ограничений инфраструктуры, международного спроса и внутренней политики).

Транспортировка и распределение природного газа моделируется отдельными процессами высокого, среднего и низкого давления. Производственные мощности были оценены на основе данных о конечном потреблении за прошлые периоды. Возможность расширения сети существует через определение новых технологий в технологическом хранилище SubRES_Supply_Chains.xls, в листе «SUP_OilGas»

Энергия ветра

Ветряные турбины, которые работали в базовом году, определены в шаблоне базового года VT_KZK_ELC_V01.xlsx, на листе ELE_PPs.

Технологии для ветра, которые можно установить в будущем, определены в базе новых технологий, в файле SubRES_Electricity.xlsx. Доступен ряд новых технологий, а именно EUWINPARK10*, который соответствует ветропаркам с различными коэффициентами мощности (и размерами). Характеристики,

касающиеся инвестиционных затрат и других затрат на эти технологии, определены в таблице на листе ELC_New этого файла Excel вместе с другими электрическими технологиями.

Коэффициент мощности на временной интервал для каждого типа ветропарка определяется в файле SubRES_Electricity_Trans.xls. Коэффициенты мощности на уровне временных интервалов присваиваются конкретным ветровым технологиям в листах AFs. Пользователи могут изменять значения, чтобы отображать другой «профиль» энергии ветра по срезам (если и когда станет доступна новая информация).

Потенциал ветропарков в Казахстане определен в файле сценария Scen_R1_RES_Potential*.xlsx на листе Wind.

Некоторые «ограничения пользователя» определены для различных ветропарков, а мощность в столбце «KZK» указана в GW. Общий «технический» потенциал ветра в Казахстане составляет очень большую величину (пользователи могут изменять цифры), его «экономическое» использование вместо этого эндогенно определяется моделью в соответствии с конкретным сценарием (запускается факторами сценария).

Энергия солнца

Существующие фотоэлектрические установки определены в шаблоне базового года VT_KZK_ELC_V01.xlsx на листе ELE_PPs. Новые фотоэлектрические технологии определены в базе новых технологий SubRES_Electricity.xlsx под названиями EUPVPARK10* (наземные установки) и EUPVSOL*SEC*102 (установки на крышах, где *SEC* - название сектора). Такие характеристики, как инвестиционные затраты и т. д., определены в той же таблице, что и для всех других технологий (в листе ELC_New).

Потенциал для солнечных электростанций на крыше для каждого сектора в Казахстане определен в файле сценария Scen_R1_RES_Potential*.xlsx на листе Solar PV.

Коэффициент мощности для фотоэлектрических установок определяется в файле SubRES_Electricity_Trans.xls.

Гидроэнергетика

Существующие гидроэлектростанции определены в шаблоне базового года VT_KZK_ELC_V01.xlsx на листе ELE_PPs, и на основе исторических данных по производству рассчитываются сезонные коэффициенты мощности, которые присваиваются процессу в той же таблице.

В соответствии с государственным планом развития гидроэнергетики потенциал новых гидроэлектростанций весьма ограничен; он определен в файле сценария Scen_RES_Potential_R1*.xlsx на листе Hydro.

Новые мощности гидроэнергетики определены в базе новых технологий SubRES_Electricity.xlsx и имеет названия EUHYDSR101 и EUHYDLR101, что означает малые и большие электростанции соответственно. Такие характеристики, как инвестиционные затраты, определены в той же таблице, что и для всех других технологий энергетического сектора (на листе ELC_New).

Геотермальные источники энергии

После изучения заключительного отчета Всемирного банка за 2019 год «Предварительный обзор геотермальных ресурсов в Казахстане», было решено разрешить возможное развитие геотермальных станций централизованного теплоснабжения с скважинами глубиной 3600 м. Эта технология называется HPPHETGEO_N_AD_01 и описана на листе ELC_New файла SubRES_Electricity.xlsx.

Биоэнергетика

Биоэнергетический потенциал Казахстана определяется в Scen_R1_RES_Potential_MinBND*.xlsx на листе «Biomass Potential», где атрибуты ACT_BND и COST определены для каждой технологии добычи биоэнергии. В том же документе также содержится таблица «Bioenergy for CHP», где указаны верхние пределы мощностей для ТЭЦ на биогазе и дровах.

Технологии новых биоэнергетических установок находятся в SubRES_Electricity.xlsx на листе ELC_New с именами PUBIOBGS10*, PUBIOLOG10*, EUBIOWMUST10*, PUBIOLOG20*, PUBIOBGS20*, EUBIOBGS20*, EUBIOLOG20*, HPPHETBIOLOG01 (heat plant). Технологии с окончаниями 20* — это установки с CCS. Также представлены различные биоэнергетические технологии для каждого сектора конечного потребления, например биологическое стационарное отопление для сельского хозяйства (AGRSTHTBIOLOG), обогрев помещений и / или воды в жилых помещениях (RSD_*_SH_LOG*) и на транспорте. Кроме того, биотопливо используется для нескольких технологий производства водорода с паровым риформингом или газификацией биомассы.

Производство биогаза, древесных гранул и жидкого биотоплива описано в листе SUP_Biomass файла Sub_Res_Supply_Chains.xlsx.

Экспортные и импортные цены

Экспортные и импортные цены на энергоресурсы определяются в файлах сценария Scen_FP1_Fuel_Prices*.xlsx. Это альтернативные экзогенные допущения до стоимости экспорта и импорта энергоресурсов. Разница между ними состоит в том, что одно относится к «NDC-подобному» состоянию мира, а другая - к «2°C-подобному» состоянию мира.

Поскольку на модель (а также на реальную энергетическую/экономическую систему Казахстана) сильно влияют условия международного рынка, чрезвычайно важно знать о таких допущениях, когда модель используется для получения результатов, связанных со сценариями. Цены находятся на вкладке WorldPrice (цифры для сырой нефти, природного газа, угля).

Сектор электроэнергетики и централизованного теплоснабжения

Энергетический сектор Казахстана связан с сектором централизованного теплоснабжения из-за важной роли (и доли) ТЭЦ в структуре энергоснабжения. Таким образом, два сектора описаны вместе в шаблонах базового года (VT_KZK_ELC_V01.xlsx) и в хранилище новых технологий (SubRES_Electricity.xlsx).

Сектор электроэнергетики и централизованного теплоснабжения в модели TIMES-KZK описывается рядом технологий производства электроэнергии, таких как тепловые и возобновляемые электростанции.

В модели спрос на электроэнергию не устанавливается экзогенно. Спрос на электроэнергию рассчитывается эндогенно, чтобы оптимально покрыть потребности в энергетических услугах (потребности конечного использования) для каждого из секторов спроса.

Электростанции, подключенные к сети, описываются процессами в шаблоне базового года (VT_KZK_ELC_V01.xlsx) для существующих электростанций и в базе новых технологий (SubRES_Electricity.xlsx) для новых электростанций.

Существующие электростанции, подключенные к сети, определены в шаблоне VT_KZK_ELC_V01.xlsx на листе ELE_PPs. Основные характеристики существующих станций (КПД, коэффициент готовности, соотношение мощности и тепла) были предоставлены экспертами (на основе данных KEGOC) и/или были

откалиброваны для отображения самосогласованного представления энергетического баланса и системы, связанной с мощностью.

Новые электростанции, которые доступны для модели в будущем, определены в технологическом архиве SubRES_Electricity.xlsx на листе ELC_New: В эту базу новых технологий включена эволюция инвестиционных затрат на различные технологии. Источники информации об этих инвестиционных затратах также представлены в шаблоне.

Ниже приведены наиболее важные атрибуты, которые используются для характеристики электростанций (они служат руководством для пользователей при интерпретации и анализе технико-экономических характеристик процессов):

VDA_FLOP - Потребление SUPELC (собственное потребление электроэнергии) как долю от производства электроэнергии.

FLO_SHAR~LO - Минимальная доля расхода топлива в общем расходе топлива

FLO_SHAR~UP - Максимальная доля расхода топлива в общем расходе топлива

EFF - Эффективность

NCAP_PASTI - Установленная мощность за базовый год

PRC_CAPACT - Коэффициент мощности к активности

NCAP_AFA - Фактор доступности за базовый год

NCAP_AFA~201X - Годовой коэффициент доступности мощностей для модельного горизонта (после базового года)

NCAP_FOM - Фиксированные затраты на эксплуатацию и техническое обслуживание

ACT_COST - Переменные затраты на эксплуатацию и техническое обслуживание

ACT_MINLD - Технический минимум операции (в процентах от заявленной мощности)

NCAP_PASTY - Количество лет, по которым распределяются прошлые инвестиции. В сочетании с NCAP_TLIFE определяется год вывода агрегата из эксплуатации.

NCAP_TLIFE - Технический срок службы технологий

NCAP_CHPR~UP/LO - Максимальное / минимальное значение отношения произведенного тепла к произведенной электроэнергии. (Только для ТЭЦ).

VDA_CEH - Отношение потерь электроэнергии к полученному теплу. (Только для ТЭЦ).

План вывода из эксплуатации существующих электростанций моделируется путем определения срока службы каждой технологии. Пользователи должны иметь в виду, что «без специального контроля» модель может остановить установку (выход = 0) до фактической даты снятия с эксплуатации; такое поведение можно интерпретировать как сигнал о неэффективности (неоптимальности) работы электростанции до запланированного окончания технического срока службы.

Потери при передаче и распределении энергосистемы моделируются с использованием трех общих технологий, которые определены в шаблоне электроэнергии базового года. Потери учитываются в потреблении ELCLOSST и ELCLOSSM для потерь на уровне передачи и ELCLOSSD для потерь на уровне распределения. Значения откалиброваны для соответствия выработки с одной стороны и конечному потреблению с другой стороны.

Также предоставляется возможность для создания новых более эффективных технологий передачи и распределения, которые описаны в SubRES_Electricity.xlsx как EVTRANS*New.

Существующие котельные, участвующие в системе централизованного теплоснабжения, определены в шаблоне VT_KZK_ELC_V01.xlsx на листе

HET_Plants. База новых технологий централизованного теплоснабжения находится в SubRES_Electricity.xlsx, так же, как и в случае с новыми электрическими технологиями.

Распределение тепла по различным секторам моделируется посредством процессов, которые определены в VT_KZK_ELC_V01.xlsx на листе HET_Fuel, чтобы учесть тепловые потери в тепловых распределительных сетях.

Альтернативные цепочки поставок энергии

Водород обычно рассматривается как новое топливо, которое может поступить в энергетическую систему Казахстана в период до 2060 года. Ряд различных вариантов производства водорода (SPRSYNH2*) рассматривается на централизованном и децентрализованном уровнях и описаны в SubRES_Supply_Chains.xlsx (лист SUP_Hydrogen).

Централизованный уровень:

▪ Электролизер - SPRSYNH2GCELE01

▪ Высокотемпературный паровой электролизер - SPRSYNH2GCHTS01

▪ Паровая конверсия метана - SPRSYNH2GCSMR01

▪ Солнечная паровая конверсия метана - SPRSYNH2GMSRSOL101

▪ Газификация угля - SPRSYNH2GCOA101

▪ Газификация биомассы - SPRSYNH2GBIO201

▪ Процесс Квернера - SPRSYNH2GKVA101

▪ Паровой риформинг биомассы - SPRSYNH2GBSR201

▪ Частичное окисление тяжелой нефти (CPO3) - SPRSYNH2GHFO101

▪ Высокотемпературный ядерный реактор (серо-йодный цикл)- EUSYNH2GNUC201

На децентрализованном уровне рассматриваются следующие технологии:

▪ Электролизер - SPRSYNH2GDELE02

▪ Паровая конверсия метана - SPRSYNH2GDSMR02

▪ Солнечная паровая конверсия метана - SPRSYNH2GMSRSOL102

▪ Газификация биомассы - SPRSYNH2GBIO202

▪ Паровая конверсия этанола - SPRSYNH2GETH201

Этот лист также содержит топливные технологии для доставки водорода в другие сектора в газообразном или жидком состоянии и в смеси с природным газом. Кроме того, здесь также определены технологии хранения (STGH2G*).

Конечные применения водорода, рассматриваются в следующих случаях:

▪ Электростанции и ТЭЦ с топливными элементами, турбинами и двигателями внутреннего сгорания;

▪ Только тепловые установки;

▪ Транспортные средства, самолеты, поезда, суда, работающие на водороде;

▪ Использование водорода в сельском хозяйстве для приводов машин и стационарного использования тепла;

▪ Для отопления и приготовления пищи в жилом и коммерческом секторах;

▪ Промышленное использование прямовосстановленного железа, технологического тепла, технологического пара, приводов машин, котлов, автономного производства электроэнергии и тепла, других процессов, в которых он может заменить энергетическое использование природного газа (производство меди, свинца, алюминия, цветных металлов).

Сектор спроса

Секторы спроса в эталонной энергетической системе соответствуют разделу «Конечное потребление энергии» энергетического баланса. Их можно определить как «поставки энергетических ресурсов потребителям для деятельности, которая не является деятельностью, что преобразовывает или трансформирует топливо, как это определено в другом месте в структуре энергетического баланса».

В модель включены следующие секторы спроса:

1) Промышленность разделена на подсектора с учетом потребления энергии в Казахстане:

▪ Железо и сталь

▪ Неметаллические полезные ископаемые, разделенные на производство цемента и производство прочих неметаллических полезных ископаемых

▪ Цветные металлы, разделенные на алюминий, медь, свинец, цинк, прочие цветные металлы.

▪ Продовольствие, напитки и табак

▪ Химическая и нефтехимическая промышленность разделена на удобрения, нефтехимию и другие.

▪ Добыча полезных ископаемых

▪ Строительная промышленность

▪ Другая промышленность (все другие виды промышленной деятельности в стране)

2) Жилые помещения, что разделены на индивидуальные дома (DTA *) и квартиры (APA *), в 4 типичных районах страны (2 * 4 = 8 типов жилья).

3) Коммерческий сектор, который включает частную и государственную деятельность. Общественное (уличное) освещение также относится к коммерческому сектору.

4) Сельское хозяйство, которое включает использование энергии для сельского хозяйства, лесного хозяйства и рыболовства.

5) Транспорт:

▪ Дорожный транспорт

▪ Железнодорожный транспорт

▪ Международная авиация

▪ Внутренняя навигация

В модели энергетической системы используется следующее определение энергетических услуг: «Энергетические услуги — это те функции, которые выполняются с использованием энергии, которые являются средствами для получения или облегчения желаемых конечных услуг или состояний». Другими словами, «Энергетические услуги относятся к услугам, которые генерируются за счет потребления энергии в сочетании с бытовыми приборами».

Промышленный сектор

Существующая отраслевая структура страны описана и откалибрована в шаблоне базового года VT_KZK_IND_V01.xlsx для упомянутых выше подсекторов.

Вся промышленная деятельность была описана в явной технологической манере (за исключением спроса, не связанного с энергией). В некоторых случаях были включены специальные отраслевые описания процессов и цепочек (например, для производства стали, цемента, алюминия и т. д.), В других случаях использовались более агрегированные представления (хотя и явные для процесса) для моделирования различного использования энергии (например, для технологического тепла, для привода машин и т. д.) на основе общепринятых практик моделирования энергосистем.

Были откалиброваны данные, относящиеся к балансу, сравнительный анализ соответствующих технологий с существующими стандартами и проверка согласованности для конкретной системы (предложение и спрос на каждый ресурс). Новые технологии, доступные в горизонте моделирования, определены в SubRES_Industry.xlsx.

Жилой сектор

Жилой сектор в модели представлен подробно, чтобы отразить потребление для различных целей и связанный с этим потенциал для улучшения. В базовом году здания жилого сектора делятся по следующей типологии:

- Частный дом - A1
- Квартира - A1
- Частный дом - A2
- Квартира - A2
- Частный дом - A3
- Квартира - A3
- Частный дом - A4
- Квартира – A4

Ситуация в базовом году определяется в шаблоне VT_KZK_RSD_V01.xlsx. Прежде всего, бытовое потребление по типам энергии и по услугам разбито по типологии на основе обширного анализа данных, промежуточных показателей и проверки согласованности (лист RSD_En_Balance).

В соответствии с климатической классификационной картой Казахстана области были сгруппированы по «четырем» репрезентативным областям: A1: AKM, AST, KST, PAV, NKO, EKO; A2: AKT, ALM, ATY, WKO, KAR, ALC; A3: KZL, MAN; A4: ZHA, SKO. Обратите внимание на то, что настоящая классификация направлена на дифференциацию потребностей в тепле и проникновение технологий «по зонам», обеспечение гибкости для отслеживания различных услуг и технологического развития в разных областях страны (для будущего использования модели).

На следующем этапе потребление энергии разбивается на конечное использование в жилищном секторе, а именно:

▪ Отопление помещений

- Охлаждение
- Водяное отопление
- Готовка
- Осветительные приборы
- Холодильная
- Стирка одежды
- Мытье посуды
- Другая техника

Существующий фонд жилых домов включен в лист RSD_Stock в шаблоне базового года.

Средний размер жилища (ориентировочный, непосредственно не используемый в модели) используется для последующего расчета показателей энергопотребления на единицу площади. На следующем шаге каждому типу жилья в листе RSD_Demands присваивается уровень потребности в услугах по энергоснабжению. Сюда входят требования к отоплению помещений, нагреву воды и охлаждению помещений, а также к другим услугам.

Что касается потребности в отоплении помещений, чтобы учесть тот факт, что некоторые домохозяйства могут быть недогретыми, можно включить и контролировать специальный модуль для неудовлетворенного спроса (через файл сценария), чтобы моделировать возрастающие и различные условия отопления в помещениях жилого сектора.

Остальные листы в этом шаблоне включают характеристики технологий, откалиброванных для потребления за базовый год в соответствии с энергетическим балансом.

База новых технологий, которое содержит всю информацию о новых технологиях и которые могут использоваться моделью в будущем, содержится в файле SubRES_Residential.xlsx.

Прежде всего, новые здания определены в таблице RSD_NewBuildings, которые должны покрывать потребность в новых жилищах с учетом количества семей и сноса существующих жилищ.

Остальные листы в этом файле Excel определяют технологические характеристики для каждого использования: RSD_SpHeat для технологий отопления помещений, RSD_SpCool для охлаждения помещений, RSD_WaterHeat для нагрева воды, RSD_Cook для приготовления пищи, RSD_ElcAppliances для других электроприборов для каждой из 8 типов жилья.

Этот лист также включает все параметры, кроме коэффициента доступности NCAP_AFA, который откалиброван в файле Excel SubRES_Residential_Trans.xlsx на листе RSD_Technologies. В этом файле значения калибровки базового года присваиваются новым технологиям для калибровки их работы.

Помимо упомянутых выше технологий, в этом файле (лист RSD_Retrofits) также определены варианты ремонта существующих жилых домов.

Коммерчиский сектор

Коммерческий сектор включает коммерческий сектор, услуги и государственный сектор. Ситуация в базовом году определяется в шаблоне VT_KZK_TER_V01.xlsx. Потребление коммерческого сектора (это разработано на основе структуры, подобной энергетическому балансу) по видам энергии разбивается по видам использования с учетом имеющихся данных, промежуточных показателей и проверки на согласованность (лист TER_En_Balance).

Конечное использование такое же, как и в жилом секторе, а именно:

- Отопление помещений
- Кондиционирование
- Нагрев воды
- Готовка

- Осветительные приборы
- Заморозка и хранение еды
- Другая бытовая техника

В этом секторе также указывается потребление электроэнергии на уличное освещение. Помимо уличного освещения, спрос в секторе определяется площадью зданий коммерческого сектора. Удельный спрос на отопление помещений, охлаждение помещений и т.д. на единицу площади (м2) калибруется в листе TER_Stocks.

В этом секторе также указывается потребление электроэнергии на уличное освещение. Помимо уличного освещения, спрос в секторе определяется площадью зданий коммерческого сектора. Потребность в единицах отопления, охлаждения и т. д. На единицу площади (м2) калибруется в таблице TER_Stocks.

Сельское хозяйство

Представление ситуации базового года в сельскохозяйственном секторе осуществляется в шаблоне VT_KZK_AGR_V01.xlsx. Потребление каждого энергоресурса в сельскохозяйственном секторе делится на четыре рассматриваемых вида использования, а именно: сельскохозяйственная техника, стационарное использование для получения тепла, привод машин (двигатели) и другие виды использования (в листе AGR_BAL).

Калибровка базового года основана на средней эффективности и расчетной мощности существующих технологий для воспроизведения конечного потребления энергии в информации энергетического баланса. Эта калибровка выполняется в листе "AGR_Techs" для каждого из видов использования энергии в секторе.

Характеристики технологий, которые могут быть использованы в будущем в модели, определены в шаблоне SubRES_Agriculture.xlsx.

Транспортний сектор

Перевозки моделируются для различных видов транспорта (конкуренция видов транспорта регулируется экзогенно), для пассажиров и грузов.

Калибровка для базового года выполняется в шаблоне VT_KZK_TRA_V01.xlsx, следуя той же логике, которая описана для других секторов в предыдущих разделах настоящего отчета. В листе TRA_BAL потребление различных энергетических ресурсов в транспортном секторе распределяется по видам транспорта, используя статистические данные о существующем парке, среднем пробеге и средней занятости или тоннаже по типам транспортных средств.

Эта разбивка затем используется для калибровки характеристик существующего парка транспортных средств в следующих листах этого файла: Tech_Road_Cars для частных автомобилей и мотоциклов, Tech_Road_Bus для автобусов и троллейбусов, Tech_Rail_Nav_Av для навигации и авиации и Tech_Road_Freight и тяжелых транспортных средств (HDV) и легких транспортных средств (LDV) для автомобильного грузового транспорта.

Характеристики новых технологий, доступных для транспортного сектора, определены в файле SubRES_Transport.xlsx. Частные автомобили определены в листе TRA_Cars, где включены все возможные новые технологии. Обычные автомобили делятся на Евро 4 и 5, Евро 6, пост Евро 6 и продвинутые. Остальные типы автомобилей делятся на "стандартные", "улучшенные" и "усовершенствованные" с постепенным увеличением эффективности, стоимости и разных лет доступности.

Помимо автомобилей новых марок, в модель также включены подержанные автомобили, при этом стоимость, эффективность и срок службы этих автомобилей снижаются по сравнению с новыми автомобилями. Долю новых брендов по

сравнению с подержанными автомобилями можно регулировать для моделирования рыночных условий и/или национальной политики.

Такой же подход используется для автомобилей высокой и низкой проходимости, предполагая наличие как новых, так и подержанных автомобилей для каждого типа.

Ожидаемый пробег, наполняемость и тоннаж новых транспортных средств калибруются в соответствии с теми, которые используются в шаблоне базового года, в файле SubRES_Transport_Trans.xlsx и в листе "Param_Transformation".

Прогнозы спроса

TIMES — это модель энергетической системы, управляемая спросом, что означает, что спрос на энергетические услуги требуется в качестве входных данных, и это определяет развитие энергетической системы. Модель будет стремиться удовлетворить этот спрос путем определения наименее затратной конфигурации энергетической системы.

Стандартный подход к прогнозированию будущего спроса на энергетические услуги заключается в использовании подходящих "драйверов" спроса, которые представляют собой параметры, влияющие на спрос через взаимосвязь вида:

$$\boldsymbol{DEMjt}=\boldsymbol{DEMj}(\boldsymbol{t}-\mathbf{1})(\mathbf{1}+\boldsymbol{DRGRjt}*\boldsymbol{ELASj})$$

где:

$DEMjt$ потребность в энергетических услугах j в период времени t,

$DEMj(t-1)$ потребность в энергетических услугах j в период времени t-1,

$DRGRjt$ темп роста драйвера спроса j в момент времени t,

$ELASj$ эластичность спроса j для драйвера (эластичность = 1, когда драйверы эквивалентны базовой услуге).

Отправной точкой любого анализа на основе TIMES является прогнозирование всех движущих сил на весь временной горизонт моделирования. Эти прогнозы приведены в листе "Demand_Drivers" файла Scen_D1_Demands*.xlsx.

Основные файлы сценариев

Scen_A0_Basic: этот файл включен во все сценарии и содержит широкий список листов с различными универсальными пользовательскими ограничениями (~UC_T*) и таблицами трансформации (TFM_*):

▪ Bounds-StockChange имеет таблицы трансформации, которые устанавливают изменения запасов базового года на ноль для всего временного горизонта и запрещает использование ископаемых двигателей промышленных машин.

▪ CAP_AutoProduction-CAP_PP устанавливает верхние и нижние пределы для общей мощности промышленных автопроизводителей (UC_IND_AUTOCAP_LO и UC_IND_AUTOCAP_UP), минимальная суммарная мощность ТЭЦ, работающих на природном газе (UC_GAS_PP), ограничения для новых мощностей всех ТЭЦ, тепловых электростанций и котельных (UC_CAP_PP, UC_CAP_HP, UC_CAP_PP_Large).

▪ Industry_CCS and Elc_CCS содержит трансформационные таблицы для установления коэффициентов выбросов ПГ на единицу сожженного топлива и общей совокупной мощности промышленного и трансформационного сектора (электричество и тепло) улавливание и хранение углерода.

▪ SH_RSD has ~TFM таблица, в которой задается верхняя граница активности для всех фиктивных технологий отопления жилых помещений, представляющих неудовлетворенный спрос в каждый период времени. Кроме того, здесь задается год начала внедрения технологий модернизации.

▪ Cost_HP_SOL обновляет новую стоимость мощности для тепловых насосов для отопления жилых и коммерческих помещений и водоснабжения.

▪ Balancing Capacity UC с пользовательскими ограничениями, определяющими мощность различных балансирующих технологий (батареи, пиковые станции и большие гидроэлектростанции, гидронасосы), необходимых для каждого гигаватта переменной возобновляемой энергии (солнечной и ветровой).

▪ Other has START атрибуты для различных технологий, верхние границы активности для добычи лома в сталелитейной и алюминиевой промышленности. Текущие значения для лома взяты из "Пути парниковых газов в алюминиевом секторе до 2050 года" и "Будущее сталелитейного производства" Роланда Бергера. Также здесь установлены максимальные мощности для электрического сопротивления и угольного отопления помещений в 2018 году, максимальные мощности для модернизации существующих газовых ТЭЦ и тепловых станций.

Scen_D1_Demands*: Эти файлы сценариев включают все данные, связанные со спросом. Прогнозы рассчитываются автоматически на основе некоторых первичных пользовательских данных:

▪ Вкладка "Demand drivers": пользователи должны вставить ключевые социально-экономические драйверы, которые, как предполагается, влияют на изменение спроса на энергетические услуги. В краткосрочной перспективе (до 2025 года) учитываются прогнозы МНЭ, а в более долгосрочной перспективе - предположения (основанные на международном опыте и практике моделирования).

▪ Вкладка “Elasticities”: пользователи должны назначить один драйвер (из числа указанных на другой вкладке) для каждого спроса на энергоуслуги и вставить (предполагаемые) значения эластичностей во времени.

Все потребности в энергетических услугах, используемые в модели, затем автоматически рассчитываются в электронной таблице и отображаются на вкладке

"Insert_Demands", которая фактически является "единственной" таблицей файла, которая компилируется и обрабатывается в модели.

Scen_E1_Extractions: Этот файл сценария включает все данные и элементы управления для добычи ископаемого топлива в Казахстане. В частности, определена следующая информация:

▪ запасы каменного угля, суббитуминозного угля, бурого угля (ступенчатая кривая);

▪ себестоимость добычи каменного угля, суббитуминозного угля, бурого угля (ступенчатая кривая);

▪ запасы природного газа и попутного природного газа (ступенчатая кривая);

▪ затраты на добычу природного газа и попутного природного газа (ступенчатая кривая);

▪ запасы сырой нефти и жидкого природного газа (ступенчатая кривая);

▪ затраты на добычу сырой нефти и жидкостей природного газа (ступенчатая кривая);

▪ элементы управления для моделирования темпов добычи/извлечения (например, здесь контролируется пик добычи нефти) и специфических характеристик казахстанских месторождений (например, добыча попутного природного газа).

Дополнительные вкладки используются для сбора и организации исходных данных.

Scen_ FP1_Fuel_Prices*: Эти файлы сценариев включают всю информацию, связанную с ценами на энергоресурсы для международной торговли (экспорт/импорт), а также дополнительные значения "наценок", необходимые для "калибровки" (как можно лучше) внутренних цен на энергию по секторам в базовом году. Если не указано иное, такие наценки остаются постоянными на протяжении всего временного горизонта.

Поскольку значение (международных) цен на энергоносители зависит от наднациональных факторов (не находящихся под контролем Казахстана), для прогнозирования значений во времени используются международные источники / литература (IEA World Energy Outlook 2020, IEA Net Zero to 2050).

Scen_F1_Fractions: Этот файл сценария включает в себя временные изменения различных потребностей на уровне временного среза. Это используется для создания "приближенной" кривой нагрузки для потребления электроэнергии, тепла и природного газа на уровне временных срезов.

В частности, ряд "поведенческих" допущений был использован для "калибровки" спроса на электроэнергию в модели, так что кривая нагрузки была воспроизведена результатами моделирования для 2017 года. Кривая нагрузки спроса на будущие годы рассчитывается как выход модели в зависимости от технологического выбора, сделанного моделью в рассматриваемом временном горизонте.

Процент от годового спроса для каждого временного среза определяется в листе "Fractions".

Эти "доли" рассчитываются экзогенно, так что кривая нагрузки на электричество и кривая нагрузки на отопление (если имеется) аппроксимируются в модели (на уровне 24 временных срезов модели).

Scen_R1_RES_Potential_MinBND*: Эти файлы сценариев включают всю информацию, связанную с потенциалом возобновляемых источников энергии для различных возобновляемых источников энергии и атомной энергии.

▪ Энергия ветра: потенциал выражается в максимальной мощности ветровых турбин (GW) в течение времени; потенциал разбивается на три различные типологии ветровых турбин (на основе коэффициентов высокой/средней/низкой мощности) для моделирования ступенчатой кривой предложения ветровой энергии.

▪ Нижние пределы мощностей ВЭС также включены, чтобы представить текущие планы/проекты установки.

▪ Также указана максимальная новая (добавочная) мощность (GW) за определенный период времени для всех типов ветровых турбин.

▪ Энергия солнца: потенциал для крупных промышленных предприятий выражается в терминах максимальной новой (дополнительной) мощности солнечной фотовольтаики (GW), которая может быть добавлена к системе в течение времени.

▪ Нижние пределы для мощности солнечных фотоэлектрических установок включены, чтобы представить текущие планы/проекты по установке.

▪ Потенциал установок на крышах выражается в максимальной мощности (GW) с течением времени.

▪ Гидроэнергетика: выражается в максимальной мощности гидротурбин (GW) за период времени и разделяется на крупные и малые станции, пределы мощности которых устанавливаются в соответствии с государственной программой развития гидроэнергетики.

▪ Атомная энергетика: потенциал атомной энергетики определяется как максимальная мощность (GW) с течением времени.

▪ Биоэнергия для ТЭЦ: потенциал задается как максимальная мощность (GW) с течением времени.

▪ Потенциал биомассы: Атрибуты ACT_BND и COST определены для каждой технологии добычи первичного биотоплива.

▪ Геотермальная энергия: потенциал, не ограниченный экзогенно.

Scen_RB1_Retrofit_Build*: Этот файл сценария включает все элементы управления для моделирования «потенциала» модернизации с точки зрения количества жилищ (по типологии) для жилого сектора и с точки зрения количества квадратных метров (по типологии) для сектора услуг за период. Заполнение

таблицы в файле «Max rate of refurbishment» позволяет пользователям контролировать этот показатель.

Scen_UC_RSD_TER*: Этот файл сценариев включает в себя элементы управления (пользовательские ограничения) для технических и рыночных барьеров, влияющих на проникновение различных технологий в жилой фонд.

Специальные средства контроля подготовлены для устройств отопления помещений (например, для контроля площади для газификации и площади для централизованного отопления, в зависимости от типологии жилья); для службы приготовления пищи (например, для контроля минимальной доли электроприборов); и для службы освещения (для контроля различных типов лампочек/использования). Аналогичные меры контроля также включены для коммерческого сектора (в соответствии с тем же подходом, что и для жилого сектора).

Дополнительные пользовательские ограничения (вкладка: UC_DistributionSystem) позволяют пользователям контролировать распределение природного газа и централизованного теплоснабжения (сеть) между различными типами конечных потребителей/секторов и, следовательно, вводить некоторые простые пространственные и топологические условия (например, расположение коммерческой деятельности рядом с жилыми зданиями, подключенными к той же сети, или доля населения, проживающего в густо/средне/малонаселенных районах).

Все элементы управления могут быть пересмотрены/обновлены (путем изменения цифр) или отключены (путем удаления метки "~UC_T:" для использования модели в будущем.

Каждая таблица управления включает имя и описание, чтобы помочь и направить пользователей в (физической) интерпретации ограничения.

Scen_UC_TRA*: Этот файл сценария включает элементы управления (пользовательские ограничения) для технических и рыночных барьеров, влияющих на проникновение различных технологий в транспортный комплекс.

Пользователи могут контролировать долю подержанных автомобилей, рыночные предпочтения различных новых автомобилей, а также расширение электрической железной дороги в стране.

Каждая таблица управления включает название и описание, чтобы помочь и направить пользователей в (физической) интерпретации ограничения.

Scen_Hurdle_Rates: Этот файл содержит специфические для технологии ставки дисконтирования от 7% до 45%, которые используются при расчете приведенной стоимости всех денежных потоков в горизонте модели.

После расчета желаемого сценария с включением этого файла необходимо выполнить быстрый запуск нового сценария. Этот сценарий идентичен предыдущему желаемому сценарию, который, в свою очередь, используется для фиксации всех лет модельного горизонта (опция «Загрузить GDX» в панели управления VEDA-FE, установить «фиксировать годы до» последнего года), за исключением этого. время Scen_Hurdle_Rates следует исключить из расчета.

Scen_Ren_Share*: Эти файлы включают пользовательские ограничения для установки: верхнего предела переменной возобновляемой энергии в общем производстве электроэнергии; нижнего предела для всех электростанций на возобновляемой энергии и ТЭЦ в общем производстве электроэнергии; верхнего предела только тепловых станций в общем централизованном производстве тепла; верхнего предела тепловых насосов с воздушными источниками в общем централизованном производстве тепла; нижнего предела генерации ТЭЦ в общем централизованном производстве тепла.

Scen_UC_Agr: здесь расположены пользовательские ограничения для установки: нижнего предела использования централизованного тепла при

производстве пара для сельского хозяйства; верхнего предела использования природного газа при производстве пара для сельского хозяйства.

Scen_UC_Ind: Этот сценарий включает пользовательские ограничения для установления верхних пределов централизованного тепла при производстве пара для различных отраслей промышленности, верхнего предела использования водорода во всех приводах машин и верхних пределов использования лома при производстве стали и алюминия.

Scen_ELC-Nuc_High_Inv: Этот файл определяет новые повышенные инвестиционные затраты для АЭС EUNUC101.

Scen_ELC_GAS*: Эти файлы включают пользовательские ограничения для установки верхних и нижних пределов доли электростанций и ТЭЦ, работающих на природном газе и водороде, в общем производстве электроэнергии.

1.6 Результаты моделирования TIMES

В Казахстане активно предпринимаются дополнительные усилия для достижения целей, предусмотренных Парижским соглашением и обязательствами Казахстана по достижению углеродной нейтральности к 2060 году. Предпринимаются максимальные усилия по декарбонизации, включая рыночную политику, регуляторную политику и значительные государственные инвестиции.

В данном отчете будет приведен один сценарий – Бизнес как обычно, или, другими словами, Базовый сценарий.

Базовый сценарий описывает гипотетический путь развития экономики при условии отсутствия существенных технологических изменений или политических мер, направленных на усиление декарбонизации в Казахстане. Он экстраполирует текущие тенденции развития на весь будущий горизонт моделирования.

Предположения для Базового сценария

Здесь представлены предположения, используемые для базового сценария:

- ВВП в период 2022-2026 согласно Прогнозу социально-экономического развития РК (МНЭ РК) и далее до 2030 года по 4,0% в год, до 2035 года по 3,5% в год, до 2040 по 3,0% в год, до 2050 года по 2,0% в год и до 2060 года по 1,0% в год;
- Рост населения в период 2022-2026 согласно Прогнозу социально-экономического развития РК (МНЭ РК) и далее до 2060 года ежегодные темпы роста в диапазоне 0,8-0,9% в год;
- Добыча нефти повышается до пика (115 миллион тонн) 2035 году и далее постепенно снижается;
- Газификация страны идет согласно прогнозному балансу газа РК как минимум и согласно сценарным предположениям как максимум.
- Доля выработки электроэнергии на природном газе на уровне 20% и 25% в 2020 и 2030 годах соответственно и далее до 2060 года без ограничений;
- Доля выработки электроэнергии на ВИЭ на уровне 3%, 6%, 15% в 2020, 2025 и 2030 годах и далее до 2060 года без ограничений.

Выбросы парниковых газов по сектору энергетики

Выбросы парниковых газов представлены на рисунке ниже.

Из графика видно, что в базовом сценарии выбросы растут на всем расчетном периоде до 2060 года со стабилизацией в периоде 2040-2060 года. Уровень выбросов ПГ в энергетическом секторе достигает уровня 1990 года после 2025 года. Максимального уровня выбросы достигают к концу периода, к 2060 году выбросы ПГ составляют в районе 381 миллион тонн CO2экв.

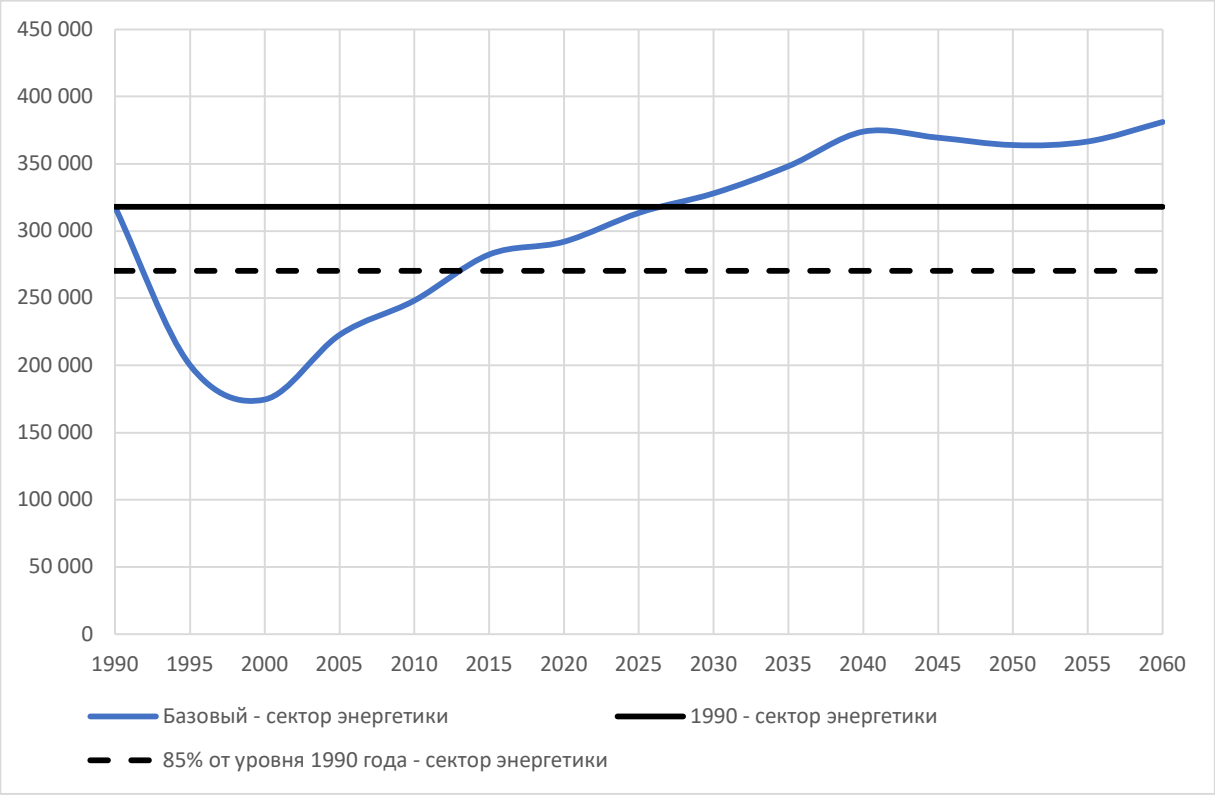


Рисунок 1.2 – Выбросы ПГ от сектора энергетики (по МГЭИК), ктCO_2экв

Выбросы ПГ в энергетических отраслях

В данной части работы приводятся выбросы в энергетических отраслях в секторальной разбивке согласно классификации МГЭИК.

Производство тепло- и электроэнергии

В производстве тепло- и электроэнергии выбросы ПГ представлены ниже на рисунке.

Выбросы ПГ в секторе производства электроэнергии возрастают до 2040 года и далее снижаются. Связано это с выходом из структуры угольных мощностей и замещением их газовыми мощностями и возобновляемыми источниками энергии.

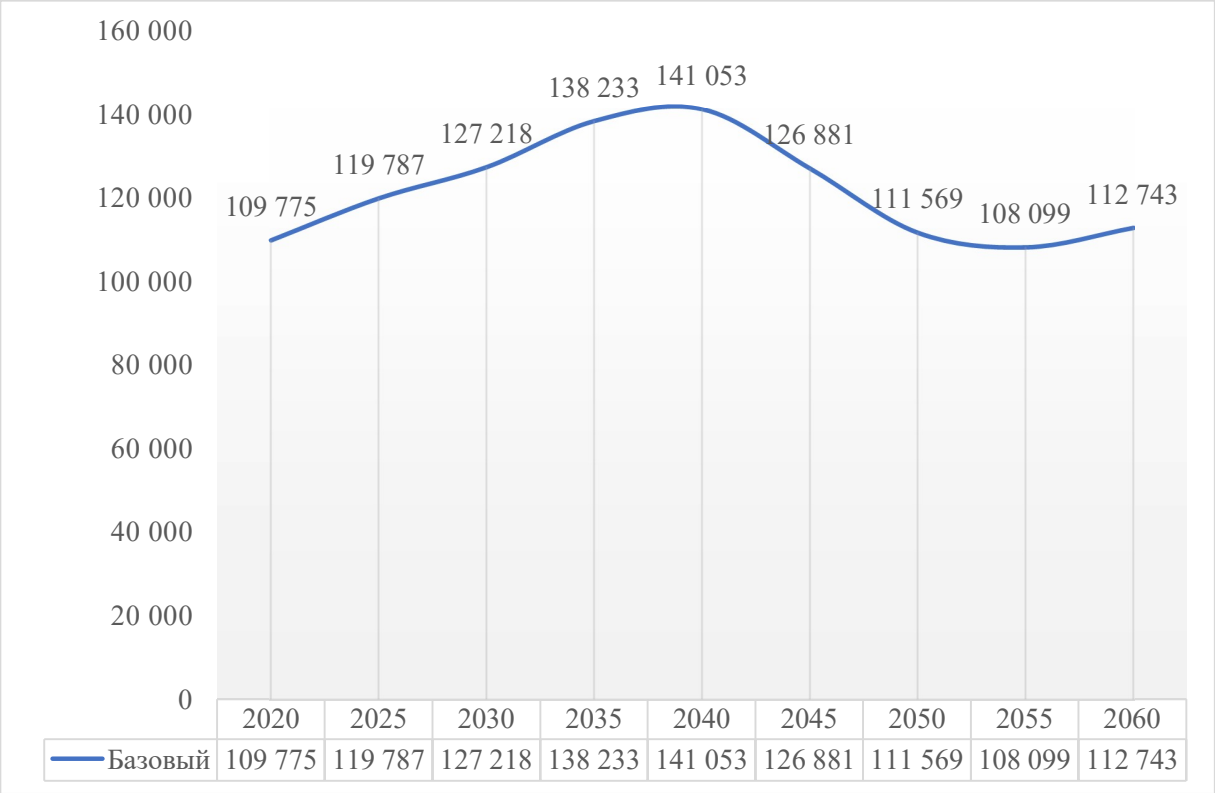


Рисунок 1.3 – Выбросы ПГ от производства электроэнергии, ктCO_2экв

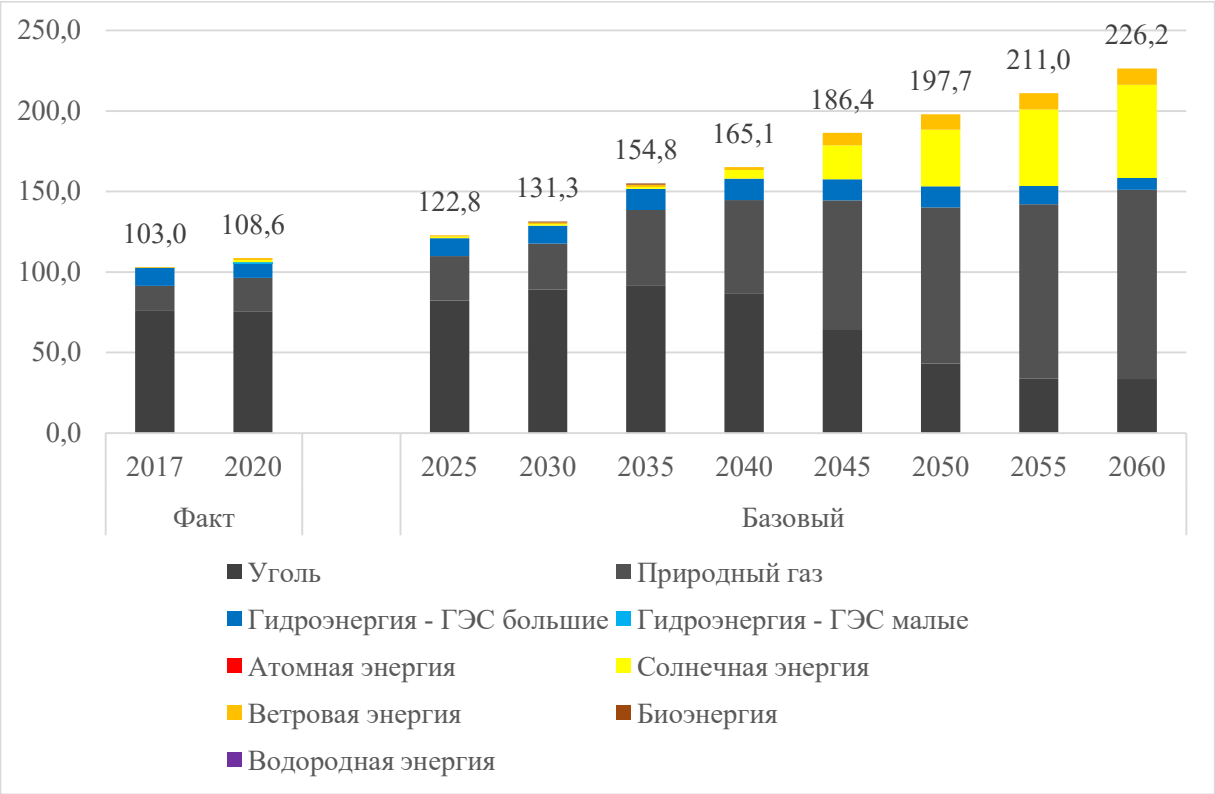


Рисунок 1.4 - Выработка электроэнергии, млдр квт*ч

Как видно из графика, в Базовом сценарии выработка растет постепенно и увеличивается около 2 раз к 2060 году. При этом большую роль играет возобновляемые и альтернативные источники энергии.

Таблица 1.2 – Выработка электроэнергии, млдр квт*ч

	Факт		**Базовый**				
	2017	2020	2025	2030	2040	2050	2060
Уголь	76.3	75.1	82.2	89.1	86.4	43.2	33.6
Природный газ	15.2	21.2	27.6	28.5	58.3	96.8	117.4
ГЭС большие	11.2	9.1	11.2	11.2	13.3	13.3	7.4
ГЭС малые	0.0	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Атом	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Солнце	0.0	1.3	1.0	1.0	5.4	35.1	57.7
Ветер	0.3	1.1	0.8	0.8	1.8	9.5	10.0
Биоэнергия	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0	0.0	0.0
Водород	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Всего	103.0	108.6	122.8	131.3	165.1	197.7	226.2

Таблица 1.3 – Структура выработки электроэнергии, %

	Факт		**Базовый**				
	2017	2020	2025	2030	2040	2050	2060
Уголь	74.1	69.1	67.0	67.9	52.3	21.8	14.8
Природный газ	14.7	19.5	22.5	21.7	35.3	48.9	51.9
ГЭС большие	10.8	8.4	9.1	8.5	8.0	6.7	3.3
ГЭС малые	0.0	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Атом	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Солнце	0.0	1.2	0.8	0.7	3.3	17.7	25.5

	Факт		Базовый				
Ветер	0.3	1.0	0.7	0.6	1.1	4.8	4.4
Биоэнергия	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0
Водород	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Всего	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
Доля ВИЭ	0.4	3.0	1.5	1.9	4.3	22.5	30.0

Структура выработки показывает, что доля угля в выработке уменьшается. Доля природного газа увеличивается стабильно и достигает почти половину выработки электроэнергии к 2060 году. Происходит увеличение доли ВИЭ до почти 30% к 2060 году.

Таблица 1.4 – Установленные мощности электростанций, ГВт

	Факт		Базовый				
	2017	2020	2025	2030	2040	2050	2060
Уголь	16.3	14.7	15.2	16.6	18.8	11.7	10.1
Природный газ	3.1	4.0	5.6	5.6	11.0	20.4	26.9
ГЭС большие	2.6	2.8	2.6	2.6	3.1	3.1	1.7
ГЭС малые	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Атом	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Солнце	0.1	0.9	0.6	0.6	3.2	20.4	33.6
Ветер	0.1	0.5	0.3	0.3	0.6	3.2	3.4
Биоэнергия	0.0	0.0	0.1	0.3	0.3	0.3	0.2
Водород	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Всего	22.2	24.2	24.4	25.9	37.0	59.1	76.0

Как видно из таблицы, увеличение возобновляемых мощностей ведет к увеличению общей мощностей в большей мере чем традиционные виды

электростанций в силу меньших коэффициентов использования установленной мощности. В Базовом сценарии мощности увеличиваются в 3,4 раза к 2060 году по сравнению к 2017 году.

В секторе производства теплоэнергии представлены выбросы от котельных, так как выбросы от теплоэлектроцентралей вошли в состав производства электроэнергии. Ниже представлены выбросы ПГ от котельных. Как видно, выбросы ПГ снижаются до 2040 года и затем возрастают до начального уровня. Снижение до 2040 года происходит за счет улучшения энергоэффективности котельных систем, но после 2040 года идет увеличение спроса, что влечет за собой увеличение ПГ.

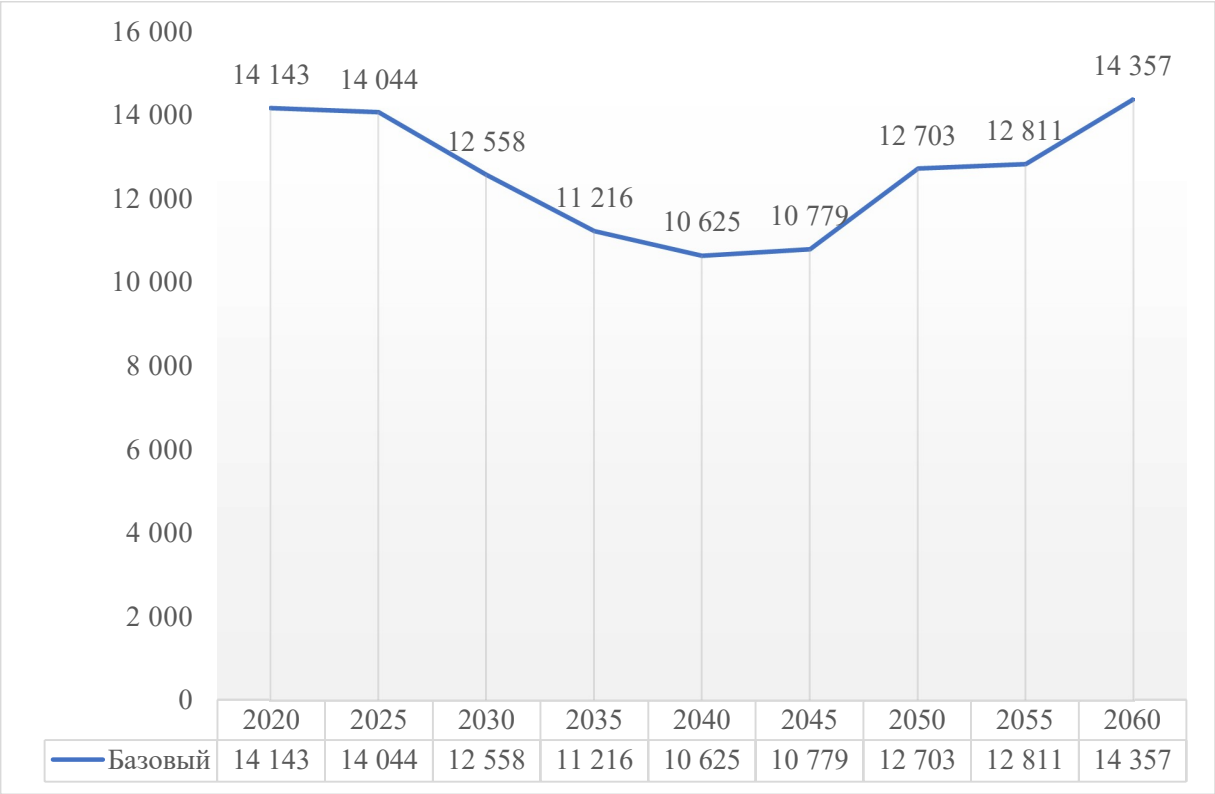


Рисунок 1.5 – Выбросы ПГ в производстве теплоэнергии, ктCO_2экв

Сектор нефтепереработки

Выбросы ПГ в нефтепереработки представлены ниже. Выбросы снижаются в Базовом сценарии 2035 года, и затем увеличиваются. Снижение идет за счет снижения мазута для экспорта, увеличение за счет увеличения потребления того же мазута в более энергоэффективных процессах в промышленности.

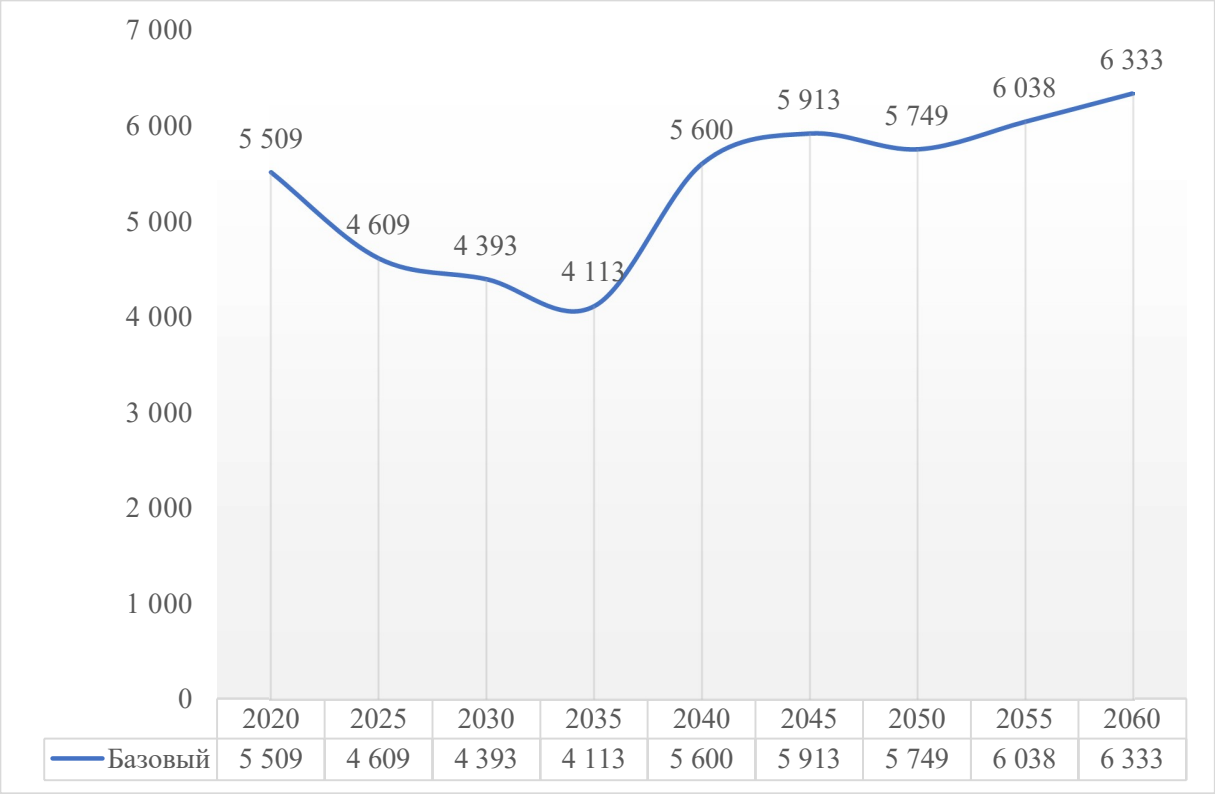


Рисунок 1.6. – Выбросы ПГ в нефтепереработке, ктCO_2экв

Сектор промышленности и строительства

Выбросы ПГ в промышленности и строительстве представлены ниже.

Как видно, из рисунка, выбросы ПГ по сектору промышленности и строительства растут в Базовом сценарии, так как это связано с ростом экономики и соответственно с ростом потребления энергоресурсов. Выбросы ПГ вырастают к 2060 году почти в 2 раза, при этом заметно снижение темпов роста и стабилизация в последней декаде.

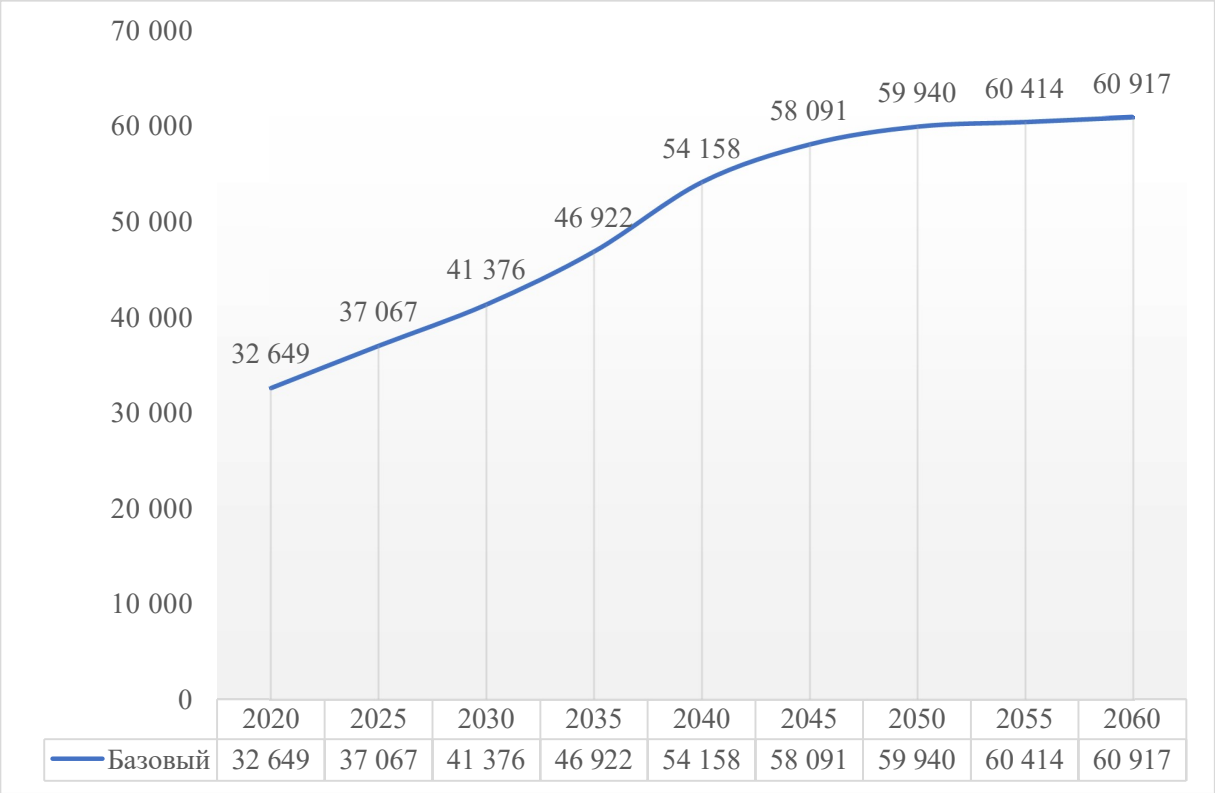


Рисунок 1.7 – Выбросы ПГ в промышленности, ктCO_2экв

Транспортный сектор

Выбросы ПГ в базовом сценарии растут, что связано с ростом экономики и спросом на грузоперевозки и пассажироперевозки.

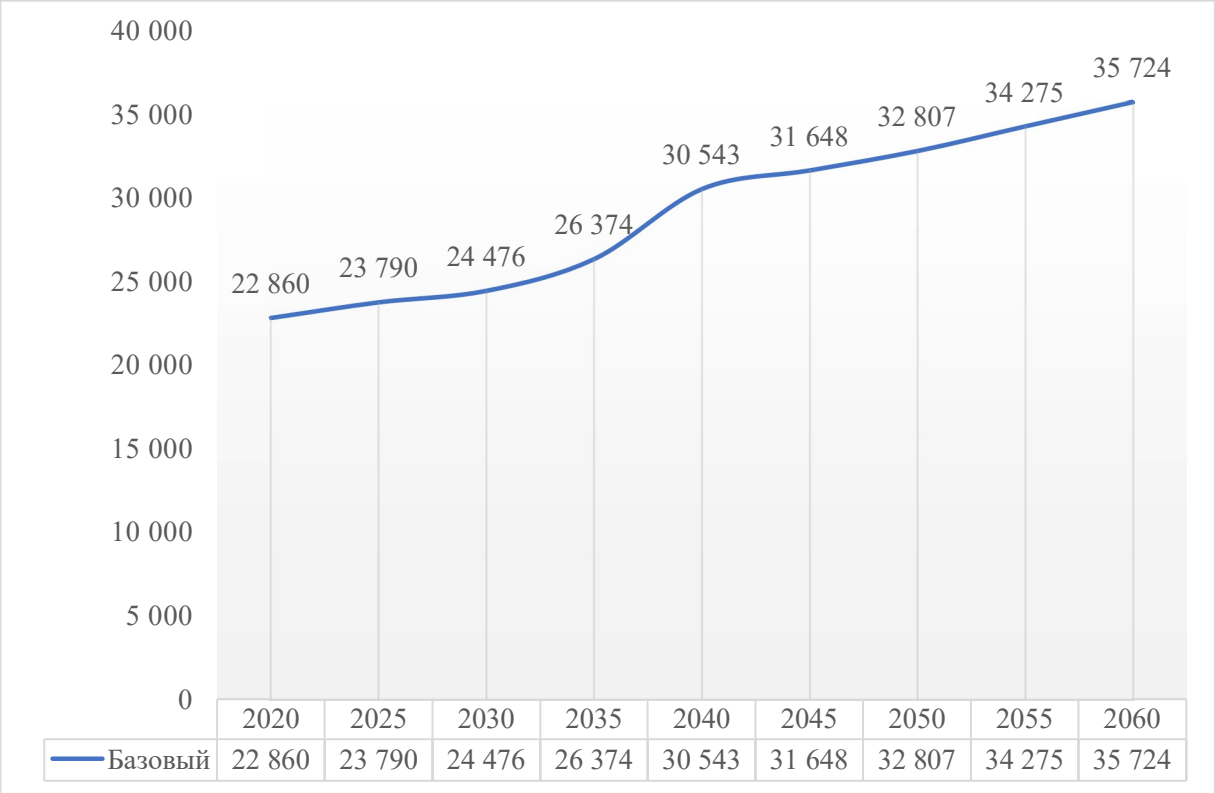


Рисунок 1.8 – Выбросы ПГ в транспортном секторе, ктCO_2экв

Коммерческий сектор

Ниже представлены выбросы ПГ по коммерческому сектору. Выбросы ПГ в коммерческом секторе снижаются в силу увеличения энергоэффективности используемых технологий и электрификации. Это позволяет стабилизировать на одном уровне выбросы ПГ.

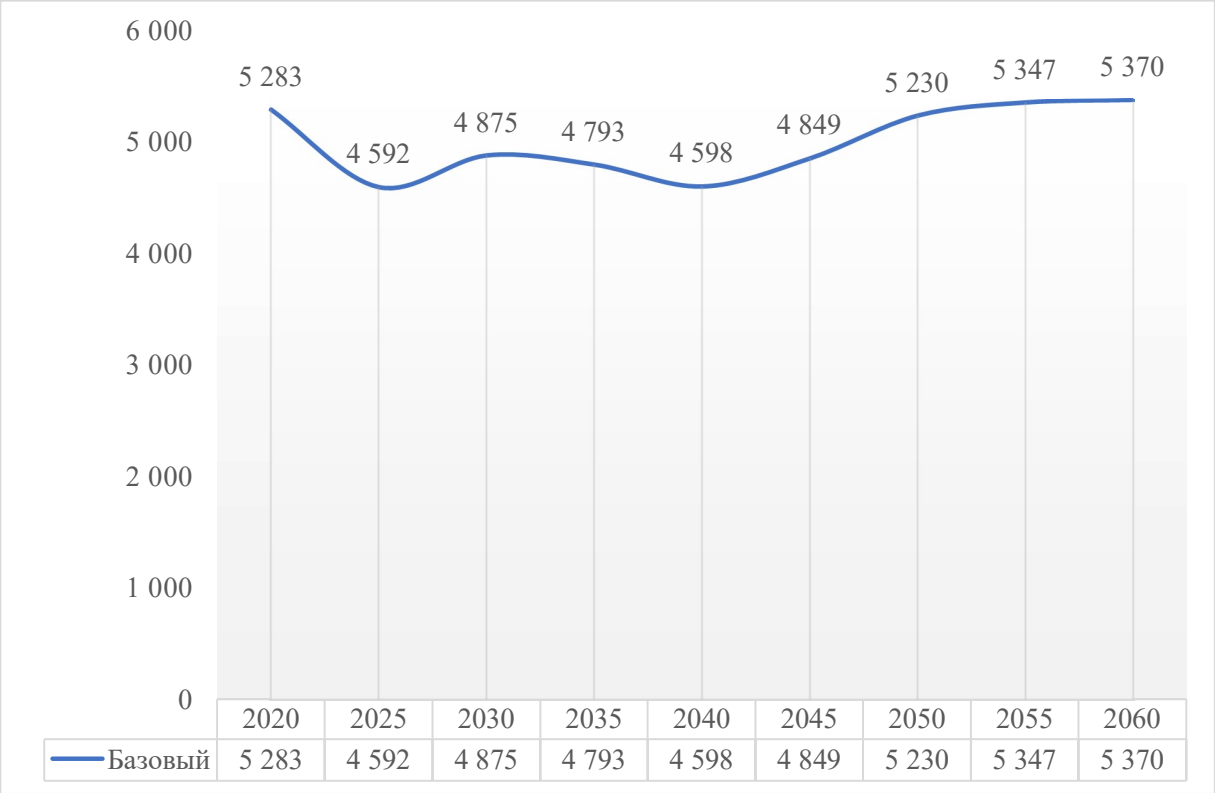


Рисунок 1.9 – Выбросы ПГ коммерческого сектора, ктCO_2экв

Население (здания)

Ниже представлены выбросы ПГ по сектору населения (здания). В данном секторе выбросы ПГ к 2060 году возрастают, но при этом имеется период снижения выбросов ПГ 2025-2040 годы и период дальнейшего возрастания с 2040 года по 2060 год. Здесь налицо влияние смены угля на природный газ в период снижения выбросов ПГ. Дальнейший рост выбросов связан с ростом спроса на энергию со стороны населения, что сопровождается как расширением газификации до конца периода, так и ростом использования угля.

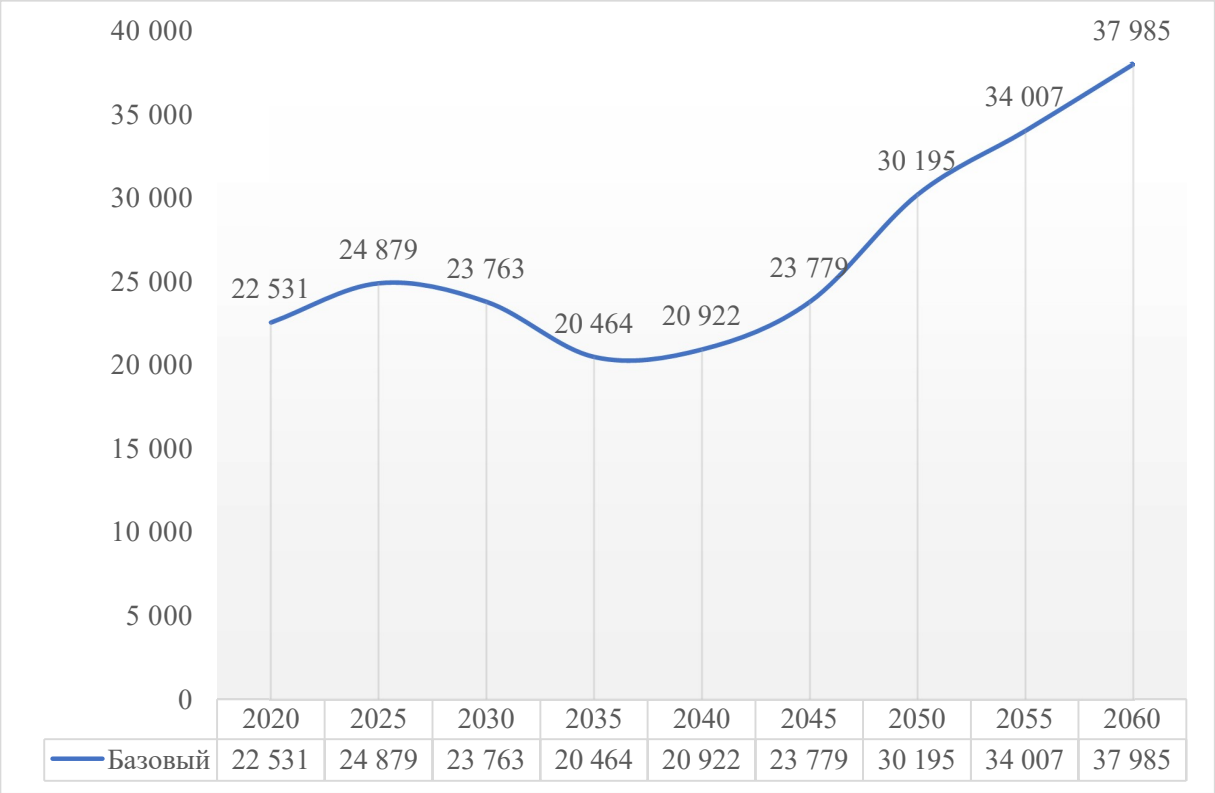


Рисунок 1.10 – Выбросы ПГ по населению, ктCO_2экв

Сельское хозяйство

Ниже представлены выбросы ПГ по сельскому хозяйству. Выбросы ПГ в сельском хозяйстве растут в базовом сценарии в силу роста отрасли, как одной из важных для экономики страны и, соответственно, ростом использования нефтепродуктов в сельскохозяйственной техники.

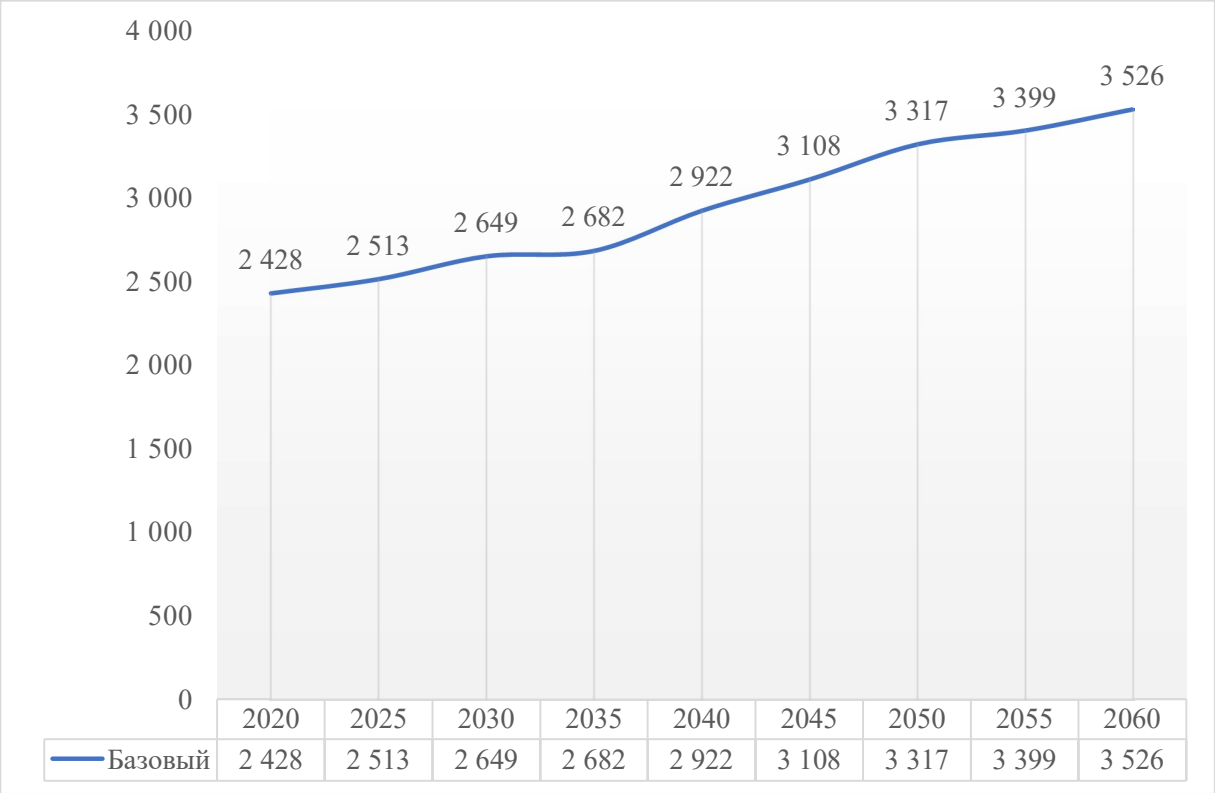


Рисунок 1.11– Выбросы ПГ в сельском хозяйстве, ктCO_2экв

Сектор прочие

Выбросы ПГ в данном секторе относятся к тем выбросам, источники которых не идентифицированы и не распределены к соответствующим секторам. Связано это с тем, что не происходит полная отчетность по использованию топлива. В кадастре ПГ, который предоставляется в РКИК ООН, в описании к данному сектору приводится список энергопродуктов по которым наблюдаются выбросы и анализ возможного использования. Базируясь на данной информации, была предпринята попытка промоделировать данный сектор путем привязки данных выбросов к соответствующим видам активности. Так по твердому виду была привязка к деятельности, которая использует кокс, по жидкому виду привязка была к объёмам нефтепродуктов и по газообразному виду привязка была к использованию природного газа в системе.

Ниже приведены полученные выбросы ПГ по данному сектору. Как видно выбросы ПГ растут до 2040 года и затем идет постепенное снижение до конца периода.

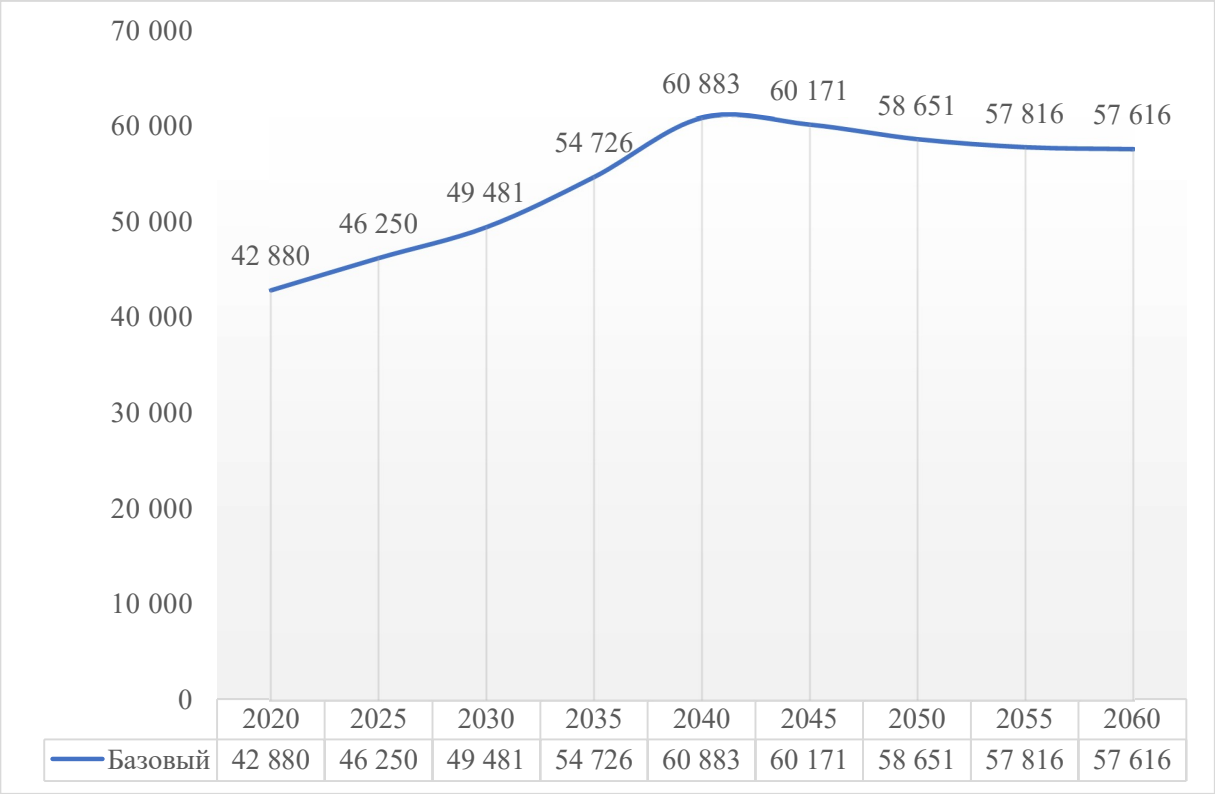
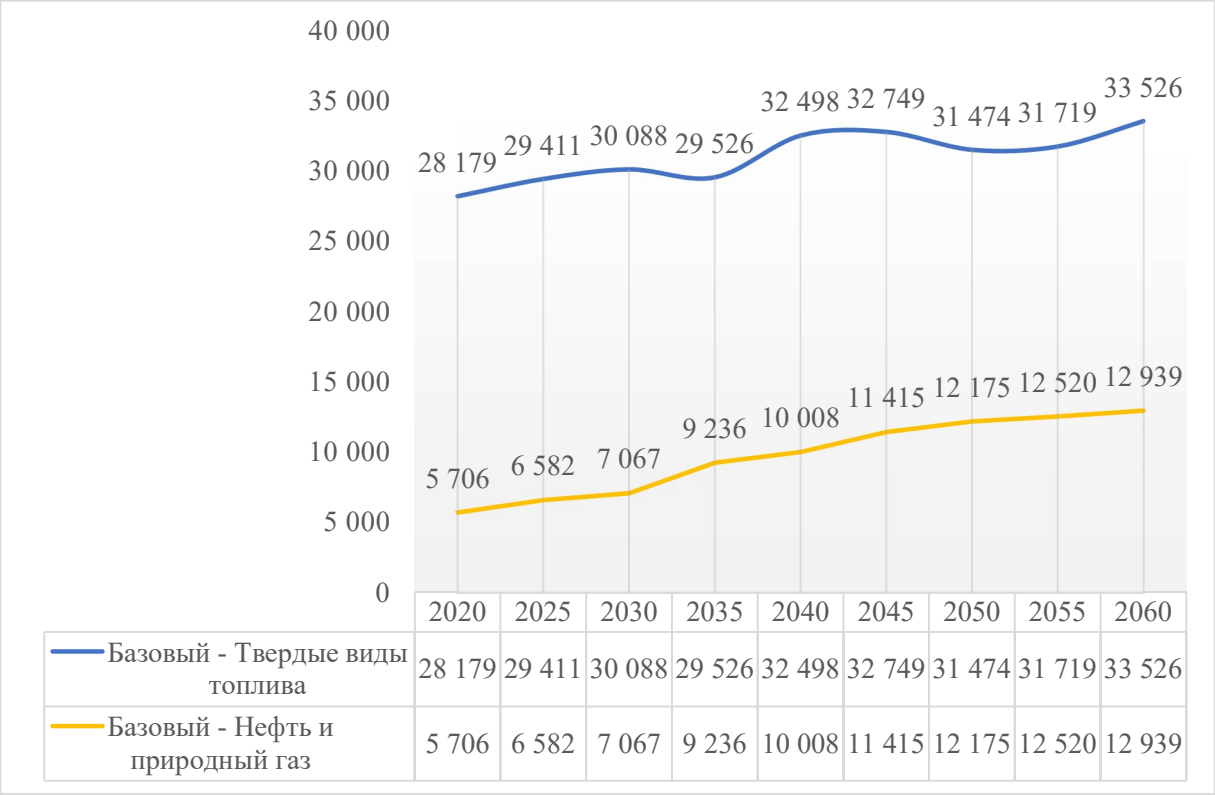


Рисунок 1.12 – Выбросы ПГ в секторе прочие, ктCO_2экв

Выбросы парниковых газов в секторе летучих эмиссий

Выбросы ПГ по сектору летучих эмиссий зависят от политик и мер в других секторах. Видно, что в сценарии без мер идет рост выбросов от летучих эмиссий как от всех видов топлива.



	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060
Базовый - Твердые виды топлива	28 179	29 411	30 088	29 526	32 498	32 749	31 474	31 719	33 526
Базовый - Нефть и природный газ	5 706	6 582	7 067	9 236	10 008	11 415	12 175	12 520	12 939

Рисунок 1.13 – Выбросы ПГ в секторе летучих эмиссий, ктCO_2экв

В данной работе была проведена работа по обновлению модели энергетической системы TIMES и проведен расчет базового сценария на основе обновленной модели.

По полученным результатам, выбросы ПГ в базовом сценарии возрастают на всем прогнозном периоде. В секторе производства электроэнергии выбросы ПГ возрастают с замедлением в конце периода в связи с ростом доли природного газа и возобновляемых источников энергии. Установленные мощности возрастают в большей мере чем выработка из-за влияния сниженных коэффициентов использования установленных мощностей для ВИЭ. В секторе производства теплоэнергии, выбросы ПГ растут на всем периоде. Выбросы ПГ в нефтепереработки снижаются до 2035 года, и затем увеличиваются. Снижение идет

за счет снижения мазута для экспорта, увеличение за счет увеличения потребления того же мазута в более энергоэффективных процессах в промышленности.

Выбросы ПГ по сектору промышленности и строительства растут стабильно на всем периоде с замедлением к концу расчетного периода и прямо коррелируют с ростом экономики.

Выбросы ПГ в транспортном секторе, что связано с ростом экономики и спросом на грузоперевозки и пассажироперевозки.

Выбросы ПГ в коммерческом секторе снижаются в силу увеличения энергоэффективности используемых технологий и электрификации. Это позволяет стабилизировать на одном уровне выбросы ПГ.

В секторе населения (здания) выбросы ПГ к 2060 году возрастают, но при этом имеется период снижения выбросов ПГ 2025-2040 годы и период дальнейшего возрастания с 2040 года по 2060 год. Здесь налицо влияние смены угля на природный газ в период снижения выбросов ПГ. Дальнейший рост выбросов связан с ростом спроса на энергию со стороны населения, что сопровождается как расширением газификации до конца периода, так и ростом использования угля.

Выбросы ПГ в сельском хозяйстве растут в базовом сценарии в силу роста отрасли, как одной из важных для экономики страны и, соответственно, ростом использования нефтепродуктов в сельскохозяйственной техники.

Выбросы ПГ в секторе «Прочие» растут до 2040 года и затем идет постепенное снижение до конца периода.

Выбросы ПГ от летучих эмиссий зависят от политик и мер в других секторах. В базовом сценарии идет рост выбросов от летучих эмиссий от всех видов топлива.

2 SD модель системной динамики

2.1 Описание модели

Модель системной динамики основана на нелинейном поведении сложных систем с течением времени и сочетающих запасы, потоки, внутренние контуры обратной связи и временные задержки. Системная динамика дополняет системное мышление количественным определением взаимодействий и развивает зависящее от времени представление о том, как ведет себя система. Подход фокусируется на построении компьютерных моделей, которые представляют и моделируют сложные проблемы, в которых поведение меняется. Эти модели выявляют менее заметные взаимосвязи, динамическую сложность, задержки и непредвиденные последствия взаимодействий.

Она включает социальные, экономические и экологические показатели и объединяют прямые, косвенные и индуцированные экономические и общественные затраты и выгоды от различных путей отраслевого развития.

Vensim используется для разработки, анализа и упаковки динамических моделей обратной связи. Программа может создавать и моделировать модели как с несколькими переменными, так и с миллионами. Она имеет множество встроенных функций, включая определенные пользователем Lookups, тестовые шаблоны ввода, логические операторы, генераторы случайных чисел, непрерывные и дискретные задержки, сглаживания и прогнозы, а также настраиваемые макросы и внешние функции.

В системной динамике были рассмотрены такие сектора как сельское хозяйство, сектор жилых зданий, добыча и использование угля, транспорт, и управление отходами.

2.2 Состояние жилищного фонда в Казахстане

Сектор ЖКХ является одним из важных источников выбросов парниковых газов, составляя 8% от национальных суммарных выбросов CO2 в 2018 году (РКИК ООН, 2020). На сегодняшний день на долю жилого сектора приходится 43,5% от общего конечного потребления электроэнергии в Казахстане, тем самым сектор зданий стал первым по величине потребителем, сместив лидирующий последние пять лет сектор промышленности (Бюро Национальной статистики).

Источник – stat.gov.kz

Рисунок 22 – Конечное электропотребление по отраслям

Климат Казахстана является резко континентальным и ему характерны большие амплитуды колебаний температур, что выражается в продолжительных холодных зимах и жарком лете. Все это приводит к особенно высокому спросу на энергию для отопления и охлаждения зданий.

Кроме того, использование энергии и выбросы ПГ в секторе зданий тесно связаны с наличием и эффективностью коммунальных услуг в области теплоснабжения, водоснабжения и водоотведения. Например, на системы централизованного теплоснабжения приходится более 50 % энергопотребления в городах Казахстана. На сегодня убытки теплосетей составляют до 30% от поставляемой энергии. Потребность в ремонте и замене сетей очень существенна.

По данным национальной статистики жилищный фонд составляет 387,7 млн.кв.м., из них 97,9 % находятся в частной собственности и 2,1% в государственной.

По данным Комитета по статистике Министерства национальной экономики РК общее количество многоквартирных жилых домов (МЖД) составляет 310 810 единиц, из них в городских населенных пунктах 130 526 единиц, в сельских населенных пунктах 180 284 единиц. По данным местных исполнительных органов (МИО) в Казахстане насчитывается всего 54 474 МЖД, из них зарегистрировано 860 МЖД, находящиеся в аварийном состоянии, что составляет 1,6% от общего количества и 2 541 находятся в ветхом состоянии или 4,6%, требующих капитального ремонта составляет 18 525 или 34% от общего количества МЖД.

Доля жилых домов, не отвечающих современным энергетическим стандартам, довольно высока. В Казахстане были приняты необходимые меры в области энергосбережения и повышения энергоэффективности для привлечения инвестиций, в том числе и для жилищного фонда.

В 2012 году был принят Закон РК «Об энергосбережении и повышении энергоэффективности», где проектируемые и строящиеся (реконструируемые, капитально ремонтируемые) здания, строения, сооружения должны соответствовать требованиям законодательства Республики Казахстан об энергосбережении и повышении энергоэффективности.

Требуемый класс энергоэффективности указывается в задании заказчика на разработку проекта строительства (реконструкции, капитального ремонта) и указывается в техническом паспорте построенного и введенного в эксплуатацию объекта при регистрации прав на недвижимое имущество после ввода завершенного строительством (реконструкцией, капитальным ремонтом) объекта в эксплуатацию.Класс энергоэффективности существующих зданий, строений, сооружений и его пересмотр устанавливается в порядке, определяемом уполномоченным органом, по итогам проведения энергоаудита и указывается в техническом паспорте здания, строения,сооружения.

В Казахстане при проектировании и эксплуатации новых и реконструируемых зданий они должны соответствовать следующим классам энергоэффективности (Согласно СН-РК 2.04-04-2011 «Тепловая защита зданий»).

Таблица 2.1 - Классы энергетической эффективности жилых и общественных зданий.

Обозначение класса	**Наименование класса энергетической эффективности**	**Величина отклонения расчетного (фактического) значения показателя энергетической эффективности на отопление и вентиляцию здания от нормативного, %**
При проектировании и эксплуатации новых и реконструируемых зданий		
A++ A+ A	Очень высокий	ниже -60 от -50 до -60 от -40 до -50
B+ B	Высокий	от -30 до -40 от -15 до -30
C+ C C-	Нормальный	от - 5 до – 15 от +5 до -5 от + 15 до + 5
При эксплуатации существующих зданий		
D	Пониженный	от + 15,1 до + 50
E	Низкий	более +50

По данным статистики с 2015 по 2019 год было введено в эксплуатацию 3 311 зданий, из них жилых зданий - 1 592 единиц, в том числе 56 соответствуют очень высоком классу А, 241 жилых зданий соответствуют высокому классу (В) и 1 295 единиц принадлежат нормальному классу (С).

Ранее в рамках энергоаудита проведенного АО «Казахстанским центром модернизации и развития жилищно- коммунального хозяйства» было обследовано 960 МЖД и 145 объектов социальной сферы. Результаты анализа показывают высокое энергопотребление в жилищном секторе. Основная масса обследованных зданий соответствуют классу энергоэффективности «Д-Е».

В среднем, уровень потребления тепловой энергии на обогрев зданий по обследованным домам составляет 270 кВтч/м2 в год, что существенно выше среднеевропейских показателей - 100-120 кВтч/м2. Основными причинами такой низкой энергоэффективности зданий являются климатические условия и высокие потери из-за недостаточной теплоизоляции зданий.

В целях повышения энергоэффективности и повышения энергосбережения в рамках Программы проводятся мероприятия по установке приборов учета. В результате чего, по стране в течение 2015-2020 годов была профинансирована установка 9 825 общедомовых приборов учета теплоэнергии.

Государственной программой жилищно- коммунального развития «Нұрлы жер» на 2020-2025 годы установлен ежегодный целевой показатель по уровню оснащенности общедомовыми приборами учета тепла и воды с достижением к 2025 году 100% по республике. Согласно данным МИО уровень приборизации жилого фонда страны составляет 71,1%. Для 100% приборизации жилого фонда необходимо установка 23 207 единиц общедомовых приборов учета тепла и воды.

Актуальными проблемами казахстанской электроэнергетики остаются износ оборудования, тарифообразование, дефицит маневренной мощности, высокий удельный расход топлива на производство электроэнергии. В Государственной

программе инфраструктурного развития «Нұрлы жол» на 2015-2019 годы, принятой в апреле 2015 года отмечено: «Уровень износа электрических сетей в Казахстане составляет порядка 60%. Для решения проблемы по снижению износа жилищно-коммунального сектора принимается комплекс мер по модернизации (реконструкции и строительству) систем тепло-, водоснабжения и водоотведения. Госпрограммой предусмотрен индикатор «Снижение износа сетей тепло-, водоснабжения и водоотведения» с 57% до 47% к 2025 году.

В то же время, в связи с ростом населения и необходимостью увеличения жилищного фонда на душу населения, в ближайшие пять лет планируется увеличить фонд жилых зданий на 32%.

Строительный сектор в Казахстане один из крупнейших секторов экономики. На долю данного сектора ежегодно приходится до 6% валового внутреннего продукта. Индекс физического объема строительных работ демонстрирует ежегодный рост. По итогам 2018 года индекс - 104,6%, в 2019 году – 113,2%, 2020 году – 111,6%.

В плане занятости строительный сектор обеспечивает порядка 641 тыс. рабочих мест. В общем объеме занятого населения республики доля занятых в отрасли строительства в 2021 году составила 7,3%.

Объем жилищного строительства демонстрирует положительный тренд со среднегодовым приростом порядка 8%. Всего за последние три года в эксплуатацию было введено порядка 45,5 млн. кв. метров общей площади жилых домов, в том числе:

в 2019 году – 13,1 млн. кв. метров;

в 2020 году – 15,3 млн. кв. метров;

в 2021 году – 17,1 млн. кв. метров.

2.3 Входные данные и источники данных для моделирования

Данная модель была разработана посредством создания отраслевых диаграмм причинно-следственных связей (CLD) а также настройкой модели запасов и потоков. Все данные и полученная информация были согласованы с местными заинтересованными сторонами.

Основные источники данных, используемые для отраслевой модели: Бюро национальной статистики РК, Третий обзор результативности экологической деятельности Казахстана, Национальный доклад о кадастре парниковых газов Казахстана, Таблица Общего формата отчетности (CRF) Казахстан. Основные ключевые параметры, которые были использованы для интерпретации результатов, были получены из результатов TIMES.

В модели SD в качестве входных данных модели были использованы два основных фактора - Население и ВВП. Это означает, что эффективность различных отраслевых моделей напрямую не влияет ни на численность населения, ни на ВВП. Данная модель гибридная и результаты СД модели коррелируются с данными вычислимой модели общего равновесия (ВОР), которая рассчитывает ВВП эндогенно. Исторические данные по обоим показателям были получены из Бюро национальной статистики РК, прогноз численности населения был получен из "Мировых демографических перспектив ООН", прогноз ВВП был получен из модели ВОР.

Разбивка по зонам страны

Модель была разработана с разбивкой по регионам, чтобы охватить различные погодные условия в разных частях страны. Были рассмотрены четыре географические области, используемые в системно-динамической модели. Ниже представлен обзор областей, рассматриваемых в каждой зоне страны.

Таблица 2.2 - Агрегирование областей по четырем зонам страны

Тип зоны	**Рассматриваемые области**
Зона 1	• Акмолинская область • Костанайская область • Павлодарская область • Северо-Казахстанская область • Восточно-Казахстанская область • Город Нур-Султан
Зона 2	• Актюбинская область • Алматинская область • Атырауская область • Западно-Казахстанская область • Карагандинская область • Город Алматы
Зона 3	• Кызылординская область • Мангистауская область
Зона 4	• Жамбылская область • Город Шымкент

Южный Казахстан и Туркестанская область не были рассмотрены в данных зонах.

Все данные для каждого типа зоны в модели Vensim используются в виде нижних индексов. Нижние индексы — это функция Vensim, которая позволяет использовать одни и те же структурные компоненты для разных подгрупп переменной (например, прямые выбросы CO2 от зданий по типу здания, зоне страны, местоположению), они используются для симуляции производительности каждой области.

Климатические данные

Калибровка климатических данных по каждой зоне основана на базе данных климата Copernicus (Copernicus, 2020). Эта база данных содержит исторические (база данных ERA5) и прогнозные (база данных CMIP 5) данные с географической привязкой из нескольких климатических моделей и для нескольких сценариев RCP (репрезентативная траектория концентраций). Ниже представлены данные, используемые для каждого местоположения.

Кокшетау – Зона 1

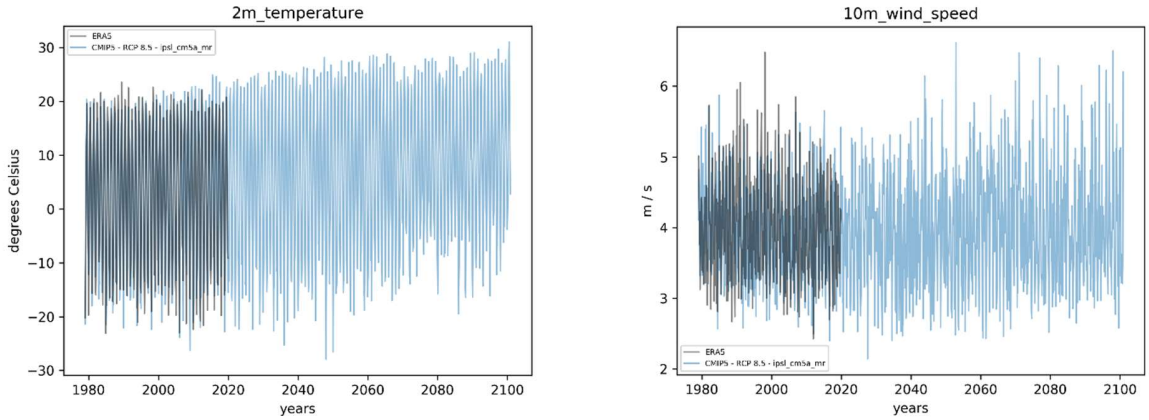


Рисунок 2.2 - Данные о температуре и скорости ветра

Температура, скорость ветра, x – годы, y – градусы Цельсия, м/с

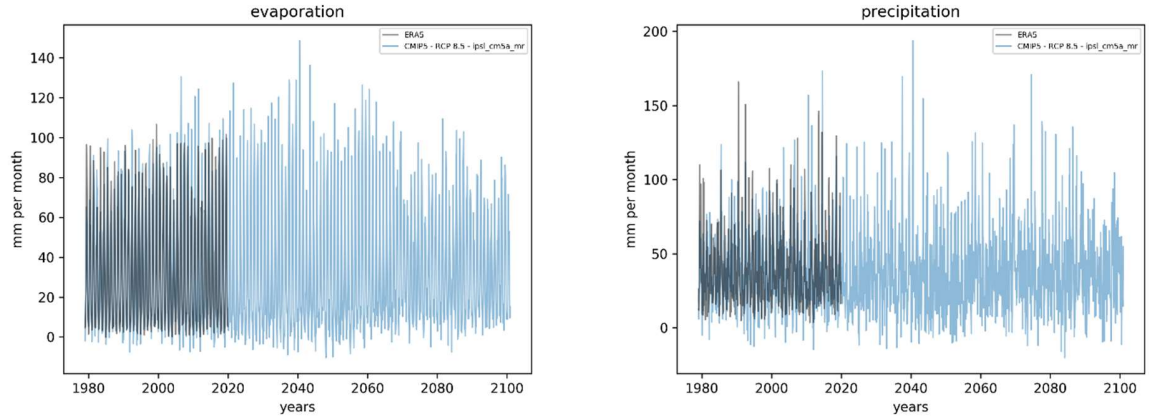


Рисунок 2.3 - Данные об испарении и осадках.

Испарение, осадки, x – годы, y – мм/мес.

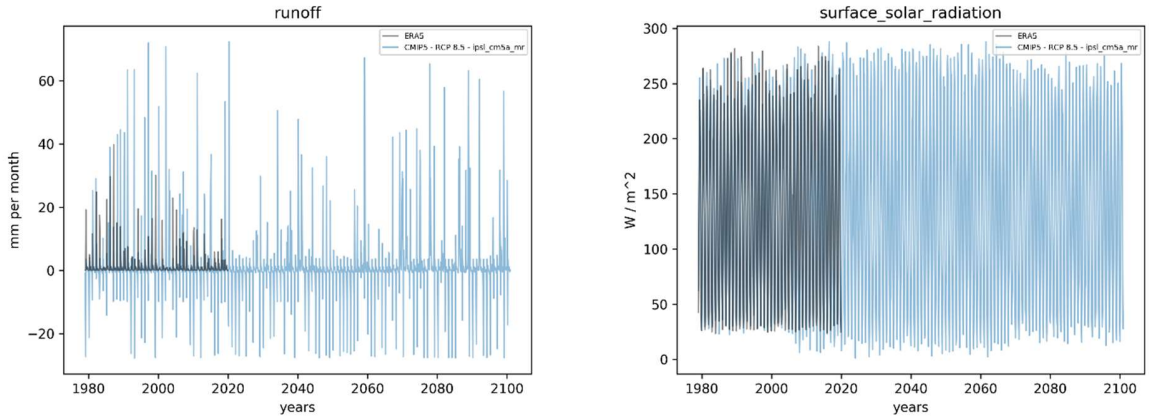


Рисунок 2.4 - Данные о стоке и поверхностной солнечной радиации

Сток, поверхностная солнечная радиация, x – годы, y – мм/мес., Вт/м2

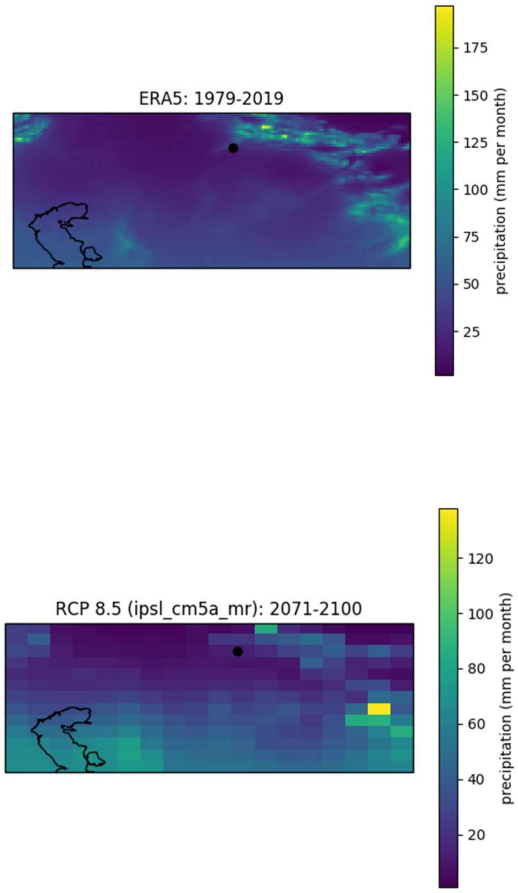


Рисунок 2.5 - Данные об осадках и прогноз RCP 8.5 для Кокшетау.

y-осадки, мм/мес.

Алматы – Зона 2

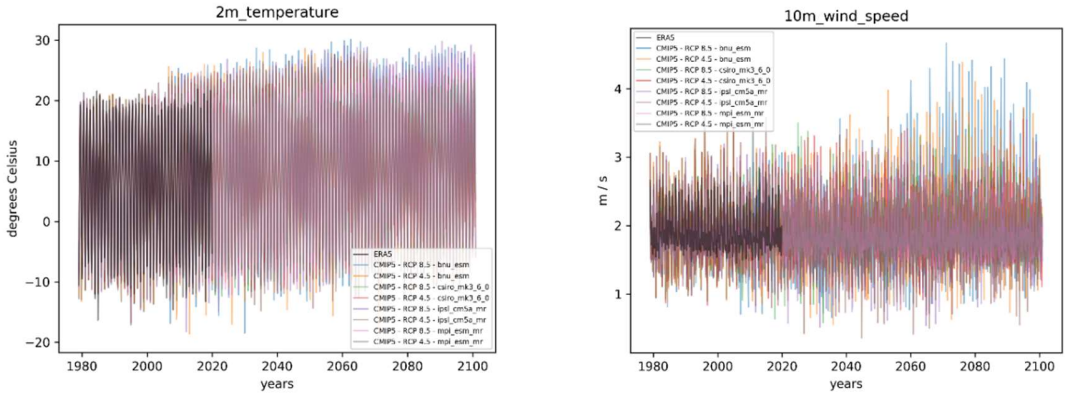


Рисунок 2.6 - Данные о температуре и скорости ветра

Температура, скорость ветра, x – годы, y – градусы Цельсия, м/с

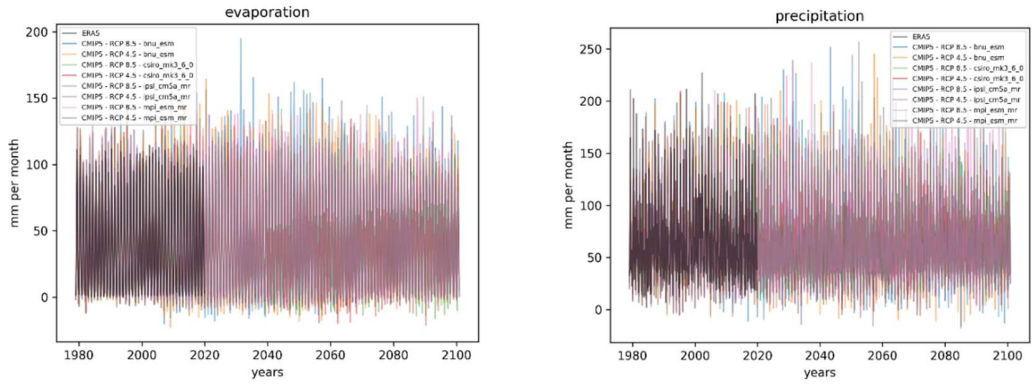


Рисунок 2.7 - Данные об испарении и осадках

Испарение, осадки, x – годы, y – мм/мес.

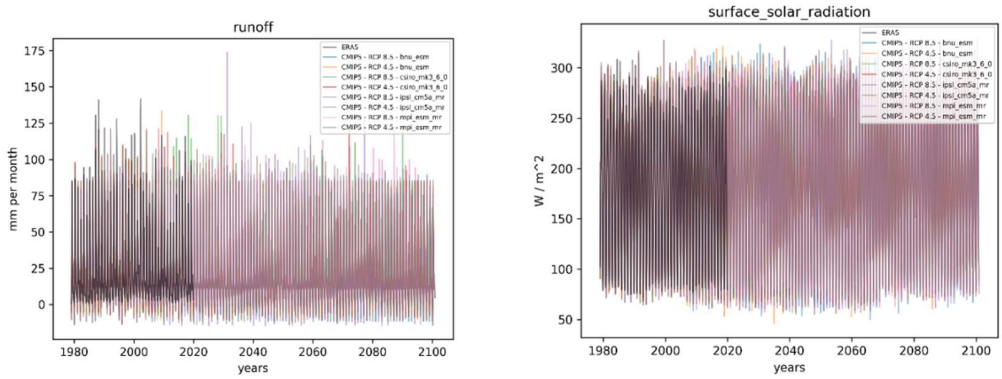


Рисунок 2.8 - Данные о стоке и поверхностной солнечной радиации

Сток, поверхностная солнечная радиация, x – годы, y – мм/мес., Вт/м2

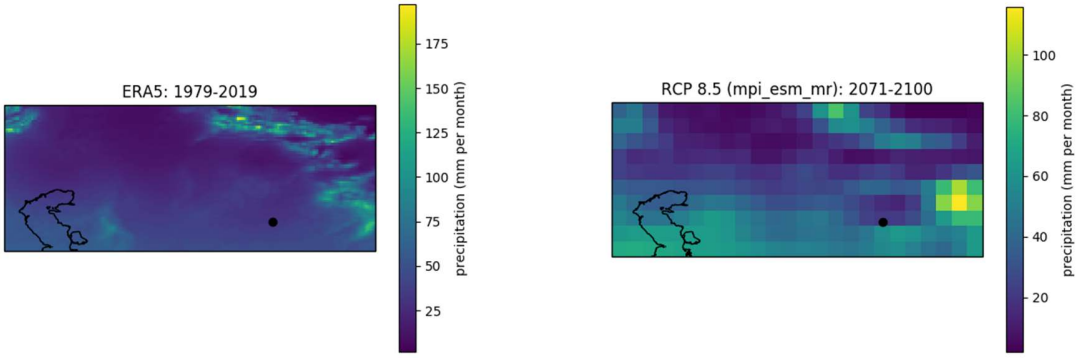


Рисунок 2.9 - Данные об осадках и прогноз RCP 8.5 для Алматы. у-осадки, мм/мес.

Кульсары – Зона 3

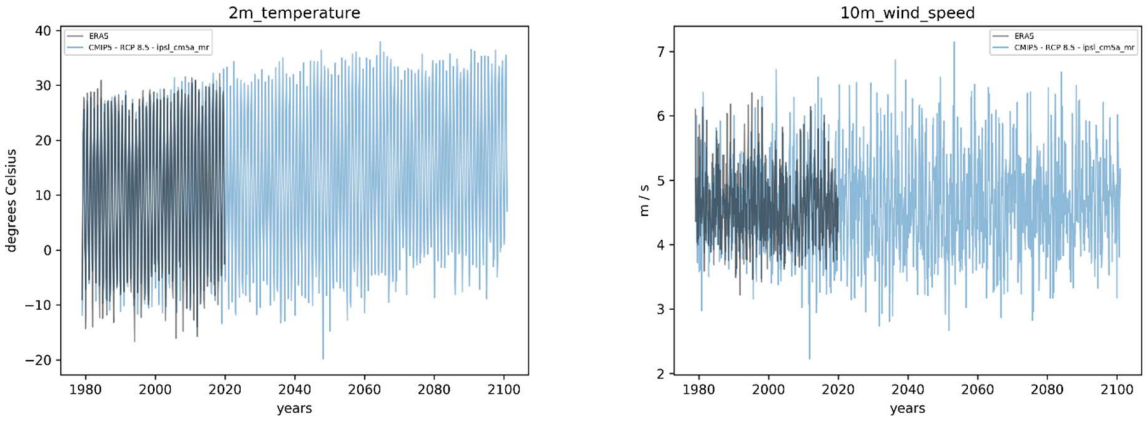


Рисунок 2.10 - Данные о температуре и скорости ветра

Температура, скорость ветра, x – годы, y – градусы Цельсия, м/с

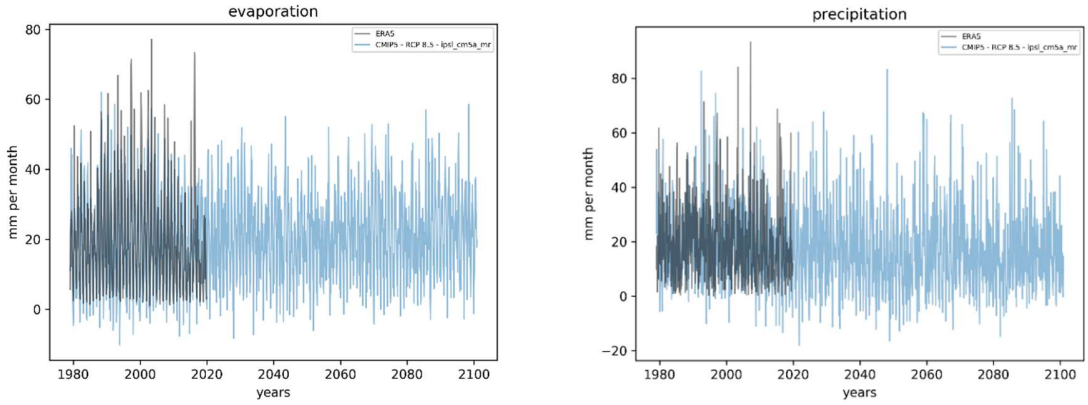


Рисунок 2.11 - Данные об испарении и осадках

Испарение, осадки, x – годы, y – мм/мес.

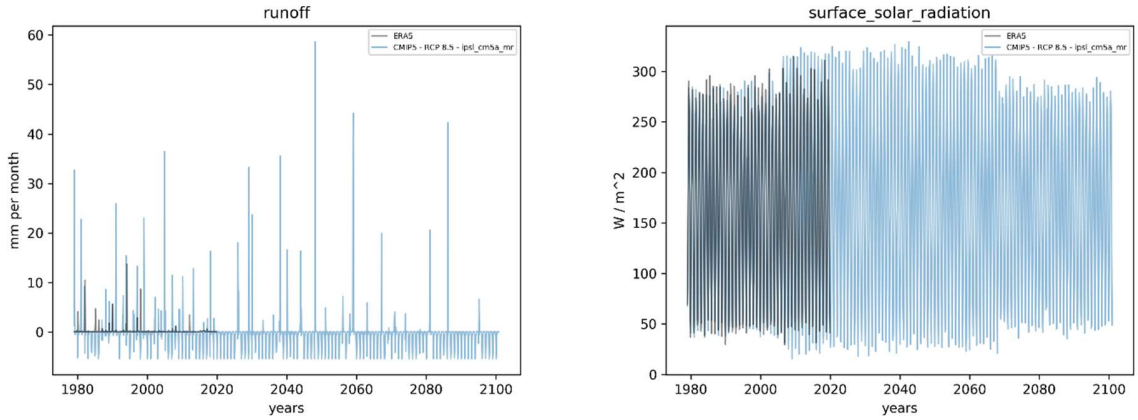


Рисунок 2.12 - Данные о стоке и поверхностной солнечной радиации

Сток, поверхностная солнечная радиация, x – годы, y – мм/мес., Вт/м2

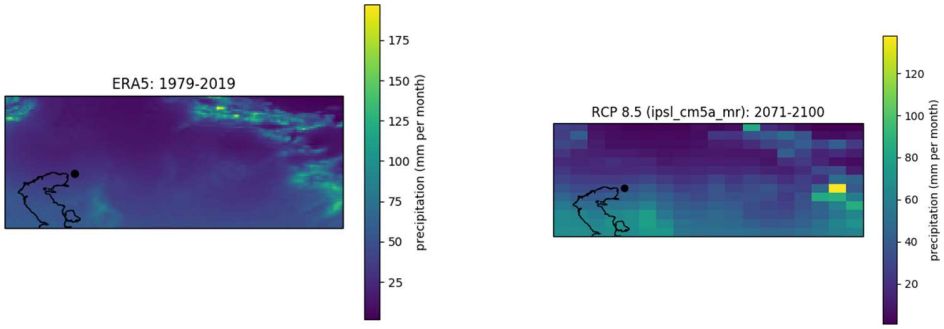


Рисунок 2.13 - Данные об осадках и прогноз RCP 8.5 для Кульсары

y-осадки, мм/мес.

Шымкент – Зона 4

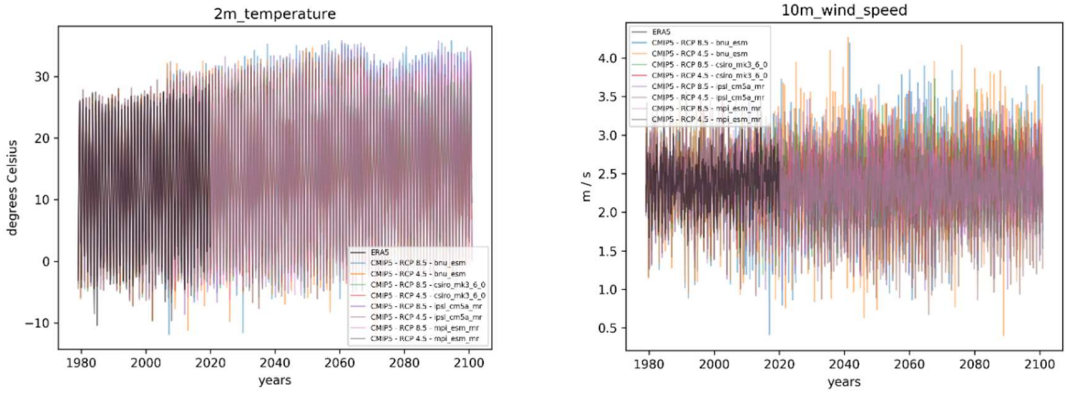


Рисунок 2.141 - Данные о температуре и скорости ветра

Температура, скорость ветра, x – годы, y – градусы Цельсия, м/с

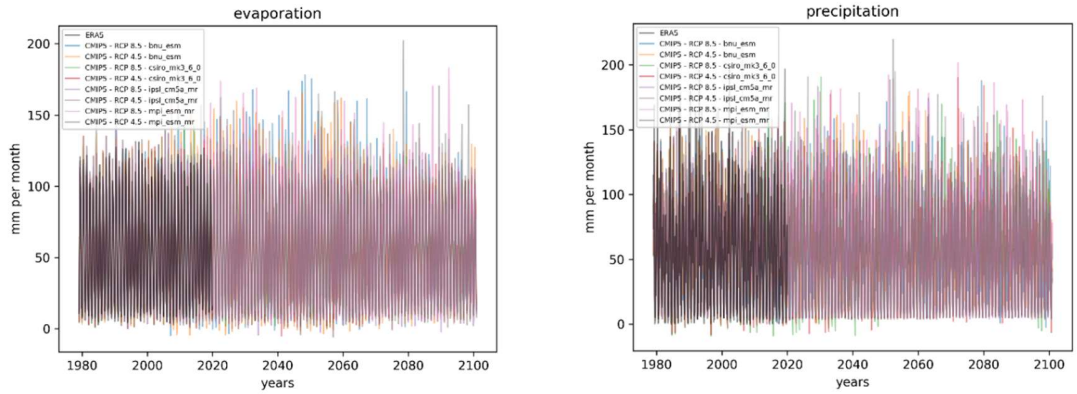


Рисунок 2.15 - Данные об испарении и осадках

Испарение, осадки, x – годы, y – мм/мес.

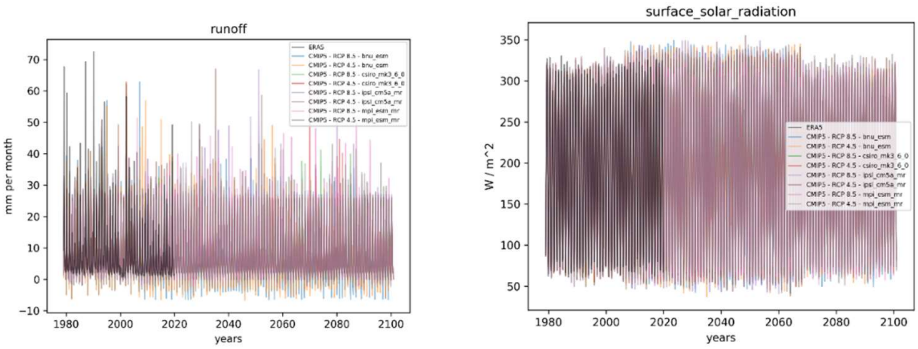


Рисунок 2.16 - Данные о стоке и поверхностной солнечной радиации

Сток, поверхностная солнечная радиация, x – годы, y – мм/мес., Вт/м2

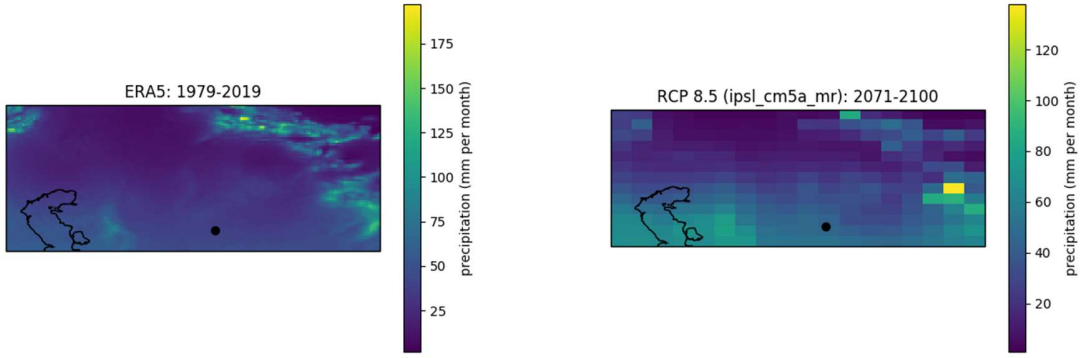


Рисунок 2.17 - Данные об осадках и прогноз RCP 8.5 для Шымкента.
у-осадки, мм/мес.

2.4 Методология

Как было сказано ранее в системной динамике были рассмотрены следующие сектора: сельское хозяйство, транспорт, жилые здания и отходы.

На рисунке 3.18 представлена схема причинно-следственных связей в сельскохозяйственном секторе.

Экономические показатели сельскохозяйственного сектора (доход от производства) определяются объемом производства, потерями на этапах перемещения продукции (например, из-за отсутствия складских помещений, инфраструктуры) и рыночными ценами. Последствия изменения климата рассматривались как в связи с адаптацией к климату, так и в контексте смягчения последствий.

Производство в основном определяется сельскохозяйственными угодьями (измеряется в гектарах) и продуктивностью земель (измеряется в тоннах продукции с гектара).

- Наличие сельскохозяйственных угодий зависит от спроса на сельскохозяйственную продукцию, который определяется населением и производственно-сбытовой цепочкой в сельскохозяйственном секторе страны

(например, спрос на продовольственные товары, такие как фрукты и овощи, со стороны конечных потребителей или пищевой промышленности для переработки). Вторым фактором, влияющим на сельскохозяйственные угодья, является использование техники, которая позволяет фермеру расширять свои посевные площади и, следовательно, вести коммерческую и промышленную деятельность.

На продуктивность земель также влияет механизация, наряду с рядом других факторов:

- антропогенные: механизация, внесение удобрений, семеноводство;

- природные: вредители и болезни, усугубляемые изменением климата; доступность воды, на которую влияет изменение климата и инфраструктура, например, для орошения; и деградация земель, вызванная машинами и химическими удобрениями.

Существует несколько мер по улучшению экономических показателей сектора при одновременном сокращении выбросов, вызванных главным образом потерей почвы, отходами биомассы и обезлесением (или изменениями в почвенном покрове).

- Во-первых, экономический рост приводит к увеличению частных доходов и, следовательно, налоговых поступлений, которые могут быть инвестированы в инфраструктуру (например, дороги, склады - создавая цикл усиления), чтобы уменьшить потери при перемещении товаров, и в ирригацию для расширения доступа к водным ресурсам (создавая балансирующий цикл);

- Кроме того, поскольку увеличение прибыли может увеличить инвестиции в использование химических удобрений, которые повышают продуктивность земель (цикл повышения), но снижают качество почвы в среднесрочной перспективе (балансирующий цикл), можно одновременно планировать учебные мероприятия (по методам устойчивого развития и диверсификации культур), преимуществам органических удобрений (цикл усиления);

- Наконец, дополнительные меры включают стимулы для создания цепочки создания стоимости для диверсификации источников дохода, в том числе за счет цифровизации (которая может поддерживать сектор на разных уровнях, от мониторинга вредителей и болезней до улучшения мониторинга спроса).

Аналогичная динамика была изучена в животноводстве, с цифровизацией для поддержки разведения и здоровья животных; повторное использование навоза как часть стратегии сокращения выбросов (например, для производства биогаза) и для повышения продуктивности земель (например, органические удобрения). Основными направлениями деятельности в этом секторе являются создание кооперативов (или более крупных форм сельскохозяйственной деятельности для достижения эффекта масштаба, который может сделать повторное использование и переработку навоза экономически целесообразными) и совершенствование методов выпаса скота (от экстенсивного к интенсивному), чтобы воспользоваться преимуществами нового синергизма и замедлить деградацию земель.

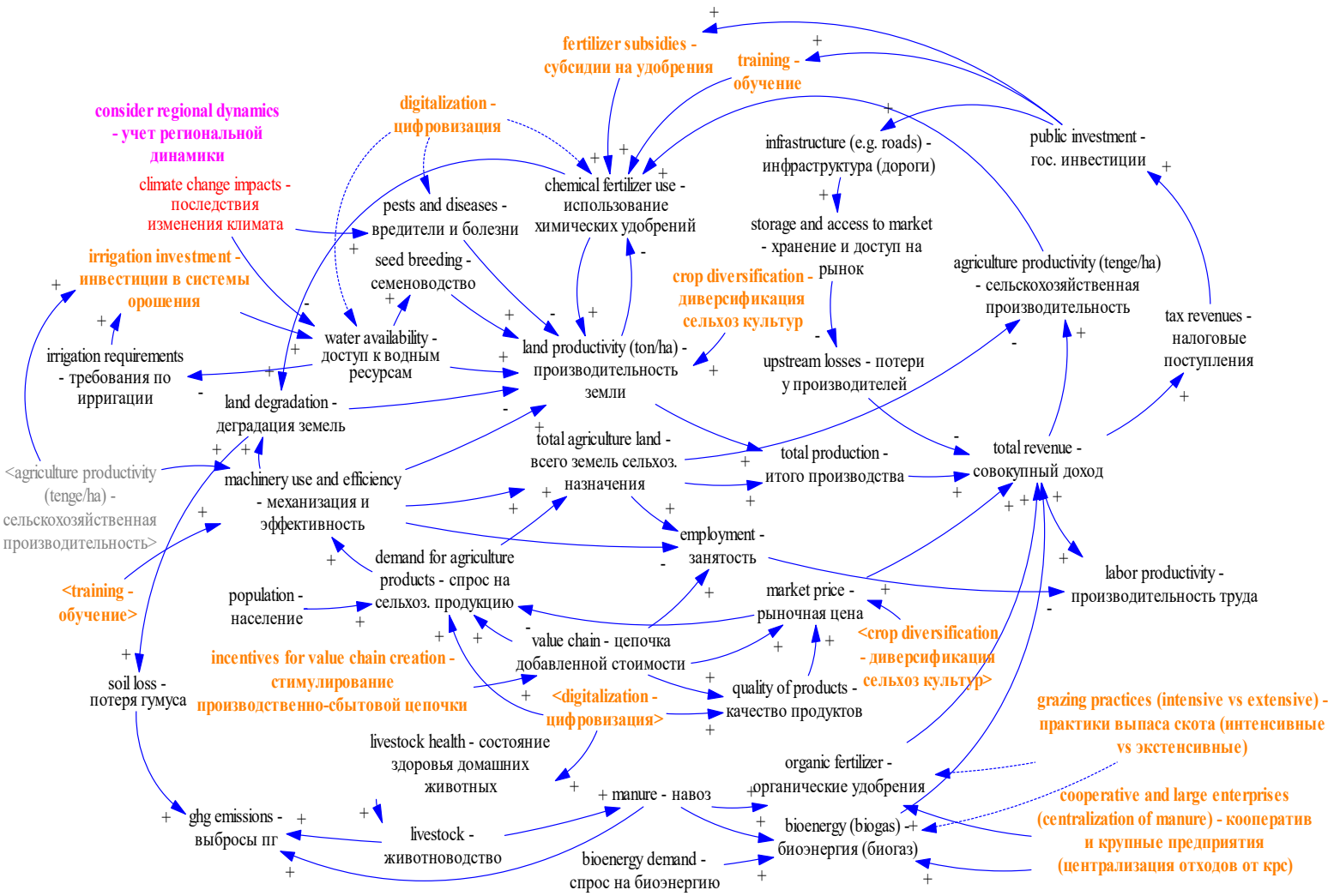


Рисунок 2.18 - Диаграмма причинно-следственных связей (CLD) или системная карта сельскохозяйственного сектора

На рисунке 2.19 представлена схема причинно-следственных связей транспортного сектора.

Ключевым направлением в транспортном секторе является предотвращение, модификация и улучшение, что подразумевает увеличение парка частных транспортных средств при одновременном сокращении их использования, особенно в городских районах, создавая синергию для мобильности и здоровья.

Количество транспортных средств, используемых в городских районах, в первую очередь обусловлено потребностью в мобильности (под влиянием численности населения и экономического роста, а также неконтролируемой урбанизации), доступностью частных транспортных средств (зависит от дохода, стоимости новых и подержанных транспортных средств, ставок финансирования и цен на энергоносители) и наличия и качества общественного транспорта.

В настоящее время в транспортном секторе преобладают частные транспортные средства, многие из которых устарели (с давних пор), в первую очередь из-за наличия недорогих импортных автомобилей. Большое количество транспортных средств и устаревших автомобилей приводит к следующему:

- Потребление энергии, которое усугубляется наличием большого количества неэффективных транспортных средств (из-за низкой энергоэффективности, а также климата требуется больше времени для прогрева двигателя старых транспортных средств в холодную погоду) и перегруженности (старые транспортные средства не оснащены системами запуска / остановки), что приводит к выбросам в атмосферу, загрязнение воздуха и затраты на здравоохранение (прямые для граждан, а также косвенные для компаний и отраслей).
- Пробки, приводящие к авариям, также вызваны устаревшими транспортными средствами, которые более подвержены механическим поломкам и,

следовательно, к затратам на здравоохранение и инфраструктуру, а также к потере времени и упущенной прибыли для семей и предприятий.

Осознание таких проблем растет и определяет две ключевые тенденции:

- Облегчение доступа к импортным транспортным средствам для предотвращения негативных последствий для экономики (что создает нежелательный цикл усиления). Это приводит к появлению в стране более доступных, но устаревших транспортных средств, что еще больше негативно сказывается на загруженности дорог и потреблении энергии, выбросах в атмосферу и расходах на здравоохранение.
- Для противодействия негативному воздействию на экономику предоставляются потребительские субсидии на цены на энергоносители (создавая второй нежелательный усиливающий цикл). Это увеличивает доступность устаревших транспортных средств, поскольку более высокое энергопотребление таких транспортных средств не приводит к значительному увеличению затрат на электроэнергию для домашних хозяйств и предприятий. Это приводит к тем же побочным эффектам, что и упомянутые выше.

Для повышения топливной эффективности транспортных средств можно было бы ввести нормативные стандарты качества топлива, стимулирующие импорт более эффективных транспортных средств (либо с запретом на устаревшие транспортные средства, либо со стимулами для покупки новых).

Следует ввести плату за парковку в городских районах, чтобы сократить использование транспортных средств. Это создало бы синергию с использованием общественного транспорта.

Для достижения обеих целей необходимо улучшить качество общественного транспорта и расширить инфраструктуру для пеших и велосипедных прогулок. Эти меры позволят одновременно сократить потребление автомобилей и энергии,

улучшить качество воздуха и стимулировать физическую активность. Направления инвестиций в общественный транспорт:

- Регулярность (например, улучшение расписания, а также прозрачность, например, предоставление оперативной информации о времени прибытия);
- Качество, например, внедрение новых электрических автобусов (или, в целом, обновление парка вместо модернизации или модификации двигателей);
- Скорость движения, например, по выделенным полосам только для автобусов и, возможно, такси.

Основным препятствием для перехода на общественный транспорт и/или более эффективные транспортные средства является доступность. Широко распространено мнение, что владение личным транспортным средством является более экономичным и удобным, в том числе с учетом погодных условий. С другой стороны, общие издержки такого владения в сочетании с социальными издержками частного транспорта могут стать экономическим аргументом в пользу развития и продвижения общественного транспорта в городах.

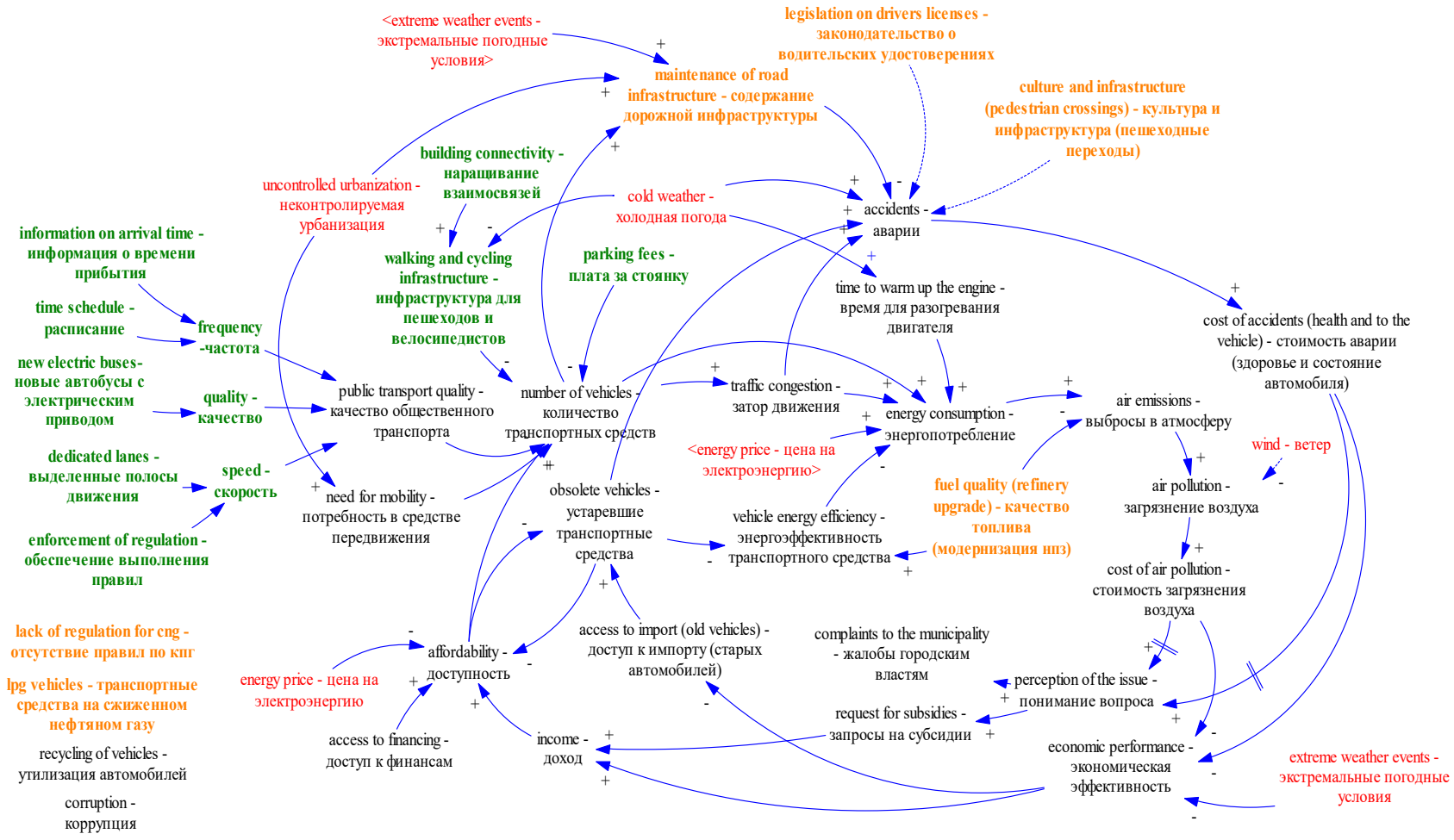


Рисунок 2.19 - Схема причинно-следственной связи/системная карта сектора транспорта

Сектор отходов представлен на диаграмме причинно-следственной связи на рисунке 2.20. Диаграмма отражает одну из основных динамик сектора отходов (на примере пластмасс) и показывает точки входа для потенциальных политик (оранжевые переменные).

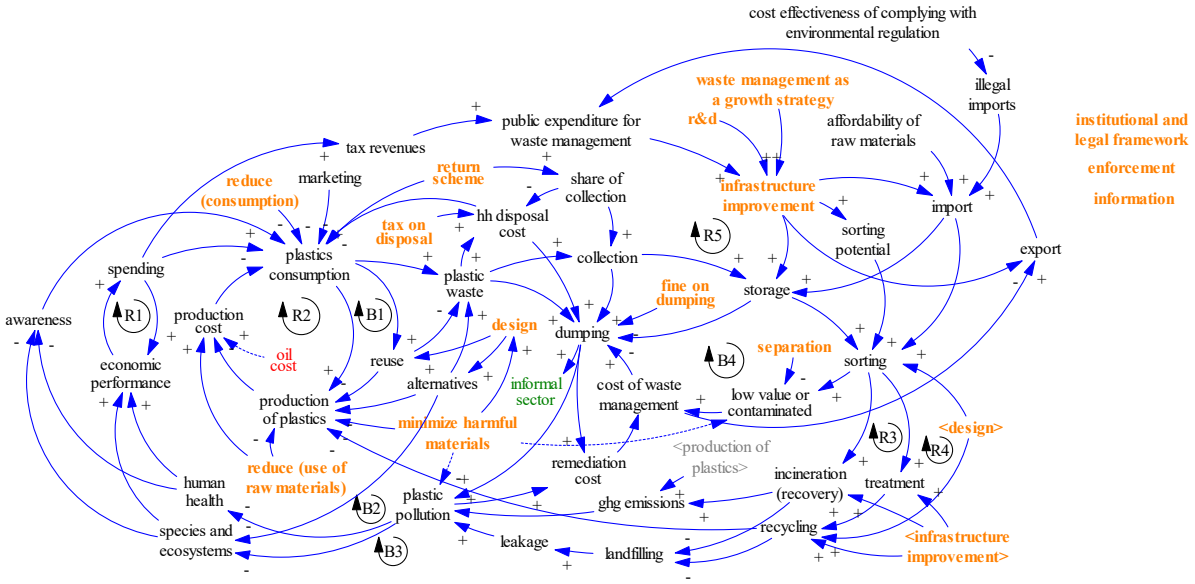


Рисунок 2.20 - Анализ отходов в диаграмме причинно-следственной связи

Отраслевая модель для сектора жилых созданий была создана для прогнозирования затрат на строительство в зависимости от типа здания и географического района. Все показатели производительности рассчитываются на квадратный метр (м^2) для всех зданий и для каждого географического района. Ключевые показатели эффективности также отражают, затраты на отопление, потребление электроэнергии и результаты, связанные со строительством, такие как занятость и доход, загрязнение воздуха и выбросы парниковых газов.

Сценарий "бизнес как обычно" (BAU или базовый) описывает гипотетический путь развития экономики, модель запускается без существенных технологических изменений или политических мер, направленных на усиление декарбонизации в Казахстане. Данный сценарий следует понимать не как прогноз

развития экономики (т.е. наиболее реалистичное развитие), а скорее, как эталон для сравнения результатов различных политических сценариев и импульс для политических действий правительства. Базовый сценарий экстраполирует в будущее исторические тренды, наблюдаемые в Казахстане, и предполагает, что существующая в настоящее время политика будет продолжена в течение всего периода. Никаких дополнительных усилий по декарбонизации предприниматься не будет, и никаких конкретных целей на 2030 и 2050 годы не установлено.

В Казахстане сектор ЖКХ относится к крупнейшему источнику выбросов парниковых газов и поэтому имеют наибольшее значение для сокращения выбросов. Выбросы в жилых и нежилых зданиях связаны с использованием энергии коммерческим и государственным сектором и домохозяйствами, т.е. потреблением электроэнергии, тепла и прямым использованием первичной энергии (например, для приготовления пищи, индивидуального отопления и т.д.).

В настоящее время модернизация и расширение фонда зданий, а также повышение энергоэффективности зданий являются одними из приоритетных направлений развития Казахстана. Поэтому даже в базовом сценарии ожидается значительное сокращение выбросов ПГ от зданий.

В таблице 2.3 представлены нижние индексы и их технологии, которые используются в секторе ЖКХ.

Таблица 2.3 - Нижние индексы, используемые в модели для сектора ЖКХ

Нижний индекс	**Рассматриваемые технологии**
Технологии отопления	• Отопление природным газом • Отопление углем • Дизельное отопление • Отопление низкопотенциальным теплом (НПТ) • Отопление на биомассе • Электрическое отопление • Отопление сжиженным газом
Тип здания	• Многоквартирный дом

	• Индивидуальный
Местоположение	• Город • Село
Зона	• Зоны с 1 по 4

Ниже на рисунке 3.21 представлена схема причинно-следственных связей для сектора жилых зданий, разработанная для базового сценария. Была рассмотрена возможность перехода от сжигаемого топлива на альтернативные источники энергии, такие как природный газ, солнечная и ветровая энергии.

Казахстан обладает огромными запасами угля, что в свою очередь обуславливается его низкой стоимостью и это делает его конкурентоспособным по сравнению с другими технологиями (например, солнечная энергетика). Помимо этого, в стране уже развита и функционирует вся инфраструктура для добычи и транспортировки угля, то есть потребление угля в секторе ЖКХ не требует дополнительных затрат. Кроме того, предоставляются субсидии на уголь для понижения транспортных затрат. Технологии (к примеру, угольные плиты) доступны по стоимости, в связи с тем, что в подавляющем большинстве случаев это не ведущие технологии. Согласно данным причинам, уголь, как и раньше обширно употребляется в быстрорастущих городских районах Казахстана.

Показатели употребления угля многочисленны и многообразны.

- Во-первых, собственные большие запасы определяют доступность угля, а это вместе с экспортом угля способствует экономическому росту. Это связано с низкими затратами электроэнергии, а также созданием рабочих мест в секторе производства и транспортировки (создание усилительного цикла со спросом на энергию).
- С другой стороны, возникает несколько побочных эффектов (все они создают балансирующие циклы). К ним относятся выбросы CO2 и другие загрязняющие вещества (зола, ртуть, свинец, диоксид серы и различные тяжелые

металлы), образующиеся в результате производства, транспортировки и сжигания, и все это влияет на здоровье человека.

- Кроме того, эти побочные эффекты оказывают негативное экономическое воздействие: затраты на утилизацию (например, зола) и здравоохранение оказывают негативное влияние на экономический рост. С другой стороны, эти расходы несут другие экономические субъекты (например, государство и домохозяйства, если это относится к расходам на здравоохранение), что означает, что имеющиеся доходы уменьшаются.

Были рассмотрены инвестиции в альтернативные варианты, при которых осведомленность общественности о проблемах со здоровьем могла бы послужить стимулом для распределения льгот и инвестиций в инфраструктуру. Примерами могут служить улучшенное регулирование и внедрение возобновляемых источников энергии или льготы при покупке и установке газовых плит.Также обсуждалось, что уголь занимает доминирующее положение на рынке из-за существующей политики, такой как субсидии на транспорт, механизм ценообразования на уголь, который не отражает затраты (для поддержания низких цен). В результате потребуется отмена субсидий и более прозрачный механизм ценообразования, чтобы создать равные условия для потенциальных заменителей и стимулировать дополнительные инвестиции. Также важно учитывать различные группы с разным доходом и различным инвестиционным потенциалом для создания новой инфраструктуры; различные типы зданий (например, государственные или частные, находящиеся в собственности или аренде); и различные географические условия (например, городские или сельские), а также доступность и стоимость энергетической инфраструктуры.

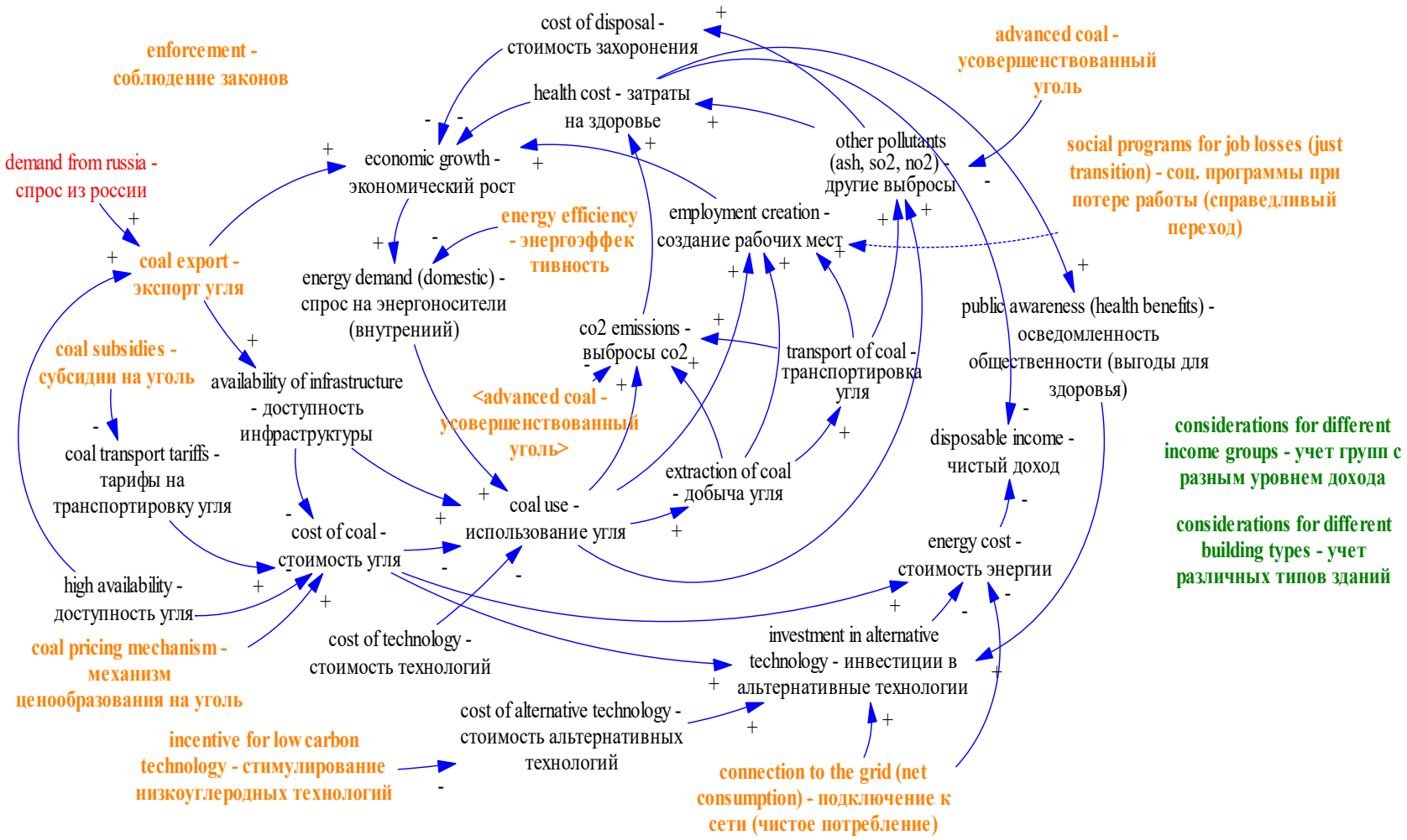


Рисунок 2.21 - Схема причинно-следственных связей (CLD) для сектора ЖКХ.

Основным инструментом ввода данных в модель для прямого импорта параметров из электронной таблицы Excel является функция GET XLS DATA. Данная функция позволяет импортировать данные, таким образом Vensim напрямую считывает все с таблицы Excel, для обеспечения беспрепятственной интеграции параметров и результатов, получаемых из модели TIMES. Данная функция была использована по следующим переменным:

- Общая жилая площадь в $м^2$
- Установленные технологии отопления
- Требуемая технология отопления на $м^2$
- Текущая доля установленных технологий отопления
- Потребление энергии на отопление на м
- Среднее остаточное потребление энергии на м по типу источника топлива

Для импорта данных по установленной технологии выработки тепла на природном газе, например для индивидуального здания в зоне 1 применяется следующее уравнение:

TIMES – установленная технология отопления [ИНДИВИДУАЛЬНЫЙ ДОМ, ЗОНА 1, отопление ПРИРОДНЫМ ГАЗОМ] = GET XLS DATA ('KAZ_TIMES_data import.xlsx', 'Buildings', 'B1', 'B344')

Та же операция выполняется для всех других технологий выработки тепла, зон страны и типов зданий путем отдельного уравнения импорта с использованием нижних индексов. Ниже на рисунке представлено как это выглядит в модели, где из электронной таблицы Excel импортируются данные, указан лист, на котором перечислены соответствующие данные, строка «time», то есть, B1, и первая ячейка импортируемого временного ряда.

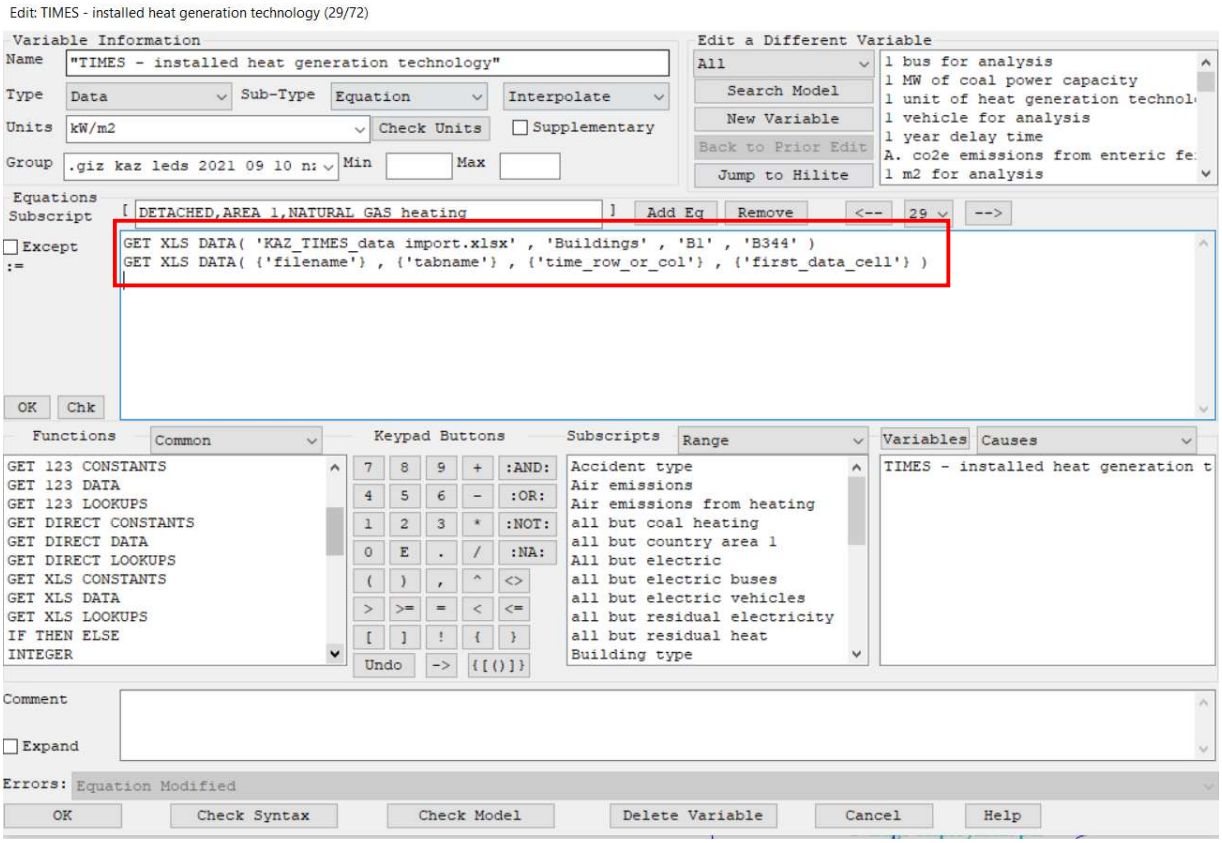


Рисунок 2.22 - Установленная технология отопления в Vensim

Данный подход также полезен для выполнения нескольких итераций с одними и теми же моделями, где затрагивается множество различных параметров. Импорт данных из Excel используется для всех переменных, представленных выше.

2.4.1 Спрос на жилую площадь и строительство зданий

Модель отражает спрос на жилую площадь и потребность в строительстве новых площадей в будущем. Запасы м^2 меняются в зависимости от желаемой и фактической площади, причем первая зависит от численности населения и коэффициента площади на душу населения.

Желаемая площадь =
население * ПЛОЩАДЬ НА ДУШУ НАСЕЛЕНИЯ ДЛЯ РАССМАТРИВАЕМЫХ ЗОН*
КОЭФФИЦИЕНТ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ БУДУЩЕГО СПРОСА

Корректирующий коэффициент применяется для соответствия модели требуемой в будущем указанной площади, наряду с ожиданием, определяемым временем строительства. Темпы роста жилой площади после 2020 года имитируют увеличение жилой площади на душу населения, что позволяет проверить различные сценарные предположения о социальной динамике (например, размер домохозяйства). Спрос на жилую площадь распределен по четырем районам страны и двум различным типам зданий с использованием доли площади здания по площади (индекс: площадь страны) и доли площади здания по типу здания и площади (индекс: тип здания и площадь страны). Распределение происходит с помощью нижних индексов, это означает, что общий спрос на площадь во всех областях делится на четыре области и два типа квартир, используя следующее уравнение:

общий спрос на площадь по типу здания и зоне [тип здания, зона страны] =
IF THEN ELSE (times integration switch=1,
"TIMES – Общий спрос на жилую площадь"* ТАБЛИЦА ДОЛИ ПОМЕЩЕНИЙ ПО ЗОНАМ [зона страны] (Time) * Таблица доли помещений по типу зданий [тип здания, зона страны] (Time), спрос на площадь* ТАБЛИЦА ДОЛИ ПОМЕЩЕНИЙ ПО ЗОНАМ [зона страны] (Time) * Таблица доли помещений по типу зданий [тип здания, зона страны] (Time)

Дерево использования на рисунке 3.23 иллюстрирует, как общий спрос на жилую площадь в разбивке по типу и площади здания используется для расчета спроса на индивидуальные и многоквартирные здания. Доля многоквартирных и индивидуальных зданий по местоположению применяется

индекс местоположения, который распределяет жилую площадь по типу здания на сельскую и городскую жилую площадь.

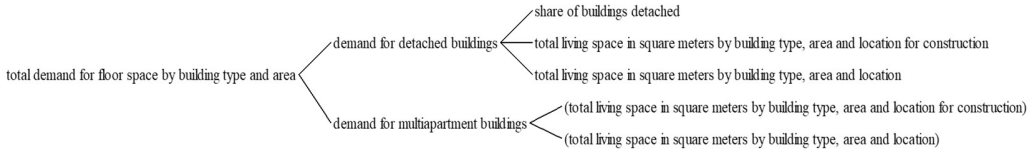


Рисунок 2.23 - Дерево использования - Общий спрос на площадь

На рисунке 2.24 показаны переменные, используемые для расчета общей жилой площади в квадратных метрах в разбивке по типу здания, площади и местоположению. Доля установленных технологий отопления применяется для добавления индексных технологий производства тепла. Этот дополнительный индекс используется для обеспечения согласованности при выполнении расчета на квадратный метр для различных типов зданий в соответствии с технологиями производства тепла.

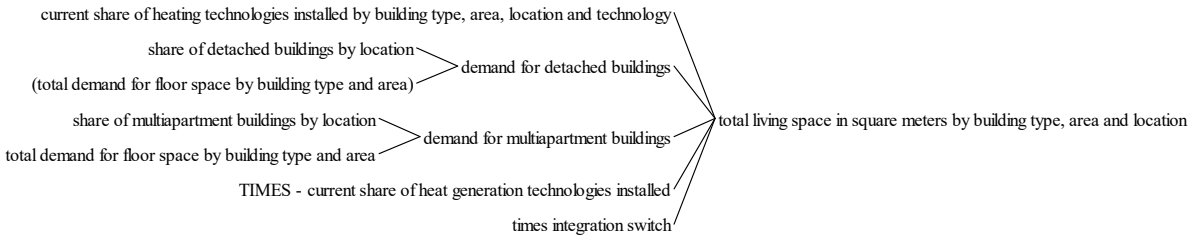


Рисунок 2.24 - Дерево использования - общая жилая площадь в квадратных метрах по типу здания, зоне и местоположению

Скорость строительства в модели рассчитывается с использованием фиксированной функции задержки общей жилой площади. Отложенный спрос на жилую площадь отражает стоимость предыдущего года. Вычитание

прошлогоднего спроса на жилую площадь из спроса на жилую площадь текущего года дает чистое изменение жилой площади, как показано в приведенном ниже уравнении.

"изменение в общей жилой площади в квадратных метрах по типу здания, зоне и местоположению"[тип здания, зона страны, местоположение, технологии отопления] = ("общая жилая площадь в квадратных метрах по типу здания, зоне и местоположению"[тип здания, зона страны, местоположение, технологии отопления] – "задержка общей жилой площади в квадратных метрах по типу здания, зоне и местоположению"[тип здания, зона страны, местоположение, технологии отопления]) / "СРОК ЗАДЕРЖКИ 1 ГОД"

Деление на время задержки в 1 год необходимо для согласованности единиц измерения, поскольку изменение жилой площади является переменной потока с единицей квадратных метров в год.

2.4.2 Технологии отопления

Установленные технологии отопления отражаются в модели с использованием общей потребности в жилой площади, доли установленных технологий отопления в зависимости от типа здания, площади, местоположения и потребности в отоплении на квадратный метр. Переменные, использованные для расчета, представлены ниже на Рисунке 3.25.

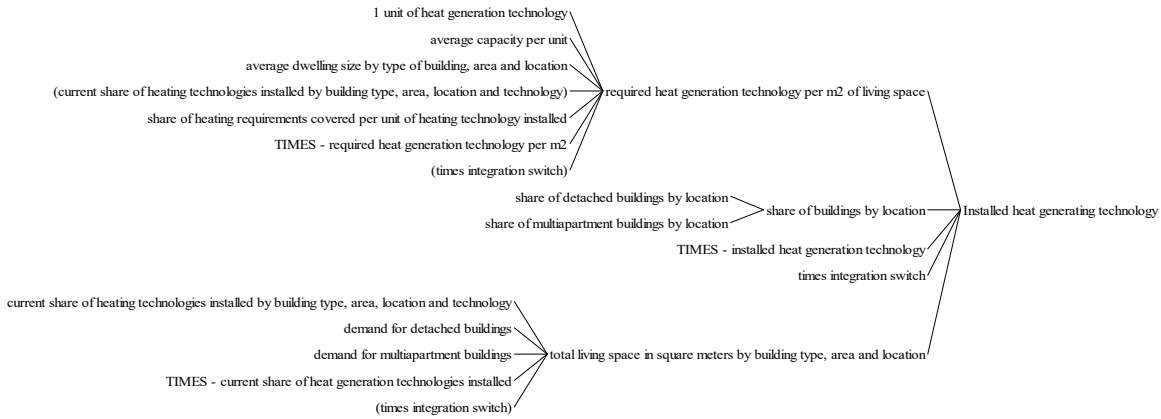


Рисунок 2.25 - Дерево причинно-следственных связей - установленные технологии отопления

Переменная необходимой технологии отопления на м^2 оценивает количество единиц, необходимых для обогрева 1 квадратного метра жилой площади по типу технологии и в зависимости от среднего размера здания для каждого типа здания, зоны страны и местоположения.

необходимая технология отопления на м^2[тип здания,зона страны,местоположение,технологии отопления] =
IF THEN ELSE (times integration switch=1),
"TIMES - необходимая технология отопления на м^2"[тип здания,зона страны, технологии отопления]/1000,
ZIDZ("1 ЕДИНИЦА ТЕХНОЛОГИИ ОТОПЛЕНИЯ"[технологии отопления]* средняя мощность на единицу,ДОЛЯ УДОВЛЕТВОРЕННОГО СПРОСА НА ОТОПЛЕНИЕ НА ЕДИНИЦУ УСТАНОВЛЕННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ОТОПЛЕНИЯ[технологии отопления]) / "СРЕДНИЙ РАЗМЕР ЖИЛИЩА ПО ТИПУ ЗДАНИЯ, ЗОНЕ И МЕСТОПОЛОЖЕНИЮ"[тип здания,зона страны,местоположение]* "ДОЛЯ УСТАНОВЛЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ по типу здания,зоне страны,местоположению и технологии отопления "[технологии отопления]

Умножение на общую жилую площадь в квадратных метрах по типу здания, зоне, местоположению, как описано выше, дает общее количество отопительных узлов (тепловыделяющих установок), установленных в соответствующих типах зданий, зонах и местоположениях.

Переменная установленной технологии отопления (производства тепла) используется для расчета капитальных вложений, затрат на эксплуатацию и техническое обслуживание (ЭиТО) и занятости от технологий производства тепла. Капитальные вложения рассчитываются путем умножения ежегодных изменений в технологиях производства тепла на средние капитальные затраты на единицу отопительного оборудования. Ежегодное изменение технологий рассчитывается с использованием функции фиксированной задержки, аналогичной формулировке, используемой для расчета чистого изменения общего спроса на жилую площадь.

"капитальные затраты на отопление, тип здания, зона и местоположение и технология отопления"[тип здания,зона страны,местоположение,технология отопления] = max(0,installation of heat generating technology[Building type,country area,location,heat generation technologies])* КАПИТАЛЬНЫЕ ЗАТРАТЫ НА ТЕХНОЛОГИЮ ОТОПЛЕНИЯ[,технология отопления] + замена технологий отопления [тип здания, зона страны, местоположение, технология отопления]) * ежегодные капитальные затраты на технологию отопления на м2 жилой площади и год эксплуатации [тип здания, зона страны, местоположение, технология отопления])

Коэффициент замещения технологий производства тепла добавляется к капитальным вложениям, исходя из предположения, что, как только срок службы установки истечет, она будет заменена установкой, использующей тот же источник топлива. Коэффициент замещения рассчитывается путем деления

количества установленных технологических установок для выработки тепла на средний срок службы технологий производства тепла.

Эксплуатационные расходы на отопление рассчитываются путем умножения установленных в настоящее время технологий производства тепла на среднегодовые эксплуатационные расходы для каждой технологии производства тепла.

"расходы на ЭиТО отопления по типу здания, зоне и местоположению"[тип здания,зона страны,местоположение,технология отопления] =
установленная отопительная технология[тип здания,зона страны,местоположение,технология отопления] * "ТАБЛИЦА ГОДОВЫХ РАСХОДОВ НА ЭиТО ПО ТИПУ ОТОПИТЕЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ"[технологии отопления](Time)

2.4.3 Занятость и трудовые доходы

Модель отражает занятость и трудовые доходы в секторе ЖКХ, связанные со строительством и обслуживанием зданий, установкой технологий производства тепла. Переменные, используемые для расчета общей занятости в строительстве и обслуживании зданий, следующие:

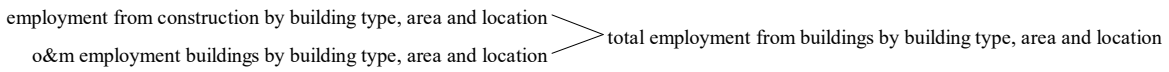


Рисунок 3.26 - Причинно-следственное дерево общей занятости в строительстве и обслуживании зданий

Занятость в строительстве рассчитывается путем умножения чистого изменения (= темпы строительства) в общей жилой площади в квадратных метрах на коэффициент средней занятости в строительстве на квадратный

метр. Доля технологий производства тепла добавляется в уравнение, чтобы можно было распределить занятость, создаваемую в различных типах зданий.

"занятость в строительстве по типу здания, зоне и местоположению"[тип здания, зона страны, местоположение, отопительные технологии] =
общая скорость строительства зданий * средняя занятость в строительстве на м2 * "TIMES - текущая доля установленных отопительных технологий" [тип здания, зона страны, отопительные технологии]

Занятость в сфере ЭиТО рассчитывается с использованием аналогичного подхода, с умножением общей жилой площади на коэффициент средней занятости в сфере ЭиТО на квадратный метр.

"занятость в ЭиТО в секторе зданий по типу здания, зоне и местоположению"[тип здания, зона страны, местоположение, отопительные технологии] =
"общая жилая площадь в квадратных метрах по типу здания, зоне и местоположению"[тип здания, зона страны, отопительные технологии] * "средняя занятость в ЭиТО на м2"

Занятость от установки и ввода в эксплуатацию технологий отопления, солнечной фотоэлектрической и СВС-мощности рассчитывается с использованием того же подхода. В качестве примера представлен расчет занятости установки от солнечной фотоэлектрической мощности путем умножения коэффициента установки и замены отопительных технологий на коэффициент средней занятости на единицу установленной мощности.

занятость в сфере установки систем отопления [тип здания, зона страны, местоположение, отопительные технологии] =
(MAX(0,установка отопительных технологий[тип здания, зона страны, местоположение, отопительные технологии]) + замена отопительных технологий[тип здания, зона страны,

местоположение, отопительные технологии]) * СРЕДНИЙ УРОВЕНЬ ЗАНЯТОСТИ НА ЕДИНИЦУ УСТАНОВЛЕННОЙ ОТОПИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ[отопительные технологии]

Функция MAX применяется, чтобы предотвратить отрицательные значения занятости в сфере установки, что могло бы произойти при замене одной технологии на другую. В этой версии модели учитывается только занятость от установки технологий отопления, исходя из допущения, что старая технология будет удалена в процессе.

Затраты на эксплуатацию и техническое обслуживание рассчитываются с использованием установленной мощности отопительных технологий и среднего коэффициента ЭиТО на установленную единицу.

"занятость в ЭиТО систем отопления"[тип здания,зона страны,местоположение,технология отопления] =
установленная отопительная технология[тип здания,зона страны,местоположение,технология отопления] * "ЗАНЯТОСТЬ В ЭИТО НА ЕДИНИЦУ ОТОПИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ"[технологии отопления]

Трудовой доход от различных категорий занятости, рассчитывается путем умножения годовой занятости по каждому виду деятельности на среднюю заработную плату. Ниже представлен расчет трудового дохода от монтажа и эксплуатации систем отопления.

трудовой доход от установки и обслуживания систем отопления [тип здания,зона страны,местоположение,технология отопления] =
общая занятость на установке отопления [тип здания,зона страны,местоположение,технология отопления] * средний трудовой доход от установки отопления

Аналогичный подход применяется для расчета трудового дохода, получаемого всеми другими категориями занятости.

2.4.4 Спрос и затраты на энергию

Модуль спроса и затрат на энергию в модели учитывает спрос на энергию, связанную с отоплением, все остальное (остаточное) потребление энергии в зданиях и потенциально исключаемое сетевое потребление электроэнергии от солнечной фотоэлектрической генерации, а также затраты, связанные с покупкой энергии. Рисунок 3.27 иллюстрирует переменные, используемые для расчета общего потребления электроэнергии в секторе ЖКХ.

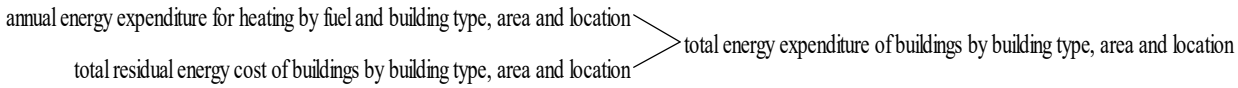


Рисунок 2.27 - Причинно-следственное дерево общих затрат на энергию в секторе зданий

Расходы на энергию в секторе ЖКХ рассчитываются путем умножения чистого спроса на энергию для эксплуатации зданий на соответствующую стоимость топлива. Чистый спрос на энергию для эксплуатации зданий учитывает электроэнергию, вырабатываемую установленной солнечной фотоэлектрической мощностью, и вычитает ее из общего спроса на электроэнергию для эксплуатации зданий.

"чистый спрос на энергию для эксплуатации зданий по типу здания, зоне и местоположению"[тип здания,зона страны,местоположение,технологии отопления] = MAX("общий спрос на энергию для эксплуатации зданий по типу здания, зоне и

местоположению"[тип здания,зона страны,местоположение, все, кроме остаточного тепла], 0)

В то время как остаточный спрос на энергию рассчитывается путем умножения общей жилой площади в квадратных метрах на коэффициент остаточного потребления энергии на квадратный метр. Расчет спроса на энергию от отопления основан на общей жилой площади в квадратных метрах (по технологии производства тепла) и среднем потреблении энергии на квадратный метр для различных технологий нагрева.

"общее потребление энергии на отопление по типу здания, зоне и местоположению"[тип здания, зона страны, местоположение, отопительные технологии] =
SUM ("общая жилая площадь в квадратных метрах по типу здания, зоне и местоположению"[тип здания, зона страны, отопительные технологии!] * потребление энергии на м2"[Тип здания, зона страны, местоположение, отопительные технологии]

Ежегодные затраты энергии на отопление представляют собой сумму расходов на ископаемое топливо для отопления (включая электроэнергию). Они основаны на расходах на ископаемое топливо и электроэнергию, связанных с использованием топлива для отопления. Рисунок 3.28 иллюстрирует переменные, используемые для расчета общих ежегодных затрат на энергию на отопление.

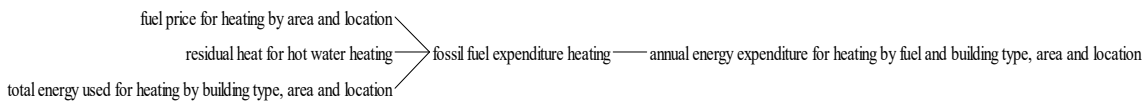


Рисунок 2.28 - Причинно-следственное дерево ежегодных затрат на энергию для отопления

Потребление энергии умножается на среднюю стоимость единицы отопительного топлива для каждой технологии. Следующее уравнение используется для расчета расхода на ископаемое топлива на отопление.

расходы на ископаемое топливо для отопления[тип здания, зона страны, местоположение, отопительные технологии] =
"общая энергия, используемая для отопления, по типу здания, зоне и местоположению"[тип здания, зона страны, местоположение, отопительные технологии]
+остаточное тепло для нагрева горячей воды[тип здания, зона страны, местоположение, отопительные технологии]) * цена топлива для отопления по зоне и местоположению[тип здания, зона страны, местоположение, отопительные технологии]

Поскольку стоимость электроэнергии для отопления учитывается в ежегодных затратах энергии на отопление, она вычитается из стоимости электроэнергии в секторе зданий в разбивке по типу здания, чтобы избежать двойного учета.

2.4.5 Выбросы

Выбросы CO2 из сектора зданий учитывают выбросы, связанные с использованием энергии для эксплуатации зданий, и выбросы, связанные с использованием топлива для отопления. Выбросы CO2 в результате потребления энергии рассчитываются путем умножения чистого потребления энергии зданиями на средние выбросы CO2 на ТДж.

выбросы co2 от потребления энергии зданиями [тип здания,зона страны,местоположение,остаточное потребление энергии] =
("чистый спрос на энергию для эксплуатации зданий по типу здания, зоне и местоположению"[тип здания,зона страны,местоположение, все, кроме остаточного тепла])* средние выбросы co2 на тдж отопительного топлива для остаточного потребления энергии[все, кроме остаточного тепла]

Выбросы CO_2 от отопления рассчитываются на основе потребления энергии для отопления (по видам топлива) и среднего показателя выбросов CO_2 на ТДж топлива для отопления. Уравнение для общих выбросов CO2 от отопления в разбивке по видам топлива выглядит следующим образом:

выбросы CO2 от отопления по виду топлива [тип здания, зона страны, местоположение, отопительные технологии] =
"общий расход энергии по типу здания, зоне и местоположению"[тип здания, зона страны, местоположение, отопительные технологии] * СРЕДНИЕ ВЫБРОСЫ CO2 НА ТДЖ ОТОПИТЕЛЬНОГО ТОПЛИВА [отопительные технологии]

Общие прямые выбросы CO_2 из сектора ЖКХ в разбивке по типу здания, зоне, местоположению и технологии производства тепла представляют собой сумму выбросов CO_2 от использования энергии для целей эксплуатации и выбросов CO_2 от использования топлива для отопления.

Общее потребление энергии на отопление используется для расчета количества загрязняющих веществ, выбрасываемых в атмосферу в результате использования топлива для отопления. Индекс выбросов в атмосферу от отопления применяется для раздельного расчета различных загрязняющих веществ.

"годовой объем веществ, загрязняющих воздух, по типу, зоне, местоположению и технологии"[тип здания, зона страны, местоположение, отопительные технологии, выбросы в атмосферу от отопления] =
"общее потребление энергии на отопление по типу здания, зоне и местоположению" [тип здания, зона страны, местоположение, отопительные технологии] * ТАБЛИЦА СРЕДНЕГО ОБЪЕМА ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ ВОЗДУХА НА ТДЖ ОТОПИТЕЛЬНОГО ТОПЛИВА ПО ТИПУ ЗАГРЯЗНИТЕЛЯ[отопительные технологии ,выбросы в атмосферу от отопления](Time)

Затем годовая стоимость загрязнения воздуха рассчитывается путем умножения различных объемов загрязняющих веществ на их соответствующие затраты на здравоохранение в расчете на тонну.

В дополнение к выбросам CO_2 и загрязнению воздуха, годовая потребность в угле от отопления используется для расчета количества респираторных заболеваний от угля и связанных с этим затрат, занятости, связанной с добычей угля, и расходов на удаление летучей золы, обусловленной спросом на уголь для отопления. Для этих расчетов используется только нижний индекс "отопление углем".

Количество респираторных заболеваний оценивается с использованием параметров, полученных в результате долгосрочного исследования, проведенного Ахметовым (2014).

"респираторные заболевания в связи с углем, обусловленные добычей угля для сектора зданий"[тип здания,зона страны,местоположение,УГОЛЬНОЕ ОТОПЛЕНИЕ] = "расход угля в секторе зданий в тоннах по типу здания, зоне страны и местоположению"[тип здания,зона страны,местоположение,УГОЛЬНОЕ ОТОПЛЕНИЕ]*СРЕДНЕЕ КОЛИЧЕСТВО РЕСПИРАТОРНЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ НА ТОННУ ДОБЫТОГО УГЛЯ

Количество респираторных заболеваний затем используется для расчета государственных расходов на здравоохранение, связанных с лечением респираторных заболеваний, что в общем дает общественную стоимость респираторных заболеваний, связанных с углем, в разбивке по типу здания, зоне и местоположению.

Занятость, связанная с использованием угля в зданиях, рассчитывается путем умножения годового потребления угля в зданиях (в пересчете на тонны) на коэффициент средней занятости на тонну добытого угля. Трудовой доход,

связанный с занятостью в угледобыче, рассчитывается путем умножения создания рабочих мест на среднегодовую заработную плату в угледобывающем секторе.

Образование золы, связанное с угольным отоплением, рассчитывается с использованием расхода энергии на угольное отопление в ТДж и среднего коэффициента образования золы на ТДж использованной энергии угля.

"образование золы от отопления зданий по типу здания, зоне страны и местоположению"[тип здания,зона страны,местоположение,УГОЛЬНОЕ ОТОПЛЕНИЕ] = "расход энергии угля в секторе зданий в тдж по типу здания, зоне страны и местоположению"[тип здания,зона страны,местоположение]*ОБРАЗОВАНИЕ ЗОЛЫ НА ТДЖ

Затем стоимость удаления золы рассчитывается путем умножения годового количества образующейся золы на среднюю стоимость удаления золы.

2.5 Результаты моделирования системной динамики

2.5.1 Спрос на жилую площадь и строительство зданий

Рисунок 3.29 иллюстрирует тенденцию общего спроса на жилые площади. Спрос на жилую площадь в базовом сценарии растет с одинаковой скоростью. В период с 2020 по 2050 год общий спрос на жилые площади увеличится на 108 млн квадратных метров, что эквивалентно увеличению на 28.05 % по сравнению с 2020 годом.

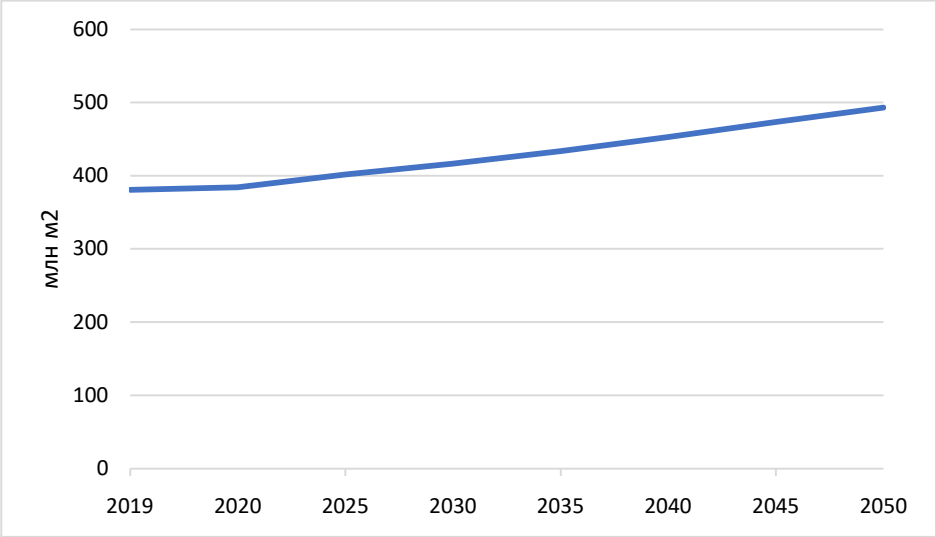


Рисунок 2.29 – Общий спрос на жилую площадь

Спрос на индивидуальные и многоквартирные здания в базовом сценарии представлен на Рисунке 3.30 и 3.31 в разбивке по зонам страны.

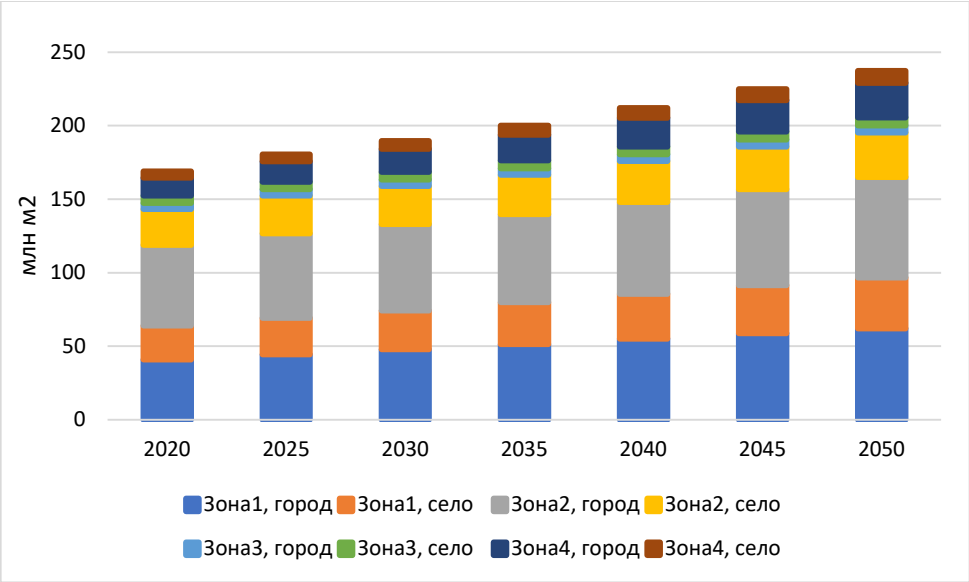


Рисунок 2.30 – Спрос на многоквартирные здания по зонам

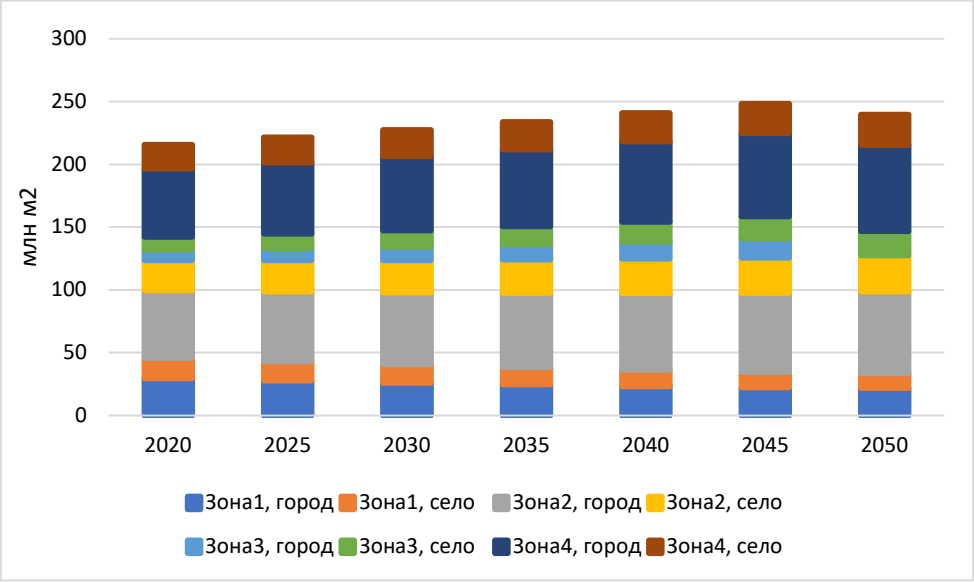


Рисунок 2.31 – Спрос на индивидуальные здания по зонам

2.5.2 Технологии выработки тепла

Развитие технологий отопления для многоквартирных и индивидуальных зданий прогнозируется моделью TIMES, и доли установленной технологии отопления вводятся в модель СД с помощью функции данных GET XLS DATA.

В Таблице 3.4 представлены доли установленных отопительных технологий в 2050 году, полученные из TIMES (и импортированные для получения представленных здесь результатов).

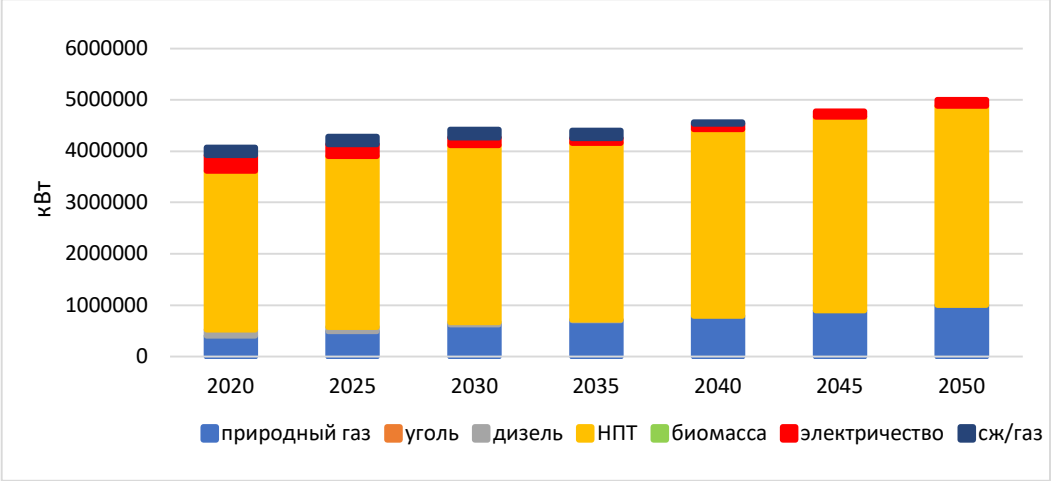
Таблица 2.4 - Доля установленных отопительных технологий в 2050 году

Тип здания	**Зона**	**Технология отопления**	**Доля установленных технологий (по зонам) в 2050 году**
Многоквартирные здания			
Квартира	Зона 1	УГОЛЬ	0,0%
Квартира	Зона 1	ДИЗЕЛЬ	0,0%
Квартира	Зона 1	ЭЛЕКТР	0,2%
Квартира	Зона 1	ГАЗ	18,9%
Квартира	Зона 1	НПТ	80,9%
Квартира	Зона 1	БИО	0,0%
Квартира	Зона 1	СЖ/ГАЗ	0,0%
Квартира	Зона 1	ГЕО	0,0%
Квартира	Зона 1	H2G	0,0%
Квартира	Зона 2	УГОЛЬ	0,0%
Квартира	Зона 2	ДИЗЕЛЬ	0,0%
Квартира	Зона 2	ЭЛЕКТР	2,1%
Квартира	Зона 2	ГАЗ	20,1%
Квартира	Зона 2	НПТ	77,8%
Квартира	Зона 2	БИО	0,0%
Квартира	Зона 2	СЖ/ГАЗ	0,0%
Квартира	Зона 2	ГЕО	0,0%
Квартира	Зона 2	H2G	0,0%
Квартира	Зона 3	УГОЛЬ	0,0%
Квартира	Зона 3	ДИЗЕЛЬ	0,0%
Квартира	Зона 3	ЭЛЕКТР	4,3%

Квартира	Зона 3	ГАЗ	64,6%
Квартира	Зона 3	НПТ	19,7%
Квартира	Зона 3	БИО	0,0%
Квартира	Зона 3	СЖ/ГАЗ	11,4%
Квартира	Зона 3	ГЕО	0,0%
Квартира	Зона 3	H2G	0,0%
Квартира	Зона 4	УГОЛЬ	0,0%
Квартира	Зона 4	ДИЗЕЛЬ	0,0%
Квартира	Зона 4	ЭЛЕКТР	3,8%
Квартира	Зона 4	ГАЗ	46,4%
Квартира	Зона 4	НПТ	49,8%
Квартира	Зона 4	БИО	0,0%
Квартира	Зона 4	СЖ/ГАЗ	0,0%
Квартира	Зона 4	ГЕО	0,0%
Квартира	Зона 4	H2G	0,0%
Индивидуальные здания			
Индивидуальные	Зона 1	УГОЛЬ	63,5%
Индивидуальные	Зона 1	ДИЗЕЛЬ	0,0%
Индивидуальные	Зона 1	ЭЛЕКТР	0,1%
Индивидуальные	Зона 1	ГАЗ	36,4%
Индивидуальные	Зона 1	НПТ	0,0%
Индивидуальные	Зона 1	БИО	0,0%
Индивидуальные	Зона 1	СЖ/ГАЗ	0,0%
Индивидуальные	Зона 1	ГЕО	0,0%
Индивидуальные	Зона 1	H2G	0,0%
Индивидуальные	Зона 2	УГОЛЬ	8,8%

Индивидуальные	Зона 2	ДИЗЕЛЬ	0,0%
Индивидуальные	Зона 2	ЭЛЕКТР	0,8%
Индивидуальные	Зона 2	ГАЗ	90,5%
Индивидуальные	Зона 2	НПТ	0,0%
Индивидуальные	Зона 2	БИО	0,0%
Индивидуальные	Зона 2	СЖ/ГАЗ	0,0%
Индивидуальные	Зона 2	ГЕО	0,0%
Индивидуальные	Зона 2	H2G	0,0%
Индивидуальные	Зона 3	УГОЛЬ	97,8%
Индивидуальные	Зона 3	ДИЗЕЛЬ	0,0%
Индивидуальные	Зона 3	ЭЛЕКТР	2,2%
Индивидуальные	Зона 3	ГАЗ	0,0%
Индивидуальные	Зона 3	НПТ	0,0%
Индивидуальные	Зона 3	БИО	0,0%
Индивидуальные	Зона 3	СЖ/ГАЗ	0,0%
Индивидуальные	Зона 3	ГЕО	0,0%
Индивидуальные	Зона 3	H2G	0,0%
Индивидуальные	Зона 4	УГОЛЬ	0,0%
Индивидуальные	Зона 4	ДИЗЕЛЬ	0,0%
Индивидуальные	Зона 4	ЭЛЕКТР	1,6%
Индивидуальные	Зона 4	ГАЗ	85,5%
Индивидуальные	Зона 4	НПТ	0,0%
Индивидуальные	Зона 4	БИО	13,0%
Индивидуальные	Зона 4	СЖ/ГАЗ	0,0%
Индивидуальные	Зона 4	ГЕО	0,0%
Индивидуальные	Зона 4	H2G	0,0%

Установленные отопительные технологии для многоквартирных и индивидуальных зданий в городских районах в зоне 2 в сценарии BAU представлены на рис 3.32. Эта информация доступна для всех других зон и местностей страны. В Базовом сценарии наблюдается постоянный рост по всем вариантам технологий. Доля установленных технологий отопления полностью основывается на результатах TIMES, и изменение общей жилой площади приводит к тому, что установка систем отопления зависит от общего объема жилой площади и доли установленных технологий.



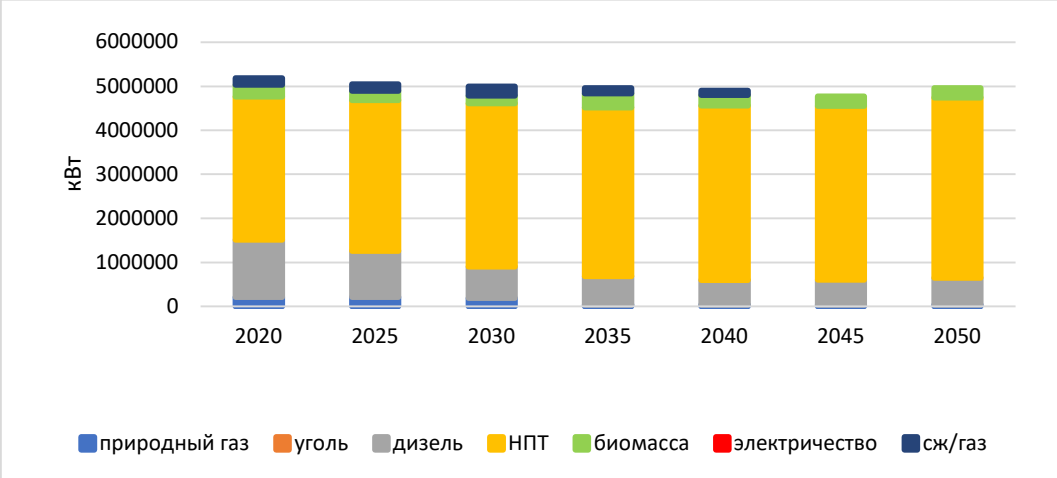


Рисунок 2.32 – Установленные технологии отопления в многоквартирных и индивидуальных зданиях, Зона 2, Город

Скорость установки систем отопления в сценарии BAU для городов зоны 2 представлена на рисунке 3.33. В базовом сценарии скорость установки для всех трех технологий немного увеличивается в период с 2020 по 2050 год.

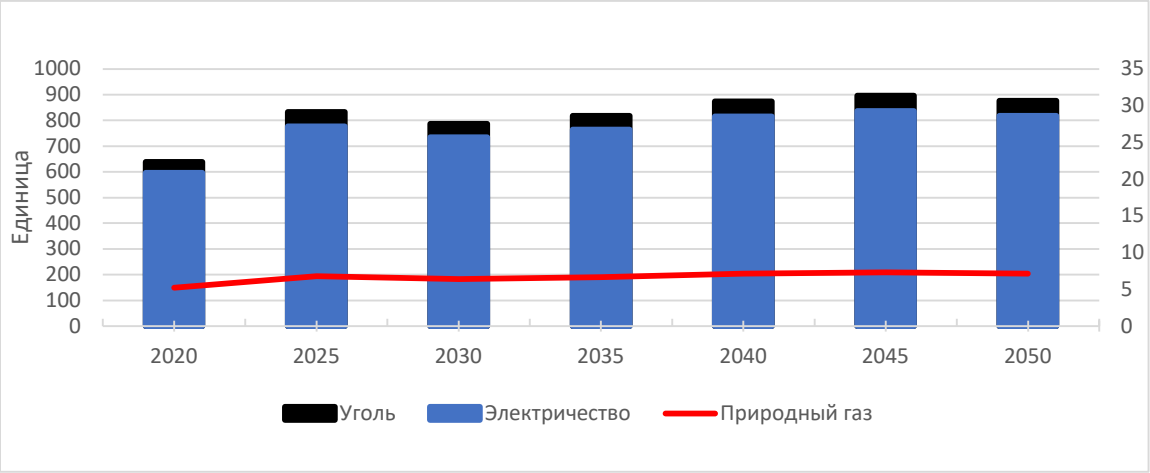


Рисунок 2.33 – Установка технологий отопления, многоквартирный дом, зона 1, город

Общая установленная тепловая мощность представлена на Рисунке 3.34 ниже. В долгосрочной перспективе, к 2050 году прогнозируется 41 млн кВт установленной мощности.

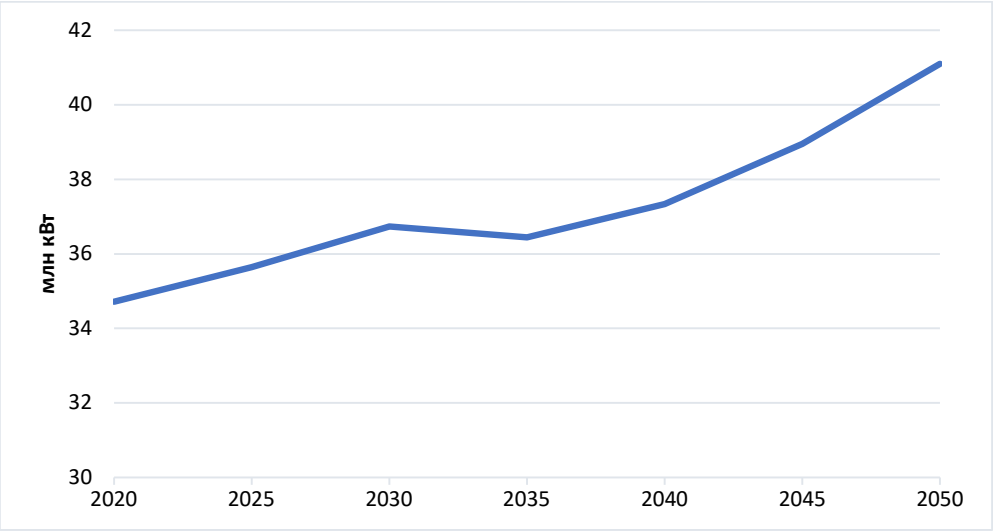


Рисунок 2.34- Общая установленная тепловая мощность

2.5.3 Занятость и трудовые доходы

Прогнозируемая занятость, связанная со строительством и обслуживанием зданий и установкой систем отопления за отдельные годы представлена в таблице 3.5. Занятость в системах отопления меняется в результате изменений в соотношении установленных технологий, а также замены систем отопления за счет более эффективных технологий.

Таблица 2.5 – Занятость, связанная со строительством, по категориям

Занятость, связанная со строительством	**Единица измерения**	**2020**	**2025**	**2030**	**2040**	**2050**
Строительство и техническое обслуживание	Человек	444 398	390 480	377 026	467 679	471 823
Системы отопления	Человек	10 269	8 743	9 003	9 267	9 888
Общая занятость в секторе зданий	Человек	454 667	399 223	386 029	476 946	481 711

2.5.4 Спрос и затраты на энергию

Общий спрос на энергию от сектора зданий в разбивке по источникам топлива представлен в таблице 3.6 ниже. В сценарии BAU общий спрос на энергию от сектора зданий увеличивается с 432 011 ТДж в год в 2020 году до 488 324 ТДж в год в 2050 году.

Таблица 2.61 – Общий спрос на энергию от жилых зданий

Общий спрос на энергию в секторе зданий	**Единица измерения**	**2020**	**2025**	**2030**	**2040**	**2050**
Природный газ	ТДж/год	133 990	152 091	173 019	182 292	191 547
Уголь	ТДж/год	105 649	89	79	61	72
Дизель	ТДж/год	0	0	3	0	0
Отопление низкопотенциальным теплом (НПТ)	ТДж/год	108 534	114 909	115 703	142 576	158 348
Биомасса	ТДж/год	7 434	8 166	2 254	-3	7 868
Электричество	ТДж/год	43 044	45 524	47 043	51 073	57 089
СЖ/ГАЗ	ТДж/год	33360	27 465	22 969	8 540	807
Геотермальная	ТДж/год	0	0	0	0	0
H2G	ТДж/год	0	-1	461	5 366	0
Итого	**ТДж/год**	**432 011**	**437 888**	**440 624**	**451 012**	**488 324**

Результаты для общего спроса на энергию для отопления за отдельные годы представлены в Таблице 3.7 ниже. В сценарии BAU общий спрос на энергию для отопления увеличивается примерно с 315 080 ТДж в год в 2020 году до 345 309 ТДж в год в 2050 году. Что касается структуры спроса на энергию, то около 50 % общего спроса приходится на природный газ, уголь и низкопотенциальное тепло. К 2050 году также преобладают природный газ, уголь и низкопотенциальное тепло, так как в базовом сценарии

предусматривается постепенное, но не полное уменьшение спроса на электроэнергию.

Таблица 2.7 – Спрос на топливо для отопления

Общий спрос на энергию для отопления	**Единица измерения**	**2020**	**2025**	**2030**	**2040**	**2050**
Природный газ	ТДж/год	118 924	129 006	142 291	142884	150 441
Уголь	ТДж/год	98 381	84 734	77 169	62 016	73 942
Дизель	ТДж/год	0	0	3	0	0
Отопление низкопотенциальным теплом (НПТ)	ТДж/год	82 827	85 260	84 185	106 458	111 468
Биомасса	ТДж/год	7 437	8 168	2 273	0	7 993
Электричество	ТДж/год	1 860	2 259	1 696	478	674
СЖ/ГАЗ	ТДж/год	5 651	5 671	6 068	1 111	791
Геотермальная	ТДж/год	0	0	0	0	0
H2G	ТДж/год	0	0	482	5 437	0
Итого	**ТДж/год**	**315 080**	**315 098**	**314 164**	**318 384**	**345 309**

Результаты расходов на энергию для отопления здания за отдельные годы представлены в таблице 3.8. В базовом сценарии общие расходы на энергию для отопления вырастут примерно с 1 млрд долларов США в год в 2020 году до 1,62 млрд долларов США в год к 2050 году.

Таблица 2.8 – Расходы на энергию для отопления

Общие расходы на энергию для отопления	**Единица измерения**	**2020**	**2025**	**2030**	**2040**	**2050**
Природный газ	млн долл. США в год	286 1692	353	504	514	533
Уголь	млн долл. США в год	146	128	137	103	121
Дизель	млн долл. США в год	9	0	0	0	0
НПТ	млн долл. США в год	494	519	745	691	900
Биомасса	млн долл. США в год	29	32	13	0	37
Электричество	млн долл. США в год	23	29	26	10	8
СЖ/ГАЗ	млн долл. США в год	15	21	27	9	5
Геотермальная	млн долл. США в год	0	0	0	0	0
H2G	млн долл. США в год	0	0	5	39	19
Итого	**млн долл. США в год**	**1 001**	**1 082**	**1 457**	**1 366**	**1 623**

2.5.5 Выбросы

На Рисунке 3.35 представлена динамика общих выбросов эквивалента CO2, связанных с сектором ЖКХ.

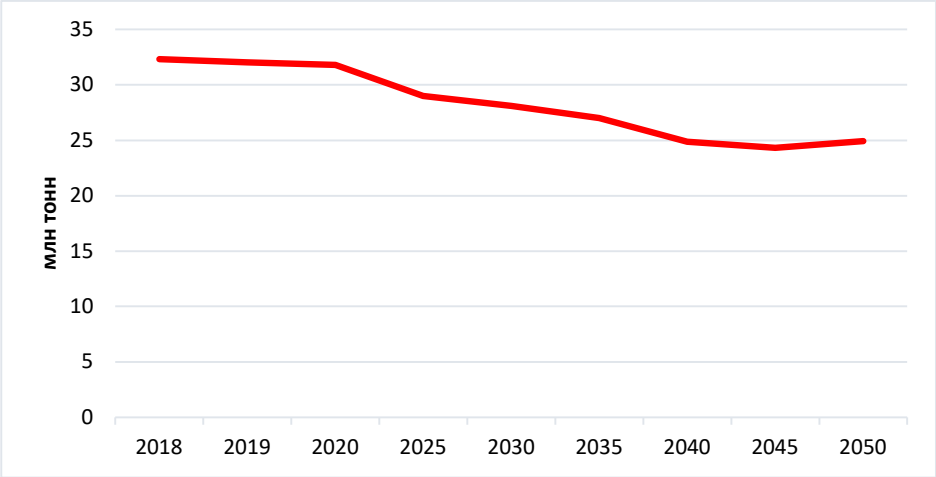


Рисунок 2.35 – Общий объем выбросов эквивалента CO_2

Ниже проиллюстрирован общий объем выбросов эквивалента CO_2 от потребления энергии на отопление по рассматриваемым видам топлива. В период с 2020-2050 годы объем выбросов постепенно снижается согласно базовому сценарию. В 2050 году выбросы от природного газа и угля составят около 8 млн тонн/год, от электричества 0,72 млн тонн/год.

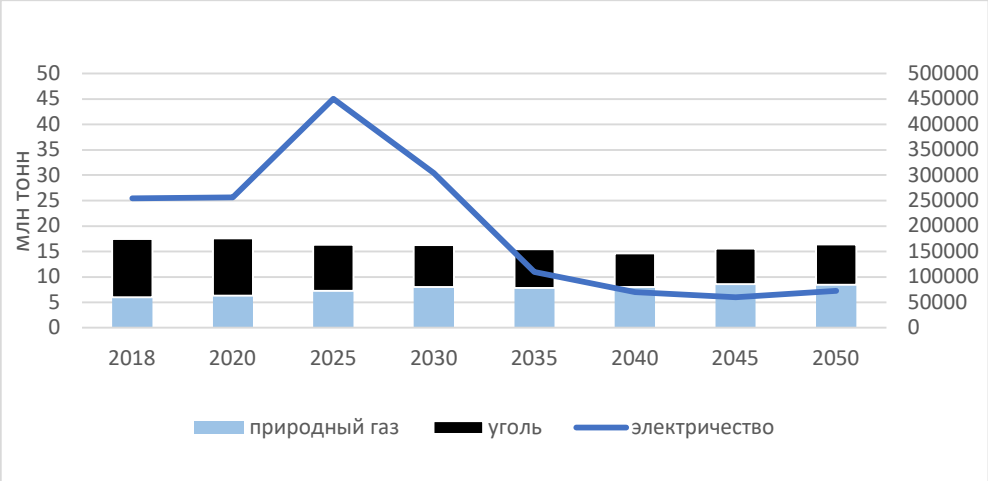


Рисунок 2.36 – Общий объем выбросов эквивалента CO2 от отопления по типу топлива

Выбросы эквивалента CO2 из сектора зданий от отопления различаются в зависимости от зоны страны, $м^2$ и типа здания в каждой зоне. Прогнозируемые ежегодные выбросы эквивалента CO2 из сектора зданий представлены в таблице 3.9 в разбивке по зонам и за отдельные годы.

В совокупности, по прогнозам, отопление от зданий будет генерировать 1,07 млрд тонн выбросов в период с 2020 по 2050 год.

Таблица 2.9 – Выбросы эквивалента CO2 от отопления зданий по зонам страны

Выбросы эквивалента CO2 из сектора зданий отопление	**Единица измерения**	**2020**	**2025**	**2030**	**2040**	**2050**
Зона 1	млн тонн/год	7.45	6,87	5,66	3,61	6,51
Зона 2	млн тонн/год	5.94	5,58	6	5	8,23
Зона 3	млн тонн/год	1.24	1,6	2,24	3,54	5,25
Зона 4	млн тонн/год	3.36	3,13	3,05	2,64	4,93

На основе модели был проведен анализ по количеству случаев респираторных заболеваний в контексте потребления угля, который показан на

рисунке 2.37 ниже. Данный показатель снижается с 154129 до 103330 случаев в год.

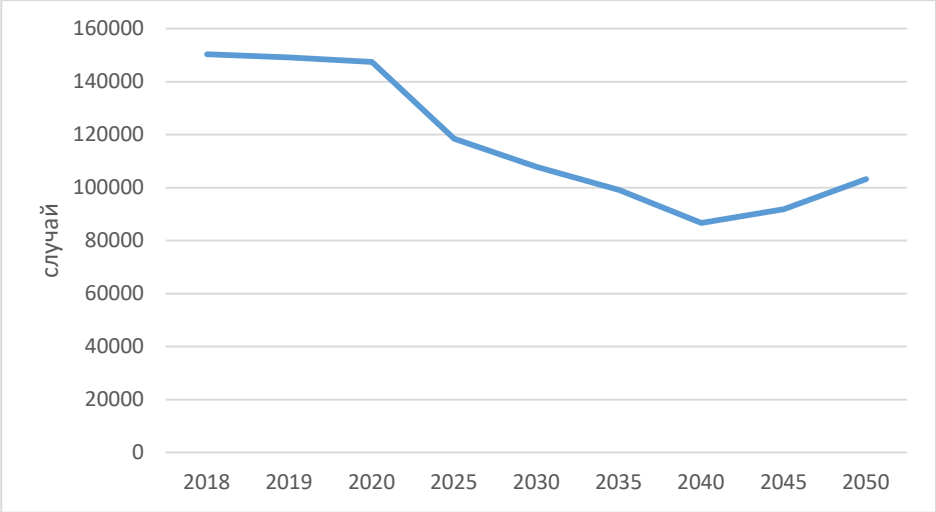


Рисунок 2.37 – Количество респираторных заболеваний в результате использования угля

2.5.6 Анализ затрат и выгод в секторе зданий

Экономическая оценка сектора зданий проводится с использованием комплексного анализа затрат и выгод с учетом затрат на инвестиции и ЭиТО, дополнительных выгод, обусловленных политикой, и предотвращенных расходов. Комплексный анализ затрат и выгод для сектора зданий представлен в Таблице 3.10. Представленные значения являются совокупными суммами в долларах США в период с 2020 по 2050 год.

Результаты показывают, что общие затраты на энергию составляют 33,06 млрд долларов США в период между 2020 и 2050 годами соответственно. Инвестиции, необходимые для отопления в период с 2020 по 2050 год, составляют 0.74 млрд долларов США, расходы на ЭиТО составляют 0,68 млрд долларов США на отопление, так как в базовом сценарии не рассматриваются дополнительные инвестиции, как например в NZE, за счет декарбонизации.

Прогнозируемые затраты на энергию для отопления в сценарии BAU составляют 41 млрд долларов США в период с 2020 по 2050 год.

Согласно результатам, общие предотвращенные социальные издержки составят 31,56 млрд долларов США в период с 2020 по 2050 год. Наибольшую долю в предотвращенных расходах составляют предотвращенные социальные издержки, связанные с выбросами углерода, составляющие 25,84 млрд долларов США, за которыми следуют предотвращенные затраты, связанные с загрязнением воздуха, 5,7 млрд долларов США.

Анализ показывает что при выполнении мероприятий по базовому сценарию, дополнительные выгоды составят 75 миллионов долларов США в течение следующих 30 лет. Дополнительные выгоды будут получены в результате трудового дохода, полученного за счет строительства и обслуживания.

Таблица 2.10 - Комплексный анализ затрат и выгод

Анализ затрат и выгод в секторе зданий в 2020–2050 гг.	**Единица измерения**	**Базовый сценарий**
Инвестиции и затраты		
Здания	**млн долл. США**	**206 614**
Капитальные затраты	млн долл. США	51 191
Эксплуатационные расходы	млн долл. США	122 364
Стоимость энергии	млн долл. США	33 059
Технологии отопления	**млн долл. США**	**42592**
Капитальные затраты на отопление	млн долл. США	742
Эксплуатационные расходы на отопление	млн долл. США	682

Стоимость отопления		41 168
(1) Итого инвестиции и затраты	**млн долл. США**	**249 206**
<u>Социальные издержки</u>		
Общественная стоимость углерода	млн долл. США	25 839
Издержки в связи с загрязнением воздуха (Метод 1) Общие годовые издержки загрязнения воздуха	млн долл. США	5 724
(2) Итого социальные издержки	**млн долл. США**	**31 563**
<u>Дополнительные выгоды</u>		
Трудовой доход	**млн долл. США**	**75 445**
от строительства и обслуживания	млн долл. США	73 846
от отопительных систем	млн долл. США	1 584
от добычи угля	млн долл. США	15
(3) Общие дополнительные выгоды		**75 445**
(3) - (2) - (1) Чистые интегрированные выгоды (Метод 1)		
Социальные издержки респираторных заболеваний (Метод 2)	млн долл. США	708

3 Угольный сектор

3.1 Анализ угольного сектора Казахстана

Угольная промышленность Казахстана является одной из важнейших отраслей экономики страны.

На сегодняшний день угольная промышленность Казахстана целиком удовлетворяет нужды в топливе коммунально-бытового сегмента и населения, на 100% обеспечивает загрузку коксохимического сырья, на 74% - выработку электроэнергии в республике. Именно благодаря углю электроэнергия в нашей республике одна из самых дешевых в странах СНГ и в мире.

По подтвержденным запасам угля Казахстан входит в десятку стран-лидеров.

Согласно ежегодному Статистическому обзору мировой энергетики – 2021, опубликованному компанией «British Petroleum» (BP), доказанные мировые запасы угля оцениваются в 1,074 трлн. тонн. Запасы угля в мире по странам (в млрд. тонн) в том числе и Казахстане в 2021 году представлены в диаграмме на рисунке 3.1

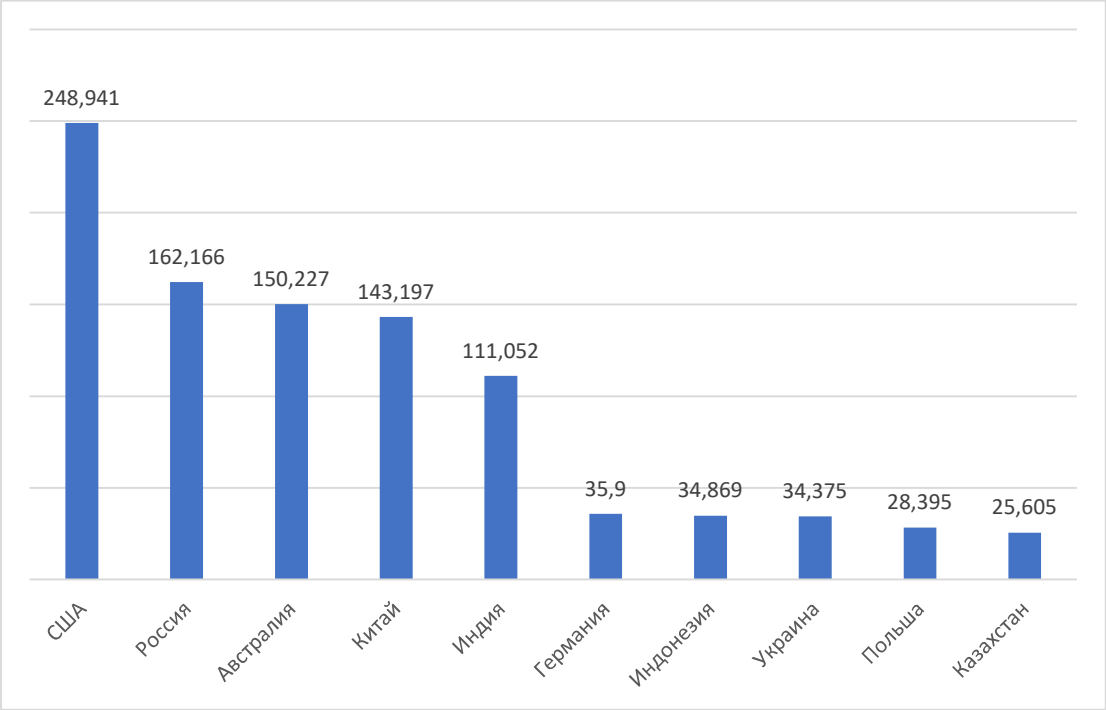


Рисунок 3.1- Запасы угля в мире по странам (в млрд. тонн)

Республика Казахстан завершает десятку крупнейших производителей и экспортеров угля на мировом рынке причем третье место после России и Украины по запасам и добыче среди стран СНГ.

Крупнейшие в мире государства по добыче угля (оценка «BP», в Exajoules – единицах измерения энергии) представлены в таблице 3.1

Таблица 3.1 – Добыча угля в странах мира (оценка «BP», в Exajoules – единицах измерения энергии)

№	**Наименование страны**	**Добыча угля (оценка «BP», Exajoules – единицах измерения энергии)**
1	Китай	80,91
2	Индонезия	13,88

3	Индия	12,68
4	Австралия	12,42
5	США	10,71
6	Россия	8,37
7	ЮАР	5,97
8	Казахстан	2,04
9	Польша	1,68
10	Колумбия	1,46

По запасам угля Казахстан входит в десятку стран-лидеров и составляют 25,605 млрд.т. Более 90% разведанных запасов угля сосредоточены на северо-восточной и в центральной части Казахстана.

По данным Бюро национальной статистики Агентства по стратегическому планированию и реформам Республики Казахстан, в Казахстане в январе-декабрь 2021 года добыто 111742,4 тыс. тонн каменного угля, что больше на 2%, чем за аналогичный период 2020 года 109227,6 тыс. тонн).

Таблица 3.2- Добыча угля в Казахстане в 2020-2021гг.

№ п/п	**Область**	**Январь-декабрь, тыс. тонн**		**Δ, %**
		2020 год	**2021 год**	
1	Акмолинская	50.9	488.0	958
2	Алматинская	38.7	41.9	108
3	Жамбылская	84.7	113.5	134
4	Карагандинская	33 614.6	35 362.6	105
5	Павлодарская	67 049.9	66 932.3	-99

6	Восточно-Казахстанская	8 388.8	8 804.1	105
	Всего по РК	**109 227.6**	**111 742.4**	**102**

По приведенным показателям в стране за январь-декабрь 2021 года в сравнении с аналогичным периодом 2020 года в стране наблюдается увеличение добыча угля на 2 %.

За I квартал 2022-го угледобывающие компании Республики Казахстан добыли 31,1 млн т каменного угля, лигнита и угольного концентрата – на 7,4% больше, чем годом ранее. В денежном выражении добыча угля составила 141 млрд тг.

На экспорт в январе – феврале было отправлено 5,3 млн т каменного угля на $120 млн. Рост в натуральном выражении составил 47,3%, в денежном выражении показатель увеличился сразу в 2 раза.

Большая часть экспорта каменного угля пришлась на страны СНГ: 3,7 млн т на $61,2 млн. Основным импортером стала Россия: более 3,3 млн т угля – на 57,2% больше, чем годом ранее. В тройке лидеров также оказались Кыргызстан и Беларусь.

В страны, не входящие в состав СНГ, было отправлено 1,6 млн т угля на $58,7 млн. Главными импортерами казахстанской продукции стали Швейцария, Польша и Кипр.

Цены в самой республике в марте текущего года выросли на 8,9% – до 14,7 тыс. тг за тонну угля ($33).

Индексы промышленного производства представлены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 - Индексы промышленного производства

Вся промышленность	Январь-декабрь 2021г. к 2020г., %	Январь 2022г. к	
		декабрю 2021г., %	январю 2021г., %
Горнодобывающая промышленность и разработка карьеров	101,7	87,0	107,2
добыча угля	100,8	86,5	91,9
добыча угля (без угольного концентрата)	100,9	83,4	91,1
добыча сырой нефти	100,3	99,2	112,6
добыча природного газа	97,9	98,4	112,6
добыча металлических руд	104,2	75,4	98,5
добыча железных руд	102,1	101,5	98,1
добыча руд, кроме железных	104,6	70,6	98,6
добыча прочих полезных ископаемых	96,1	76,9	107,1
предоставление услуг в горнодобывающей промышленности	104,3	28,7	106,6

В горнодобывающей промышленности и разработке карьеров в январе 2022 года ИПП составил 107,2%, что обусловлено ростом добычи сырой нефти и природного газа (112,6%), прочих полезных ископаемых (107,1%) и предоставления услуг в горнодобывающей промышленности (106,6%).

Невысокая себестоимость угля содержит стратегическое смысл как для экспорта, например и для конкурентоспособности казахстанской экономики. Невысокая себестоимость угля понижает затраты на энергию, собственно, что приводит к подъему доходов для казахстанских компании. С иной стороны, активное употребление угля приводит к подъему загрязнения воздуха и расходов на здравоохранение, а еще к подъему расходов на соблюдение экологических притязаний в частном секторе.

В модели сектора угля рассматривается угольная индустрия, издержки и прибыли, связанные с углем общественные и экологические итоги, такие как занятость, выбросы ПГ и результаты для здравоохранения.

Модель сектора угля симулирует сценарии на уровне государства, чтобы добиться желанного результат сектора не используются нижние индексы

Для бизнес-модели предполагаются 4 тенденции:

1) предполагается подъем себестоимости угля в будущем, собственно, что затронет всех покупателей угля и электричества в стране;
2) экспортный потенциал, с высокой вероятностью, понизится, собственно, что воздействует на прибыли от торговли с Россией;
3) чтобы избежать результатов 1 и 2 понадобиться помощь со стороны государства в виде субсидии;
4) международные торговые партнеры (например, ЕС), наверное, воспримут политические меры, которые поставят углеродоемкие ветви и продукты в нерентабельное состояние, при помощи политические деятели вроде пограничного углеродного сбора (CBA).

Последняя тенденция приведет к сокращению доходов частного сектора и, следовательно, к уменьшению прибыли, которая уже находится под давлением роста себестоимости угля и электроэнергии.

Таким образом, возникает сценарий, в котором конкурентоспособность будет утрачена в силу роста издержек и изменения международной политики. Увеличение субсидий решит только первую проблему, усугубив при этом вторую.

Также требуются новые решения в области здравоохранения (например, регулирование потребления угля и модернизация электростанций, которые позволят снизить загрязнение воздуха, но увеличат себестоимость угля), создание фонда энергоэффективности (например, при снижении себестоимости угля создается фонд для стимулирования инвестиций в энергоэффективность в среднесрочной перспективе), введение более прозрачных цен (для стимулирования частных инвестиций в другие виды топлива, например, для производства электроэнергии). Наконец, для противодействия сокращению традиционной занятости в добыче и транспортировке угля предусмотрены инвестиции в переработку, чтобы расширить цепочку создания стоимости внутри страны (например, для газификации или растворения и производства энергии/химикатов).

На рисунке 3.2 представлена схема причинно-следственной связи (системная карта сектора угля).

Схема причинной петли — это карта системы со всеми ее элементами компонентами и их взаимодействиями. Захватывая взаимодействия и, значит, петли оборотной связи, диаграмма причинно-следственных связей открывает структуру системы. Зная структуру системы, делается вероятным ввести поведение системы в направление конкретного периода времени.

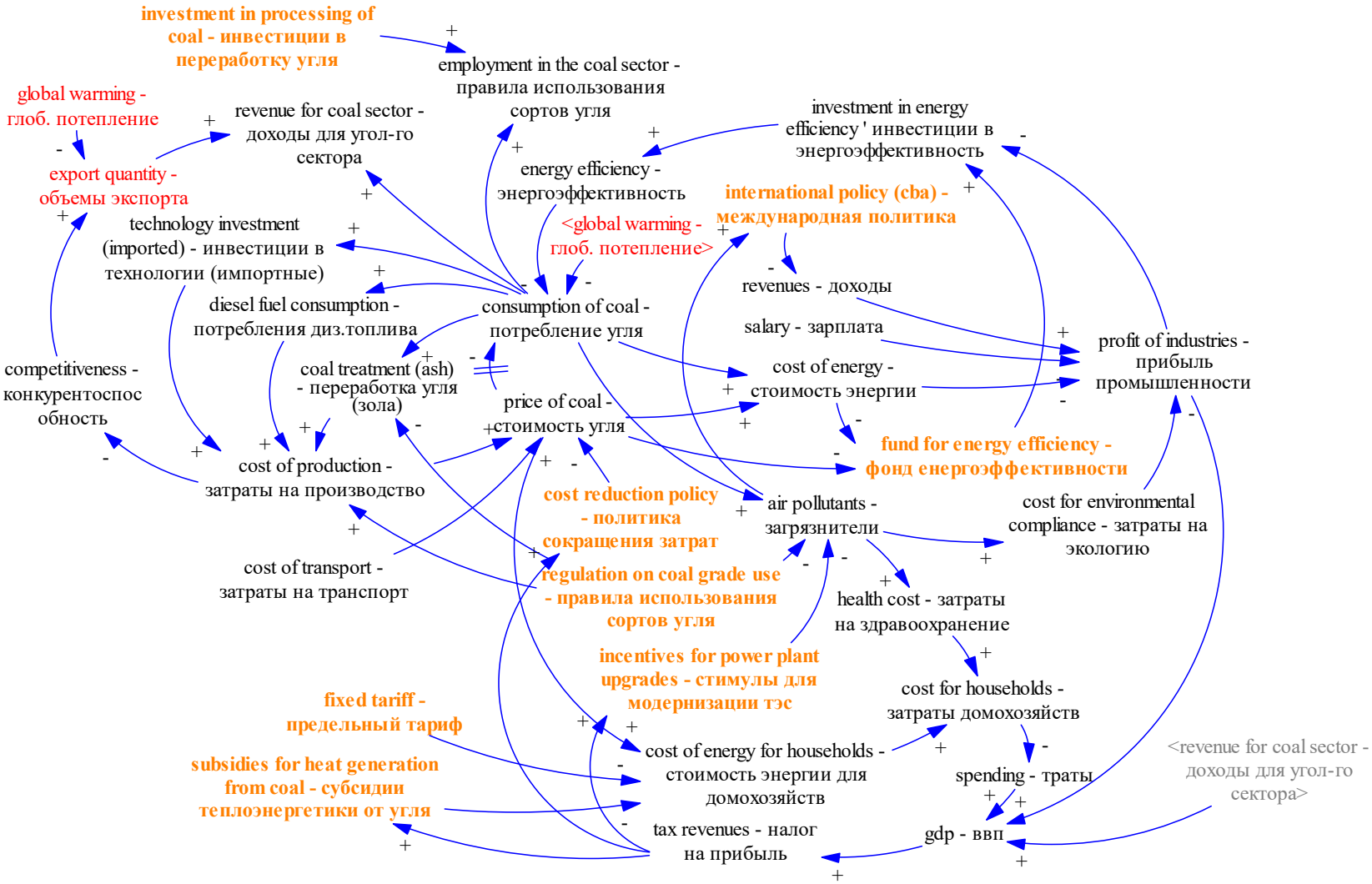


Рисунок 3.2 - Схема причинно-следственной связи (системная карта сектора угля)

3.4 Структурное описание модели

В данном разделе описано, как определяются и рассчитываются ключевые показатели производства угля. Последняя версия модели модифицирована таким образом, чтобы обеспечить прямой импорт параметров из электронной таблицы Excel для обеспечения беспрепятственной интеграции параметров и результатов, получаемых из модели TIMES. Это касается следующих переменных:

- Темпы добычи угля
- Доля экспортируемого угля
- Импорт угля
- Потребление угля для производства электроэнергии

Импорт данных выполняется с помощью функции GET XLS DATA, благодаря которой Vensim считывает данные из таблицы Excel. Для импорта доли экспортируемого угля формулируется следующее уравнение:

TIMES – доля экспортируемого угля =
GET XLS DATA('KAZ_TIMES_data import.xlsx' , 'Coal' , 'B1' , 'B4')

Использование функций GET XLS DATA позволяет полностью согласовать параметры модели СД с результатами TIMES. Оно содержит электронную таблицу, из которой импортируются данные, лист, на котором перечислены соответствующие данные, строку «time», то есть, B1, и первую ячейку импортируемого временного ряда. Этот подход полезен для выполнения нескольких итераций с одними и теми же моделями, где затрагивается множество различных параметров.

3.2.1Объемы добычи угля и отраслевой ВВП

Добыча угля в модели задается экзогенно. Для различных сценариев используются допущения на основе внутреннего спроса и экспортного

потенциала. Потребление угля внутри страны рассчитывается по следующему уравнению:

внутреннее потребление угля =
объем добычи угля - объем экспорта угля + ТАБЛИЦА ИМПОРТА УГЛЯ(Time)

Доходы от продажи угля оцениваются как сумма экспортных и внутренних доходов, которые рассчитываются путем умножения экспорта угля и внутреннего потребления на соответствующую цену угля. Дерево причинно-следственных связей на рисунке 3.3 представляет обзор переменных, используемых для расчета доходов от угля.

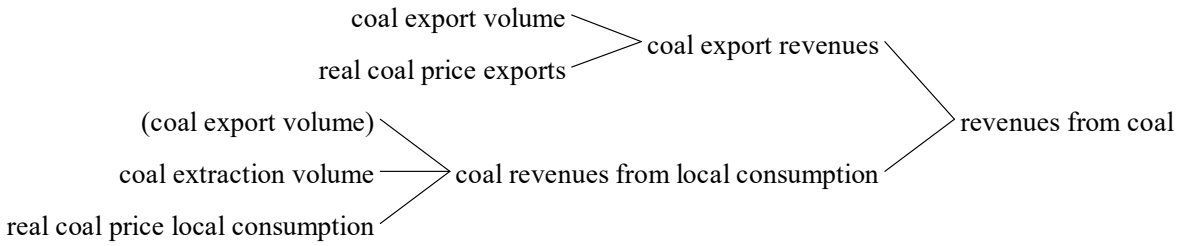


Рисунок 3.3 - Причинно-следственное дерево доходов от угля

Цена на уголь как для экспорта, так и для внутреннего потребления зависит от цен исторических продаж, указанных в национальной статистике (Бюро национальной статистики Агентства по стратегическому планированию и реформам Республики Казахстан, 2021 год), и средней субсидии на тонну угля, полученной от ОЭСР (2014). Если субсидии будут постепенно отменяться, цена пропорционально возрастет.

ВВП добычи угля рассчитывается как разница доходов и производственных затрат. Переменные, используемые для расчета ВВП добычи угля, представлены на рисунок 3.4

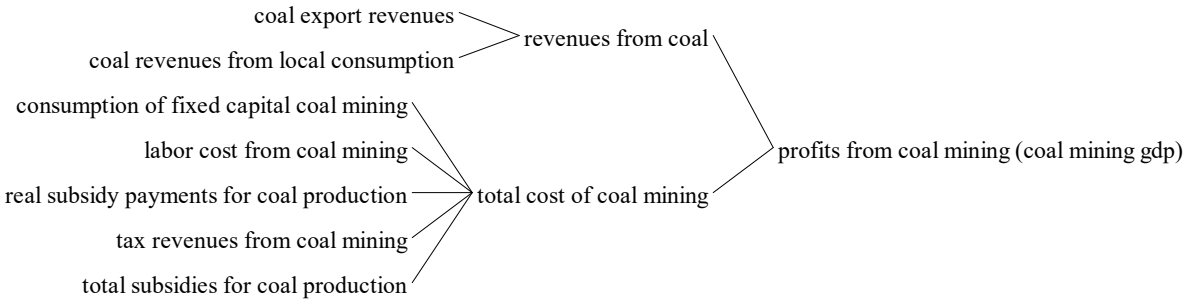


Рисунок 3.4. - Причинно-следственное дерево доходов от угля

3.2.2Потребление энергии и выбросы

Предполагается, что добыча угля — это основной драйвер потребления энергии в угольном секторе, как для добычи, так и для транспортировки. Потребление энергии для добычи угля рассчитывается путем умножения объема добычи угля на среднее потребление энергии на тонну:

энергопотребление при добыче угля =
объем добычи угля * СРЕДНЕЕ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕ НА ТОННУ ДОБЫТОГО УГЛЯ

Применяется потребление энергии для добычи угля в качестве входных данных, модель рассчитывает выбросы CO_2, CH_4 и N_2O при добыче угля с использованием множителей МГЭИК. Для получения эквивалента CO_2 для CH_4 и N_2O применяется коэффициент пересчета. Общие выбросы эквивалента CO_2 в результате потребления энергии при добыче угля представляют собой сумму выбросов эквивалента CO_2 от CO_2, CH_4 и N_2O. Переменные, используемые для расчета совокупных выбросов эквивалента CO_2 в результате потребления энергии при добыче угля, представлены на рисунке 3.5.

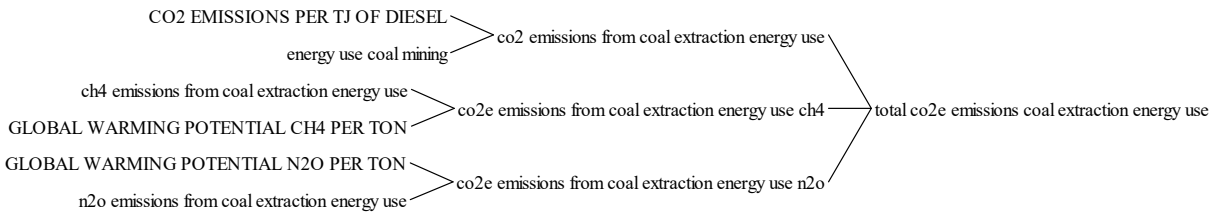


Рисунок 3.5. - Причинно-следственное дерево совокупных выбросов эквивалента CO_2 от потребления энергии при добыче угля

Этот же подход используется для расчета выбросов эквивалента CO_2, связанных с транспортировкой угля. В части транспортировки в модели рассматривается потребление энергии для транспортировки угля на объекте, транспортировка угля поездом и транспортировка угля грузовыми автомобилями.

Потребление энергии для транспортировки угля на объекте рассчитывается путем умножения объема добычи угля на коэффициент среднего энергопотребления для транспортировки угля на объекте. Для перевозки угля как по железной дороге, так и грузовым автотранспортом, учитывается среднее расстояние транспортировки, и потребление энергии рассчитывается на основе расстояния и потребления энергии на километр пройденного пути (на поезде и грузовом автомобиле) для оценки потребления энергии и связанных с этим выбросов.

Пример уравнения для потребления энергии при транспортировке угля по железной дороге:

энергопотребление при транспортировке угля по железной дороге = транспортировка угля по железной дороге * СРЕДНЕЕ ПОТРЕБЛЕНИЕ ЭНЕРГИИ НА ТОННО-КИЛОМЕТР ПО ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГЕ * СРЕДНЕЕ РАССТОЯНИЕ ТРАНСПОРТИРОВКИ УГЛЯ ПО ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГЕ

Для расчета выбросов, связанных с транспортировкой угля, применяется тот же подход, который использовался для расчета выбросов от потребления энергии при добыче угля. Потребление энергии для транспортировки на объекте, а также транспортировки по железной дороге и грузовыми автомобилями умножается на соответствующий множитель выбросов (CO_2, CH_4 и N_2O), затем выбросы преобразуются в эквивалент CO_2 и суммируются.

Выбросы, связанные с углем, используются для расчета общественной стоимости углерода (ОСУ), по ставке 31 доллар США за тонну выброса эквивалента CO_2 согласно Nordhaus (2017). Соответствующие выбросы эквивалента CO_2 при добыче угля, транспортировке угля и утечке CH4 в шахтах умножаются на ОСУ на тонну эквивалента CO_2. Совокупная ОСУ от операций по добыче угля представляет собой сумму ОСУ от добычи угля, транспортировки угля и утечки CH_4 в шахтах и представлена на рисунке 4.6.

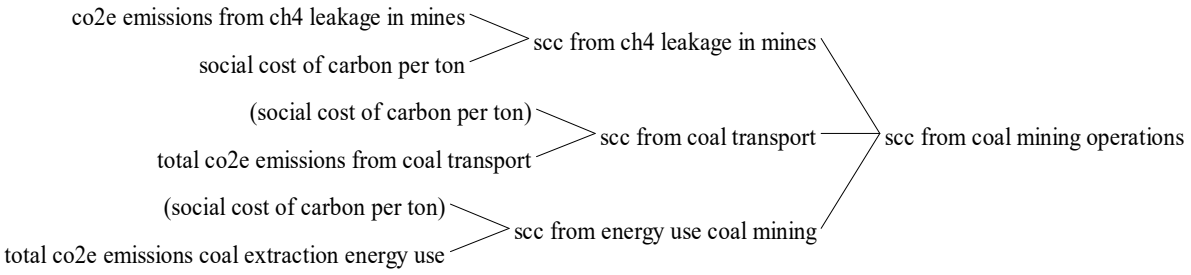


Рисунок 3.6. - Причинно-следственное дерево общественной стоимости углерода от добычи угля

3.2.3Последствия для здоровья в связи с углем

Расходы на здравоохранение в результате загрязнения воздуха, связанного с углем, рассматриваются в качестве основного внешнего фактора добычи угля в модели KAZ LEDS. Для оценки расходов на здравоохранение используются три различных подхода:

1) Оценка выбросов

Расходы на здравоохранение в связи с углем в Подходе 1 рассчитываются путем умножения выбросов, связанных с угольной генерацией, на оценочный

множитель на тонну для каждого типа выбросов (эквивалента CO_2, pm2.5, SO_2, NO_x). На рисунке 3.7 представлен обзор переменных, используемых для оценки общих издержек от выбросов, связанных с угольной энергетикой. Загрязнение тяжелыми металлами в модели рассчитывается; однако не удалось получить оценочный множитель для загрязнения воды с тяжелыми металлами, и, следовательно, эти издержки равны нулю во всех сценариях.

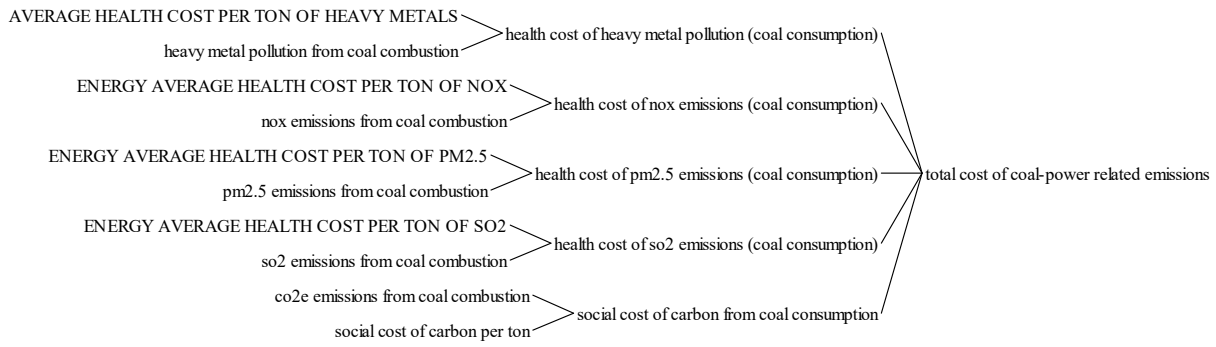


Рисунок 3.7 - Причинно-следственное дерево совокупных расходов в связи с выбросами угольной энергетики

2) Государственные расходы на здравоохранение в связи с респираторными заболеваниями.

Во втором подходе используются чистые государственные расходы на здравоохранение, связанные с респираторными заболеваниями, обусловленными углем. Государственные расходы на здравоохранение в расчете на один случай получены из исследования Всемирной организации здравоохранения (2019) по неинфекционным заболеваниям (НИЗ) в Казахстане, а количество случаев оценивается на основе данных Ахметова (2014). Уравнение для расчета числа случаев респираторных заболеваний, связанных с углем, представлено ниже:

"респираторные заболевания, связанные с добычей угля" =
объем добычи угля * СРЕДНЕЕ КОЛИЧЕСТВО РЕСПИРАТОРНЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ НА ТОННУ ДОБЫТОГО УГЛЯ

Затем число респираторных заболеваний умножается на средние расходы государства на медицинские услуги по каждому случаю респираторных заболеваний. Умножение числа случаев заболевания на средние расходы на один случай дает совокупный годовой объем государственных расходов на здравоохранение, связанных с респираторными заболеваниями.

3) Средние расходы на здравоохранение на тонну произведенного угля

В третьем подходе к оценке затрат на здравоохранение, связанных с углем, используется годовой объем добычи угля и постоянный мультипликатор затрат на здравоохранение, согласно Зубову (2007), на которого ссылается Ахметов (2014). В 2007 году расходы на здравоохранение в расчете на тонну добытого угля были указаны в размере 70,6 доллара США на душу населения. Учитывая общую численность населения (15,57 млн человек) в 2007 году, расходы на здравоохранение, связанные с углем, в 2007 году составили примерно 1,1 млрд долларов США. Учитывая добычу угля в 2007 году (приблизительно 99,1 млн тонн), это эквивалентно средней стоимости около 11,09 доллара США на тонну добытого угля. Расходы на здравоохранение в связи с углем в рамках этого подхода рассчитываются путем умножения объема добычи угля на среднюю стоимость тонны добытого угля:

затраты на здравоохранение в связи с респираторными заболеваниями, обусловленными потреблением угля =
объем добычи угля * ЗАТРАТЫ НА ЗДРАВООХРАНЕНИЕ НА ТОННУ ДОБЫТОГО УГЛЯ

Для расчета совокупных частных затрат на респираторные заболевания, связанные с углем, учитываются стоимость госпитализации и стоимость дней ограниченной трудоспособности. На рисунке 3.8 представлено дерево причинно-

следственных связей, которое иллюстрирует переменные, используемые для расчета частных расходов.

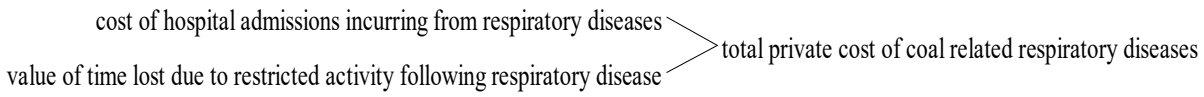


Рисунок 3.8- Причинно-следственное дерево общих частных затрат на связанные с углем респираторные заболевания

Стоимость госпитализации рассчитывается путем умножения ежегодного числа госпитализаций в связи с респираторными заболеваниями, связанными с углем, на среднюю стоимость госпитализации (CE Delft, Infras & Fraunhofer ISI , 2011) по приведенной формуле:

стоимость госпитализации в связи с респираторными заболеваниями = ежегодная госпитализация в связи с респираторными заболеваниями * средняя стоимость госпитализации

Время нетрудоспособности в связи с респираторными заболеваниями, рассчитывается путем умножения числа случаев на среднее количество дней ограниченной активности (CE Delft, Infras & Fraunhofer ISI , 2011). Стоимость времени, потерянного из-за дней ограниченной трудоспособности, рассчитывается путем умножения количества дней с ограниченной активностью на предполагаемое количество часов потерянной производительности и стоимость времени.

стоимость времени, потерянного из-за ограниченной активности после респираторного заболевания = количество дней ограниченной активности из-за респираторного заболевания, связанного с углем* ПРЕДПОЛАГАЕМОЕ КОЛИЧЕСТВО ЧАСОВ ПОТЕРЯННОГО ПРОДУКТИВНОГО ВРЕМЕНИ * СРЕДНЯЯ СТОИМОСТЬ

3.2.4Занятость в угольном секторе

В модели сектора угля KAZ LEDS учитывается занятость в сфере добычи угля и занятость в сфере производства электроэнергии на угле. Занятость в сфере добычи угля рассчитывается путем умножения объема добычи угля на коэффициент занятости на тонну добытого угля:

занятость в добыче угля =

объем добычи угля * ТАБЛИЦА ЗАНЯТОСТИ В ДОБЫЧЕ УГЛЯ НА ТОННУ(Time)

Занятость от производства электроэнергии на угле рассчитывается путем умножения темпов строительства и установленной мощности угольных электростанций (полученных из TIMES) на коэффициент средней занятости в строительстве и ЭиТО на один МВт построенной или установленной мощности соответственно. Переменные, используемые для расчета занятости на основе мощностей угольной генерации, представлены на рисунке 3.9

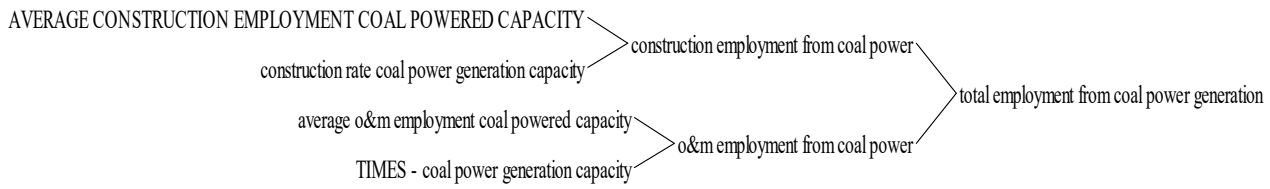


Рисунок 3.9 - Причинно-следственное дерево занятости в расчете на ТДж электроэнергии, вырабатываемой на угле

Трудовые доходы, связанные с углем от добычи и производства электроэнергии рассчитываются путем умножения соответствующей занятости на среднюю годовую заработную плату, как представлено в следующем уравнении:

трудовой доход от добычи угля =
занятость в добыче угля * ТАБЛИЦА СРЕДНЕЙ ГОДОВОЙ ЗАРАБОТНОЙ ПЛАТЫ В СФЕРЕ ДОБЫЧИ УГЛЯ(Time)

Общий трудовой доход, связанный с углем, представляет собой сумму трудовых доходов от добычи угля и производства электроэнергии на угле.

3.3 Описание результатов

В данном разделе представлен обзор ключевых показателей модели сектора угля в KAZ LEDS. Результаты представлены для сценариев BAU, GE и DD. Для низкоуглеродных сценариев сокращение добычи, экспорта и потребления угля для производства электроэнергии моделировалось в TIMES и использовалось в модели СД для оценки взаимосвязанных внешних эффектов.

Кроме того, низкоуглеродные сценарии предполагают сокращение субсидий на тонну угля, а также снижение интенсивности загрязнения для тепловых электростанций. Предполагается, что реализация намеченных мероприятий будет осуществляться линейно в период с 2020 по 2050 год. Допущения, введенные в сценариях GE и DD, представлены таблице 3.4.

Таблица 3.4 - Допущения сценариев GE и DD - добыча угля

Показатель	**Допущение**
Субсидия на тонну угля в 2020 году	100%
Субсидия на тонну угля в 2030 году	75%
Добыча угля в 2020 году	100%
Добыча угля в 2030 году	75%

Динамика добычи угля в сценарии BAU и LEDS представлена на рисунке 4.10. Предполагается, что объем добычи угля в BAU останется постоянным на уровне 116,16 млн тонн в год после 2019 года. В сценарии LEDS сокращение

добычи угля на 25 % приведет к сокращению добычи угля с 116,16 млн в 2020 году до 87,12 млн в 2030 году. После 2030 года добыча угля в сценарии LEDS останется на уровне 87,12 млн тонн в год.

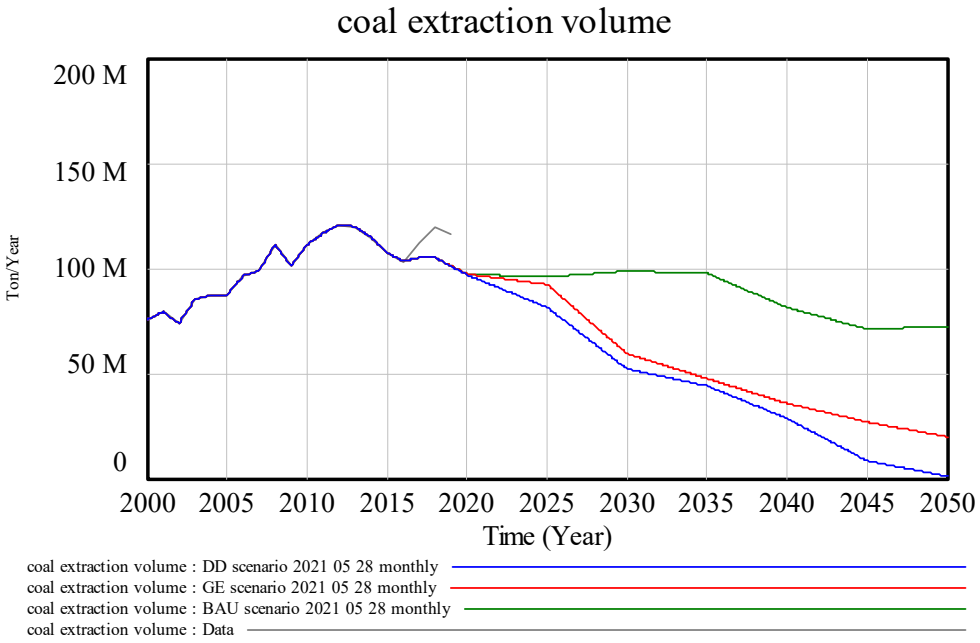


Рисунок 3.10 - Объем добычи угля - сценарий BAU, GE и DD

объем добычи угля, x – время (год), y – тонн/год объем добычи угля по сценариям DD, GE, BAU

В период с 2020 по 2050 год совокупные доходы от добычи угля составят 32,26 млрд долларов США, 20,82 млрд долларов США и 19,38 млрд долларов США в сценариях BAU, GE и DD соответственно. Прогнозы показывают, что сокращение добычи угля приведет к сокращению отраслевого ВВП на 11,14 млрд долларов США (сценарий GE) и 13,23 млрд долларов США (сценарий DD) в течение следующих 30 лет, или примерно на 371,25 млн долларов США (сценарий GE) и 441,02 млн долларов США (сценарий DD) в среднем в год.

Снижение отраслевого ВВП обусловлено сокращением производства, а не сокращением субсидий. Это связано с тем, что в этом сценарии предполагается полный перенос издержек. Это означает, что, с ростом издержек производителей вследствие отмены субсидий, цены будут расти на эквивалентную сумму для поддержания ВВП угольного сектора на том же уровне. На рисунке 3.11

показана динамика доходов от добычи угля (слева) и общей себестоимости добычи угля (справа) в сценариях BAU, GE и DD соответственно.

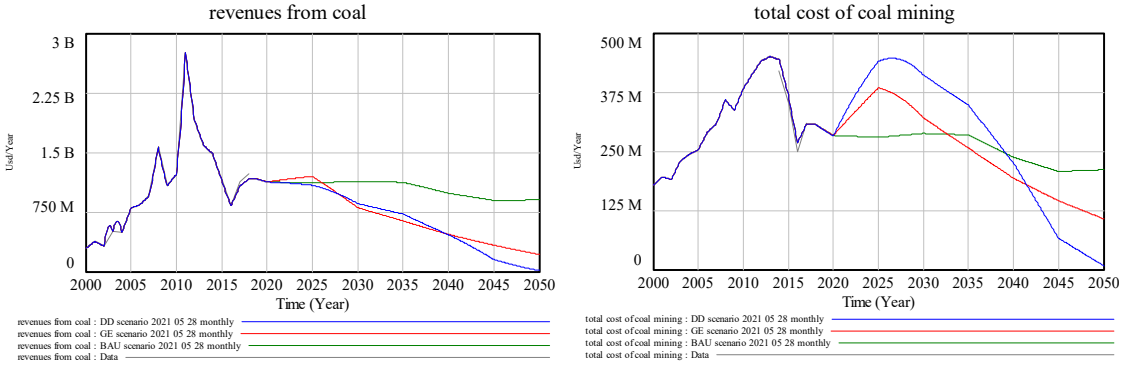


Рисунок 3.11- Доходы от добычи угля и общая себестоимость добычи угля - сценарии BAU, GE и DD доходы от добычи угля, x – время (год), y – долл./год доходы от добычи угля по сценариям DD, GE, BAU помесячно доходы от добычи угля: данные общая себестоимость добычи угля, x – время (год), y – долл./год общая себестоимость добычи угля по сценариям DD, GE, BAU помесячно общая себестоимость добычи угля

Динамика налоговых поступлений от добычи угля показана на рисунке 3.12. В дополнение к снижению прибыли от добычи угля, прогнозируется также снижение налоговых поступлений от добычи угля.

Среднегодовые налоговые поступления от добычи угля составляют 92,47 млн долларов США в BAU, 55,19 млн долларов США в GE и 44,91 млн долларов США в сценарии DD соответственно. В совокупности траектория, прогнозируемая TIMES, приводит к тому, что общие доходы от угля в сценарии GE сократятся на 1,12 млрд долларов США в период с 2020 по 2050 год, что эквивалентно сокращению общих налоговых поступлений на 40,3 % в течение следующих 30 лет. В сценарии DD совокупное сокращение налоговых поступлений от добычи угля в период с 2020 по 2050 год составляет 1,43 млрд долларов США, в результате чего совокупные налоговые поступления в период с 2020 по 2050 год будут на 41,4 % ниже по сравнению со сценарием BAU.

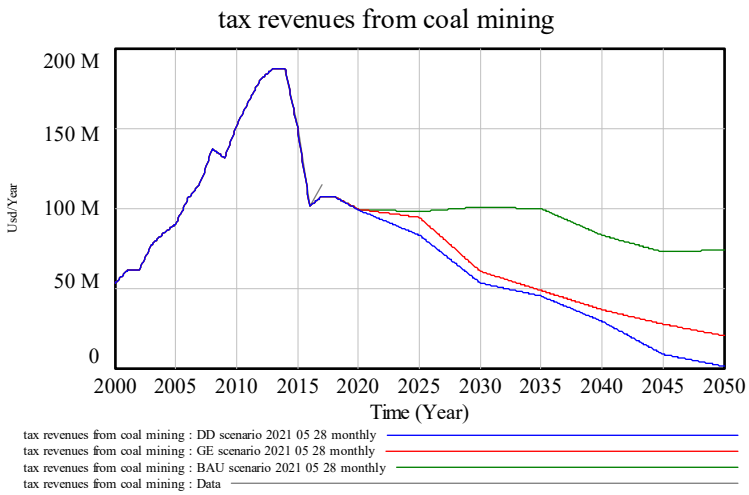


Рисунок 3.12- Налоговые поступления от добычи угля - сценарии BAU и LEDS налоговые поступления от добычи угля, x – время (год), y – долл./год налоговые поступления от добычи угля по сценариям DD, GE, BAU помесячно налоговые поступления от добычи угля: данные

В приведенном сценарии GE и DD занятость в угольном секторе снижается в результате снижения добычи угля и сокращения мощностей по производству электроэнергии на угле. Модель использует постоянный множитель на тонну угля, добытого после 2019 года, соответственно, сокращение добычи угля на 25,5 % в период с 2020 по 2050 год в сценарии BAU приведет к сокращению занятости в добыче угля на 25,5 % к 2050 году по сравнению с 2020 годом, при этом в секторе добыче угля останется 16 900 рабочих мест. В сценарии GE и DD занятость в добыче угля снижается с 22 600 рабочих мест в 2020 году до 4600 рабочих мест и 240 рабочих мест в 2050 году соответственно. Сокращение мощностей угольной генерации, прогнозируемое TIMES, приводит к сокращению занятости в производстве электроэнергии на угле в сценарии BAU на 55,7 %. Указанное число рабочих мест сократится с 4300 рабочих мест в 2020 году до 1900 рабочих мест к 2050 году. В сценарии GE и DD ускоренный отказ от генерирующих мощностей на угле приводит к большему сокращению занятости, связанной с производством электроэнергии. По прогнозу, в 2050 году останется 1200 рабочих мест на угольных электростанциях в сценарии GE, и

около 590 рабочих мест в сценарии DD. На рисунке 4.13 представлена динамика занятости в добыче угля и угольной генерации в сценариях BAU, GE и DD в сопоставлении с историческими данными.

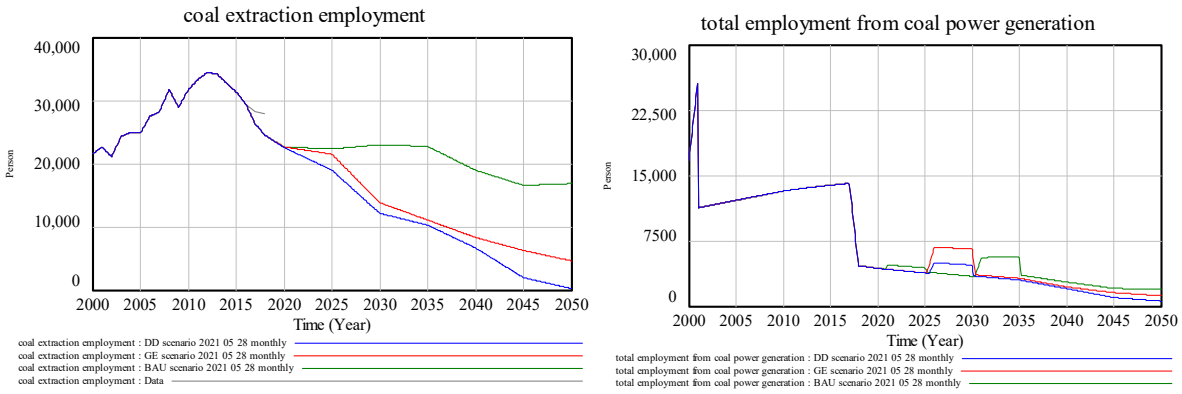


Рисунок 3.13- Занятость в добыче угля и занятость в угольной энергетике - сценарии BAU, GE и DD занятость в добыче угля, x – время (год), y – человек , занятость в добыче угля по сценариям DD, GE, BAU помесячно занятость в добыче угля: данные общая занятость в угольной энергетике, x – время (год), y – человек, общая занятость в угольной энергетике по сценариям DD, GE, BAU помесячно

Таким образом, сокращение занятости в добыче угля и производстве электроэнергии на угле приводит к сокращению общего трудового дохода, получаемого в угольном секторе. Совокупный трудовой доход, полученный угольным сектором в период с 2020 по 2050 год, составляет 532,84 млн долларов США в сценарии BAU, 344,14 млн долларов США в сценарии GE и 282,15 млн долларов США в сценарии DD соответственно. Это сокращение эквивалентно 188,7 млн долларов США (сценарий GE) и 250,69 млн долларов США (сценарий DD) в период с 2020 по 2050 год, или среднему сокращению отраслевого трудового дохода в среднем на 6,3 млн долларов США и 8,36 млн долларов США в год в течение следующих 30 лет в сценарии GE и DD соответственно.

На рисунке 3.14 представлено потребление энергии для добычи угля. В период с 2020 по 2050 год потребление энергии, связанное с добычей угля, в сценарии BAU снизится на 25,5 %, что обусловлено снижением темпов добычи

угля. В сценариях GE и DD потребление энергии при добыче угля снижается в соответствии с предполагаемым сокращением добычи угля.

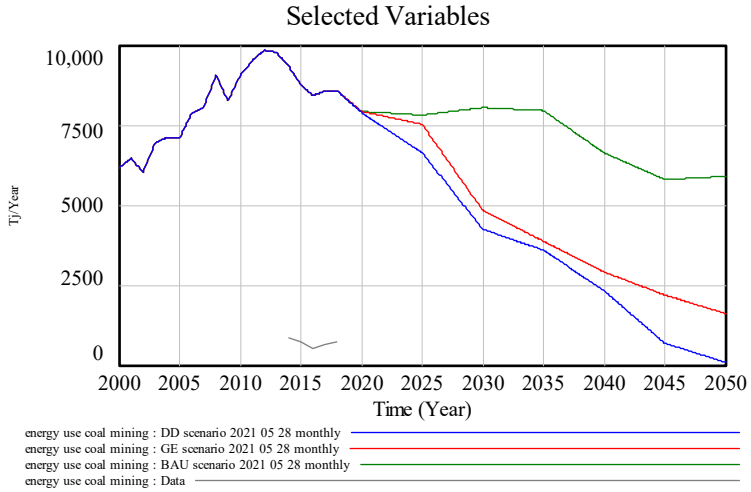


Рисунок 3.14 - Потребление энергии для добычи угля - сценарии BAU и LEDS отдельные переменные, x – время (год), y – ТДж/год потребление энергии для добычи угля по сценариям DD, GE, BAU помесячно потребление энергии для добычи угля

В таблице 3.5 представлено потребление энергии для добычи угля, транспортировки угля на объекте и транспортировки угля по железной дороге в сценарии BAU и LEDS за отдельные годы. К 2030 году сокращение добычи угля на 25 % приведет к снижению энергопотребления, связанного с транспортировкой угля, на 25 %.

Таблица 3.5- Потребление энергии для добычи угля – сценарии BAU, GE и DD

Потребление энергии при добыче угля	Единица измерения	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Потребление энергии при добыче угля								
DD	ТДж/год	7.779	6.415	4.186	3.463	2.172	627	83
DD в сравнении с BAU	%	-1.7%	-18.2%	-47.9%	-55.7%	-66.9%	-89.2%	-98.6%
GE	ТДж/год	7.890	7.275	4.746	3.775	2.843	2.137	1.617
GE в сравнении с BAU	%	-0.3%	-7.2%	-41.0%	-51.7%	-56.6%	-63.2%	-72.6%
BAU	ТДж/год	7.917	7.838	8.039	7.819	6.553	5.808	5.899
Потребление энергии для транспортировки угля по железной дороге								
DD	ТДж/год	7.823	6.452	4.210	3.482	2.184	631	84
DD в сравнении с BAU	%	-1.7%	-18.2%	-47.9%	-55.7%	-66.9%	-89.2%	-98.6%
GE	ТДж/год	7.935	7.316	4.773	3.796	2.859	2.150	1.626
GE в сравнении с BAU	%	-0.3%	-7.2%	-41.0%	-51.7%	-56.6%	-63.2%	-72.6%
BAU	ТДж/год	7.963	7.883	8.085	7.864	6.591	5.841	5.932
Потребление энергии для транспортировки угля на объекте								
DD	ТДж/год	7.021	5.790	3.778	3.125	1.960	566	75
DD в сравнении с BAU	%	-1.7%	-18.2%	-47.9%	-55.7%	-66.9%	-89.2%	-98.6%
GE	ТДж/год	7.121	6.565	4.283	3.407	2.566	1.929	1.460
GE в сравнении с BAU	%	-0.3%	-7.2%	-41.0%	-51.7%	-56.6%	-63.2%	-72.6%
BAU	ТДж/год	7.145	7.074	7.255	7.057	5.914	5.242	5.324

В таблице 3.6 представлены выбросы, связанные с добычей угля, сжиганием угля, транспортировкой угля и утечкой метана из шахт, за отдельные годы. В период с 2020 по 2050 год выбросы эквивалента CO_2, связанные с добычей и транспортировкой угля в сценарии BAU, снизятся на 25,5 %. Выбросы от сжигания угля для производства электроэнергии сократятся на 47,9 % к 2050 году. В период с 2020 по 2050 год результаты показывают, что совокупные выбросы эквивалента CO_2 от добычи и сжигания угля составят 1,44 млрд тонн в BAU, 0,82 млрд тонн в GE и 0,61 млрд тонн в сценарии DD. Это указывает на общее сокращение совокупных отраслевых выбросов на 42,8 % (сценарий GE) и 57,8 % (сценарий DD). Если исключить выбросы от сжигания угля, совокупные выбросы от добычи и транспортировки угля в период с 2020 по 2050 год составят 202,3 млн тонн, 102,73 млн тонн и 98,24 млн тонн в сценариях BAU, GE и DD соответственно.

Таблица 3.6-Выбросы от добычи угля по категориям – сценарии BAU, GE и DD

Выбросы от добычи угля	**Единица измерения**	**2020**	**2025**	**2030**	**2035**	**2040**	**2045**	**2050**
Добыча угля								
DD	млн тонн/год	0.59	0.48	0.32	0.26	0.16	0.05	0.01
DD в сравнении с BAU	%	-1.7%	-18.2%	-47.9%	-55.7%	-66.9%	-89.2%	-98.6%
GE	млн тонн/год	0.59	0.55	0.36	0.28	0.21	0.16	0.12
GE в сравнении с BAU	%	-0.3%	-7.2%	-41.0%	-51.7%	-56.6%	-63.2%	-72.6%
BAU	млн тонн/год	0.60	0.59	0.61	0.59	0.49	0.44	0.44
Сжигание угля								
DD	млн тонн/год	43.04	34.85	19.66	13.61	6.89	1.29	0.08

DD в сравнении с BAU	%	-2.5%	-20.4%	-60.7%	-72.9%	-81.1%	-95.0%	-99.7%
GE	млн тонн/год	43.72	37.56	25.12	19.92	14.32	11.34	9.85
GE в сравнении с BAU	%	-0.9%	-14.2%	-49.8%	-60.4%	-60.7%	-55.8%	-57.1%
BAU	млн тонн/год	44.14	43.77	50.05	50.29	36.47	25.65	22.98
Транспортировка угля								
DD	млн тонн/год	1.18	0.97	0.63	0.52	0.33	0.09	0.01
DD в сравнении с BAU	%	-1.7%	-18.2%	-47.9%	-55.7%	-66.9%	-89.2%	-98.6%
GE	млн тонн/год	1.19	1.10	0.72	0.57	0.43	0.32	0.24
GE в сравнении с BAU	%	-0.3%	-7.2%	-41.0%	-51.7%	-56.6%	-63.2%	-72.6%
BAU	млн тонн/год	1.20	1.19	1.22	1.18	0.99	0.88	0.89
Утечка метана в шахтах								
DD	млн тонн/год	5.33	4.40	2.87	2.37	1.49	0.43	0.06
DD в сравнении с BAU	%	-1.7%	-18.2%	-47.9%	-55.7%	-66.9%	-89.2%	-98.6%
GE	млн тонн/год	5.41	4.99	3.25	2.59	1.95	1.47	1.11
GE в сравнении с BAU	%	-0.3%	-7.2%	-41.0%	-51.7%	-56.6%	-63.2%	-72.6%
BAU	млн тонн/год	5.43	5.37	5.51	5.36	4.49	3.98	4.04

Динамика ОСУ на основе операций по добыче угля в сценариях BAU, GE и DD представлена на рисунке 3.15.

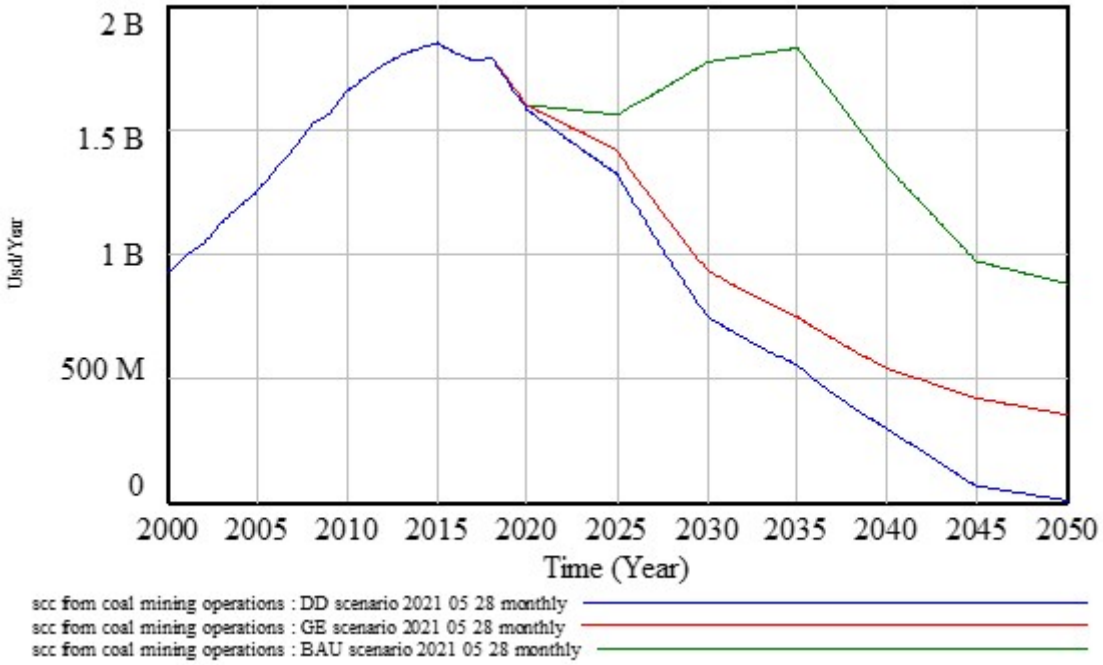


Рисунок 3.15- ОСУ от операций по добыче угля – сценарии BAU, GE и DD

ОСУ от операций по добыче угля, x – время (год), y – долл./год

осу от операций по добыче угля по сценариям DD, GE, BAU помесячно

ОСУ от операций по добыче угля

Таким образом, по сценарию BAU, выручка от добычи угля снизится на 44,8 % в период с 2020 по 2050 год, примерно с 1,59 млрд долларов США в год в 2020 году до 879,2 млн долларов США в 2050 году. В сценарии GE ОСУ от операций по добыче угля в 2050 году на 60,1 % ниже по сравнению с BAU, соответственно ОСУ составит 351,02 млн долларов США в 2050 году. В сценарии DD ускоренный отказ от угля приводит к снижению ОСУ от операций по добыче угля на 99,5 % по сравнению со сценарием BAU к 2050 году. В совокупности, ОСУ от добычи угля в период с 2020 по 2050 год составит 44,49 млрд долларов США в BAU, 22,45 млрд долларов США в GE и 18,79 млрд долларов США в сценарии DD. Соответственно, предусматриваемые целевые показатели производства сократят отраслевой ОСУ на 19,03 млрд долларов

США (сценарий GE) и 25,69 млрд долларов США (сценарий DD) в течение следующих 30 лет, что эквивалентно ежегодным предотвращенным социальным издержкам в связи с углеродом в диапазоне 634,5 млн долларов США и 856,4 млн долларов США в год в среднем по сценарию GE и DD соответственно. Сокращение ОСУ в сценариях GE и DD эквивалентно 42,8 % и 57,8 % соответственно по сравнению с базовым уровнем, пропорционально сокращению выбросов, связанных с добычей угля.

Ежегодные издержки здравоохранения в связи с углем оценивается с использованием трех подходов, описанных выше в документе. В таблице 3.7 обобщены результаты, полученные для сценария BAU и LEDS по каждому из трех подходов. Результаты представлены в разбивке по подходам и сценариям за отдельные годы. Таким образом, сокращение добычи и сжигания угля на 25% в сценарии LEDS, по прогнозам, приведет к снижению затрат на здравоохранение, связанных с углем, на 25% во всех трех подходах. Среднее сокращение расходов на здравоохранение в период с 2020 по 2050 год составляет 20,6%, что обусловлено линейной реализацией поставленных задач в период с 2020 по 2030 год.

Таблица 3.7- Сводная информация о расходах на здравоохранение в рамках подходов 1–3 – сценарии BAU, GE и DD

Издержки здравоохранения в связи с углем	**Единица измерения**	**2020**	**2025**	**2030**	**2035**	**2040**	**2045**	**2050**
Подход 1: Оценка выбросов								
DD	млн долл. США в год	840.0	706.8	416.1	309.3	167.6	31.3	1.9
DD в сравнении с BAU	%	-2 1%	-17.0%	-57.3%	-68.4%	-76.4%	-93.7%	-99.6%
GE	млн долл. США в год	852.3	750.9	515.5	420.0	309.4	245.0	212.8

GE в сравнении с BAU	%	-0.7%	-11.8%	-47.1%	-57.1%	-56.4%	-50.9%	-52.4%
BAU	млн долл. США в год	858.4	851.2	973.5	978.0	709.4	499.0	446.9
Подход 2: на основе затрат на здравоохранение в связи с респираторными заболеваниями								
DD	млн долл. США в год	772.9	637.4	415.9	344.0	215.8	62.3	8.3
DD в сравнении с BAU	%	-1.7%	-18.2%	-47.9%	-55.7%	-66.9%	-89.2%	-98.6%
GE	млн долл. США в год	784.0	722.8	471.6	375.1	282.5	212.4	160.7
GE в сравнении с BAU	%	-0.3%	-7.2%	-41.0%	-51.7%	-56.6%	-63.2%	-72.6%
BAU	млн долл. США в год	786.7	778.8	798.7	776.9	651.1	577.1	586.1
Подход 3: на основе общего объема производства и стоимости на тонну								
DD	млн долл. США в год	1 058.08	872.59	569.33	470.96	295.40	85.33	11.30
DD в сравнении с BAU	%	-1.7%	-18.2%	-47.9%	-55.7%	-66.9%	-89.2%	-98.6%
GE	млн долл. США в год	1 073.21	989.46	645.54	513.45	386.70	290.72	219.97
GE в сравнении с BAU	%	-0.3%	-7.2%	-41.0%	-51.7%	-56.6%	-63.2%	-72.6%
BAU	млн долл. США в год	1 076.88	1 066.11	1 093.40	1 063.52	891.36	789.97	802,31

3.4.1 Подход 1: Оценка выбросов

При использовании подхода 1 прогнозируемые затраты на здравоохранение в сценариях BAU, GE и DD составляют в среднем 773,42 млн долларов США, 463,78 млн долларов США и 343,28 млн долларов США в год в

среднем в период с 2020 по 2050 год (рисунок 4.16). В совокупности общие расходы на здравоохранение в сценарии BAU составляют 23,96 млрд долларов США, 14,38 млрд долларов США в сценарии GE и 10,64 млрд долларов США в сценарии DD. Это указывает на то, что реализация намеченных задач приведет к сокращению расходов на здравоохранение, связанных с углем, на 9,6 млрд долларов США (сценарий GE) и 13,3 млрд долларов США (сценарий DD) в период с 2020 по 2050 год, что эквивалентно ежегодному сокращению примерно на 319,9 млн долларов США и 444,5 млн долларов США в год в течение следующих 30 лет в сценарии GE и DD соответственно.

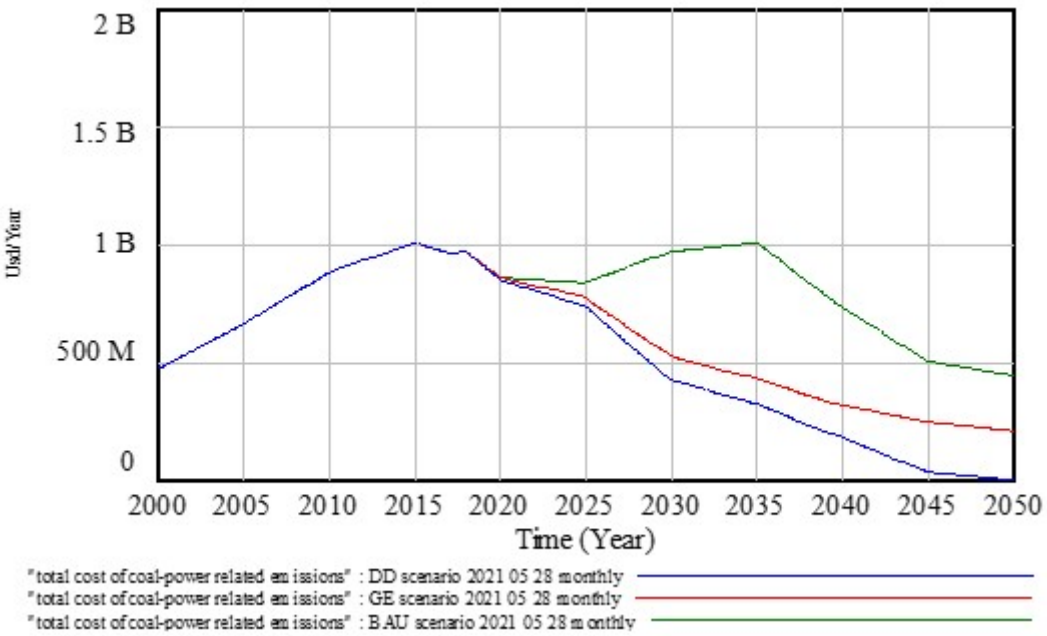


Рисунок 4.16- Расходы на здравоохранение, связанные с углем - Подход 1 общие расходы в связи с выбросами от угольной энергетики, x – время (год), y – долл./год
общие расходы в связи с выбросами от угольной энергетики по сценариям DD, GE, BAU помесячно

3.4.2 Подход 2: Государственные расходы на здравоохранение в связи с респираторными заболеваниями

Согласно оценке расходов на здравоохранение на основе числа респираторных заболеваний и государственных расходов на здравоохранение в расчете на один случай, общие совокупные затраты на здравоохранение в связи с углем в период с 2020 по 2050 год составят 30,2 млрд долларов США, 18

миллиардов долларов США и 14,6 млрд долларов США в сценариях BAU, GE и DD соответственно. Рисунок 3.17 иллюстрирует динамику респираторных заболеваний, связанных с углем, и соответствующие государственные расходы на здравоохранение.

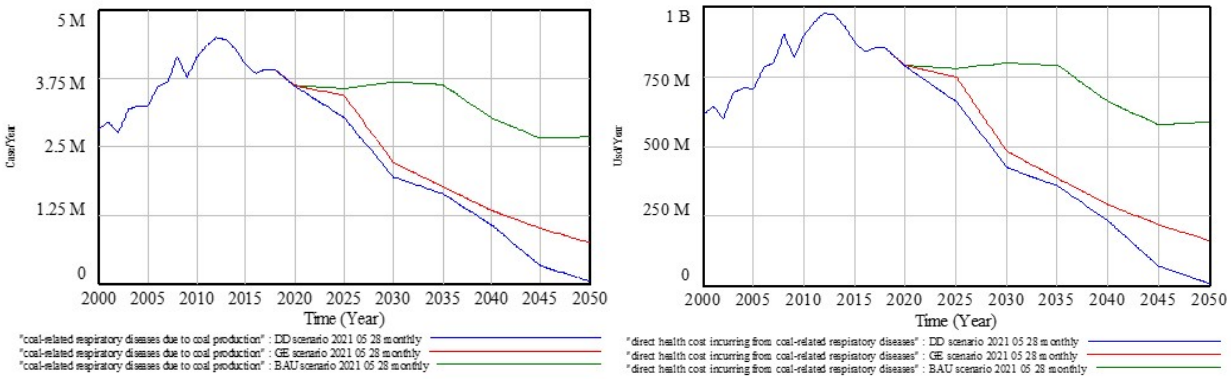


Рисунок 4.17-Количество респираторных заболеваний, связанных с углем, и затраты на здравоохранение, связанные с углем - Подход 2
количество респираторных заболеваний, связанных с добычей угля, x – время (год), y – случай/год
количество респираторных заболеваний, связанных с добычей угля по сценариям DD, GE, BAU помесячно
прямые расходы на здравоохранение в связи с респираторными заболеваниями, обусловленными углем, x – время (год), y – долл./год
прямые расходы на здравоохранение в связи с респираторными заболеваниями, обусловленными углем по сценариям DD, GE, BAU помесячно

Прогнозируется в сценарии BAU, что число респираторных заболеваний, связанных с углем, сократится с 3,61 млн случаев в год в 2020 году до 2,69 млн случаев в год в 2050 году. Число респираторных заболеваний обусловлено темпами добычи угля, которые снизятся на 25,5 % в период с 2020 по 2050 год. В сценарии GE и DD число респираторных заболеваний, связанных с добычей угля, к 2050 году сократится до 737 000 случаев в год и 38 000 случаев в год соответственно. В сценарии GE и DD соответствующие расходы на здравоохранение снизятся до 220 миллионов долларов США и 11,3 млн долларов США к 2050 году. В сценарии BAU расходы на здравоохранение снижаются до 802,3 млн долларов США в год.

3.4.3 Подход 3: Средние расходы на здравоохранение на тонну произведенного угля

В период с 2020 по 2050 год средние затраты на здравоохранение, связанные с угольным сектором, в сценариях BAU, GE и DD составляют 710,8 млн долларов США, 424,2 млн долларов США и 345,2 млн долларов США в год соответственно. В совокупности расходы на здравоохранение, связанные с углем, в BAU составляют 22,03 млрд долларов США по сценарию BAU, 13,15 млрд долларов США по сценарию GE и 10,7 млрд долларов США по сценарию DD. Это указывает на то, что реализация намеченных задач сократит расходы на здравоохранение, связанные с углем, на 8,88 млрд долларов США (сценарий GE) и 11,33 млрд долларов США (сценарий DD) в течение следующих 30 лет. Это сокращение эквивалентно среднегодовой экономии расходов на здравоохранение примерно в размере 296,1 млн долларов США и 377,8 млн долларов США в сценарии GE и DD соответственно. Результаты подхода 3 (с использованием темпов добычи угля и постоянного множителя) представлены на рисунке 3.18

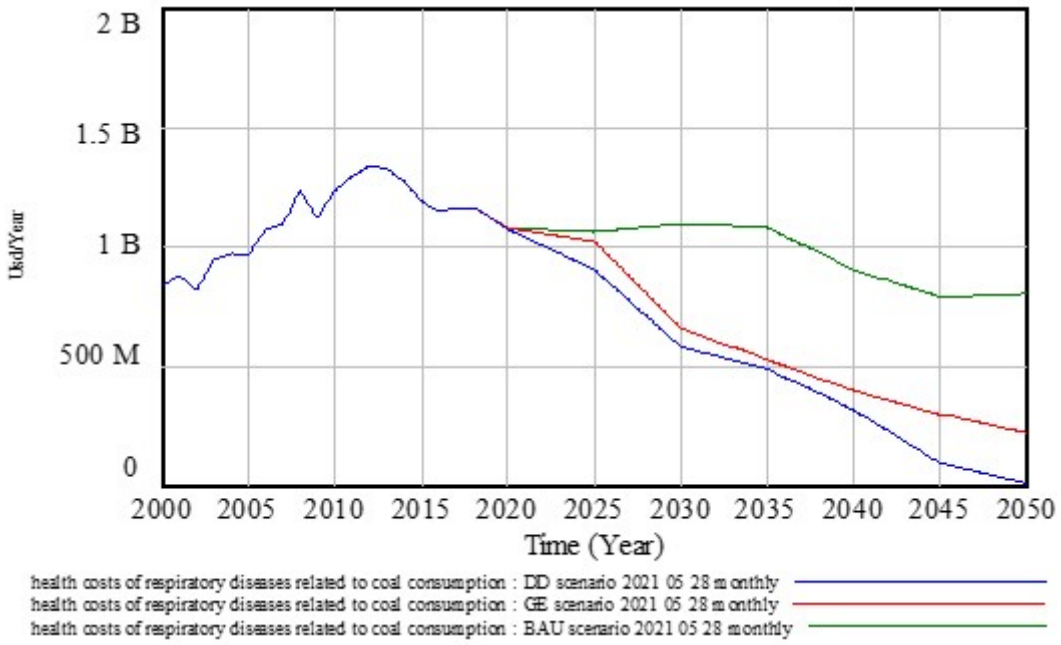


Рисунок 3.18- Расходы на здравоохранение, связанные с углем - Подход 3 расходы на здравоохранение в связи с респираторными заболеваниями, обусловленными потреблением угля, x – время (год), y – долл./год

расходы на здравоохранение в связи с респираторными заболеваниями, обусловленными потреблением угля по сценариям DD, GE, BAU помесячно

На рисунке 3.19 представлена динамика частных затрат на здравоохранение в связи с респираторными заболеваниями, обусловленными углем, для всех трех сценариев. В сценарии GE и DD частные расходы на здравоохранение в связи с респираторными заболеваниями, обусловленными углем, снижаются с 2,96 млрд долларов США в 2020 году до 604,6 млн долларов США (сценарий GE) и 31,06 доллара США (сценарий DD) в 2050 году соответственно.

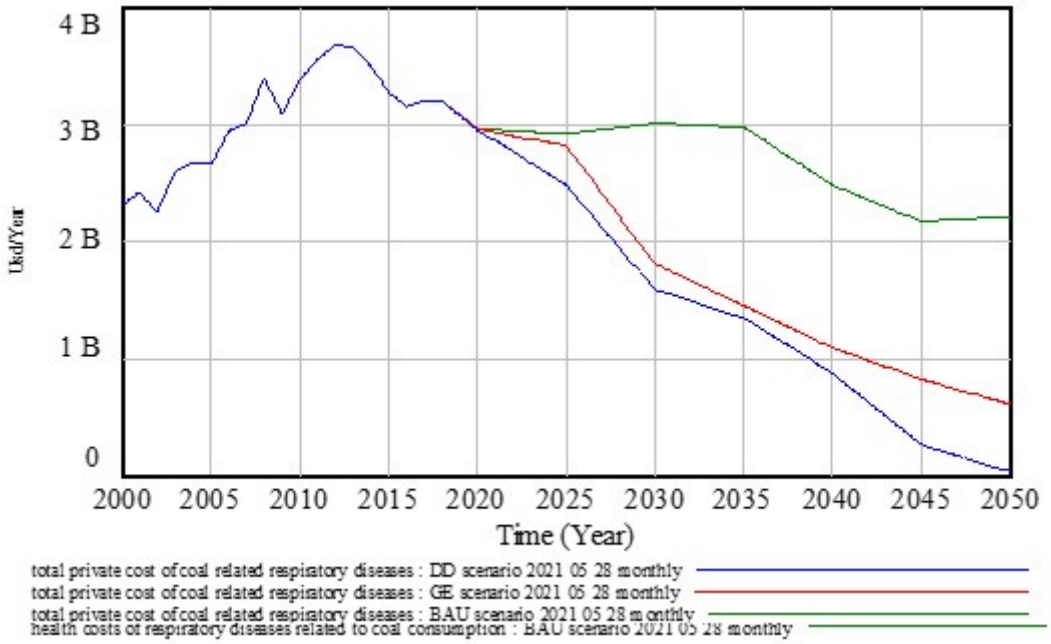


Рисунок 3.19 - Частные расходы на респираторные заболевания, связанные с углем общие частные расходы на респираторные заболевания, связанные с углем, x – время (год), y – долл./год общие частные расходы на респираторные заболевания, связанные с углем по сценариям DD, GE, BAU помесячно

3.4.4 Анализ затрат и выгод в угольном секторе

Анализ затрат и выгод для угольного сектора представлен в Табле 3.8 и отражает совокупные затраты и выгоды для сценария BAU, GE и DD на период с 2020 по 2050 год. Чистая разница между двумя сценариями низкоуглеродного развития (столбцы GE vs BAU и DD vs BAU) указывает на совокупные дополнительные затраты и выгоды в результате реализации мероприятий по внедрению стратегии низкоуглеродного развития.

Как показывают результаты совокупная экономия составит 260 миллионов долларов США в сценарии GE и совокупные дополнительные расходы в размере 442 миллиардов долларов США в сценарии DD. Предотвращенные социальные издержки в сценарии GE составляют 73,2 млрд долларов США в период с 2020 по 2050 год, а в сценарии DD совокупные предотвращенные социальные издержки составляют 95,5 млрд долларов США за тот же период. Наибольшую долю в предотвращенных издержек составляет общественная стоимость углерода (в результате сокращения выбросов), субсидии, связанные с углем, и расходы на здравоохранение в результате сжигания угля (как государственные, так и частные). Для анализа более обширных последствий поэтапного отказа от угля необходимо учитывать упущенный ВВП, а также сокращение занятости и доходов. В совокупности сценарий GE показывает сокращение ВВП добычи угля на 10,87 млрд долларов США и трудовых доходов на 185 миллионов долларов США в период с 2020 по 2050 год соответственно. В сценарии DD совокупные упущенные ВВП и трудовые доходы составляют 12,92 млрд долларов США и 245 миллиардов долларов США соответственно. С другой стороны, в целом сценарии GE и DD показывают чистую прибыль в размере 62,42 млрд долларов США и 81,88 млрд долларов США в течение следующих 30 лет. Это связано с тем, что общественная стоимость угля выше, чем доходы и ВВП, которые генерирует сектор. Как следствие, любое сокращение производства создает выгоды для общества. Чистая экономия от профилактики респираторных заболеваний варьируется в зависимости от подхода, используемого для оценки издержек потребления угля для здоровья. Подход 2 для оценки расходов на здравоохранение показывает наименьшую сумму экономии, снижая общую чистую выгоду до 59,95 млрд долларов США в сценарии GE и 77,43 млрд долларов США в сценарии DD соответственно.

Таблица 3.8- Комплексный анализ затрат и выгод в угольном секторе – сценарии GE и DD в сравнении с BAU

Анализ затрат и выгод добычи угля в 2020–2050 гг.	**Единица измерения**	**Сценарий BAU**	**Сценарий GE**	**GE в сравнении с BAU**	**Сценарий DD**	**DD в сравнении с BAU**
<u>Инвестиции и затраты</u>						
Инвестиции и затраты на ЭиТО - добыча угля	млн долл. США	7 960	7 700	-260	8 402	442
(1) Итого инвестиции и затраты	**млн долл. США**			**-260**		**442**
<u>Социальные издержки</u>						
Затраты на соблюдение экологических требований	млн долл. США	14	9	-6	6	-8
Стоимость перевозки угля (ж/д)	млн долл. США	1 621	985	-637	810	-811
Субсидии производителям угля	млн долл. США	13 578	5 381	-8 197	2 362	-11 216
ОСУ от операций по добыче угля	млн долл. США	44 819	26 027	-18 792	19 523	-25 296
Издержки здравоохранения от сжигания угля (<u>подход 1</u>)	млн долл. США	30 162	18 002	-12 160	14 649	-15 513
Частные расходы на респираторные заболевания, связанные с углем	млн долл. США	82 895	49 476	-33 419	40 259	-42 636
(2) Итого социальные издержки	**млн долл. США**			**-73 210**		**-95 481**

Дополнительные выгоды						
ВВП добычи угля	млн долл. США	24 405	13 537	-10 868	11 488	-12 916
Трудовые доходы от добычи угля	млн долл. США	457	278	-180	229	-229
Трудовые доходы от производства электроэнергии	млн долл. США	79	74	-5	63	-17
(3) Общие дополнительные выгоды	**млн долл. США**			**-11 053**		**-13 162**
(3) - (2) - (1) Чистые интегрированные выгоды (Подход 1)	**млн долл. США**			**62 418**		**81 877**
Чистые интегрированные чистые выгоды с использованием подхода к оценке 2						
Издержки здравоохранения от сжигания угля (Подход 2)	млн долл. США	22 127	13 439	-8 688	11 058	-11 069
(3) - (2) - (1) Чистые интегрированные выгоды (Подход 2)	**млн долл. США**			**58 946**		**77 433**
Издержки здравоохранения от сжигания угля (Подход 3)	млн долл. США	23 976	14 377	-9 599	10 642	-13 334
(3) - (2) - (1) Чистые интегрированные выгоды (Подход 3)	**млн долл. США**			**59 857**		**79 698**

3.4.5 Средние затраты на один ТДж угольной генерации

В таблицах 3.9 и 3.10 представлены средние затраты на инвестиции и внешние эффекты для угольного сектора представлены для сценария BAU и сценария LEDS. Для нормализации всех показателей используется внутреннее потребление угля (т. е. представленные значения рассчитываются путем деления национальных значений на потребление угля). В соответствии с результатами, описанными выше, прогнозируется рост цен на уголь (как внутренних, так и экспортных) в результате отмены субсидий, для которых в сценарии LEDS прогнозируется снижение на ТДж угля.

Таблица 3.9 - Показатели панели мониторинга - анализ угольного сектора - сценарий BAU

Показатель	**Единица измерения**	**2020**	**2030**	**2040**	**2050**
Цена на уголь (экспорт)	Доллар США/ТДж	1 009.9	725.6	732.1	732.1
Цена на уголь (внутренняя)	Доллар США/ТДж	126.8	415.8	315.9	315.9
Субсидия	Доллар США/ТДж	187.0	187.0	187.0	187.0
Стоимость обработки угля (золы)	Доллар США/ТДж	478.9	527.5	512.3	381.4
Затраты на соблюдение экологических требований	Доллар США/ТДж	0.3	0.3	0.3	0.2
Расходы на здравоохранение (государственные)	Доллар США/ТДж	429.6	423.7	460.4	482.9

Расходы на здравоохранение (частные)	Доллар США/ТДж	1 616.4	1 594.1	1 732.2	1 816.7
Получение дохода	Доллар США/ТДж	10.6	10.3	10.9	11.1
Рабочие места в секторе	'000 человек	36.4	47.2	27.0	28.5

Затраты на ТДж дают представление о стоимости потребления энергии, средние затраты на душу населения дают выходной индикатор, сопоставимый во всех трех сценариях. Для этой цели затраты, лежащие в основе показателей на ТДж, представленных в Таблице 4.9 , используются для расчета показателей на душу населения, которые представлены в Таблице 4.10. Прогнозы GE и DD указывают на снижение затрат на уголь на душу населения на 69,9 % и 98,8 % на системном уровне к 2050 году. В то время как средние издержки в связи с углем на душу населения в год снизятся с 270,4 доллара США в 2020 году до 147 долларов США в 2050 году, средние издержки на душу населения в год в сценариях GE и DD снизятся до 44,3 доллара США и 1,70 доллара США в 2050 году соответственно.

Таблица 3.10-Показатели панели мониторинга - анализ угольного сектора - сценарии BAU, GE и DD

Показатель	**Единица измерения**	**2020**	**2025**	**2030**	**2035**	**2040**	**2045**	**2050**
Сценарий DD								
Субсидия	долл. США/чел.	23,8	8,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Стоимость обработки угля (золы)	долл. США/чел.	45,6	39,6	24,5	20,5	12,6	2,2	0,1

Затраты на соблюдение экологических требований	долл. США/чел.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Расходы на здравоохранение (государственные)	долл. США/чел.	40,8	32,1	20,1	15,9	9,5	2,6	0,3
Расходы на здравоохранение (частные)	долл. США/чел.	153,4	120,7	75,6	59,9	35,9	9,9	1,3
Получение дохода	долл. США/чел.	1,0	0,8	0,5	0,4	0,3	0,1	0,0
Общие издержки от угля на душу населения	**долл. США/чел.**	**264,6**	**202,1**	**120,7**	**96,8**	**58,3**	**14,9**	**1,7**
DD в сравнении с BAU	%	-2 1%	-20,9%	-52,9%	-59,7%	-68,9%	-90,3%	-98,8%
Сценарий GE								
Субсидия	долл. США/чел.	24,8	16,2	7,0	5,3	3,8	2,7	2,0
Стоимость обработки угля (золы)	долл. США/чел.	46,1	40,8	28,4	23,5	17,5	13,2	11,0
Затраты на соблюдение экологических требований	долл. США/чел.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Расходы на здравоохранение (государственные)	долл. США/чел.	41,4	36,4	22,8	17,4	12,5	9,0	6,5
Расходы на здравоохранение (частные)	долл. США/чел.	155,6	136,8	85,7	65,3	47,0	33,7	24,5
Получение дохода	долл. США/чел.	1,0	0,9	0,6	0,5	0,3	0,2	0,2

Общие издержки от угля на душу населения	**долл. США/чел.**	**268,9**	**231,2**	**144,5**	**111,9**	**81,1**	**58,8**	**44,3**
GE в сравнении с BAU	%	-0,5%	-9,5%	-43,6%	-53,4%	-56,7%	-61,5%	-69,9%
Сценарий BAU								
Субсидия	долл. США/чел.	25,5	24,0	23,7	22,1	17,7	14,9	14,6
Стоимость обработки угля (золы)	долл. США/чел.	46,3	43,7	48,0	46,2	32,0	21,5	18,5
Затраты на соблюдение экологических требований	долл. США/чел.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Расходы на здравоохранение (государственные)	долл. США/чел.	41,5	39,2	38,6	35,9	28,8	24,3	23,8
Расходы на здравоохранение (частные)	долл. США/чел.	156,1	147,4	145,2	135,2	108,2	91,6	89,5
Получение дохода	долл. США/чел.	1,0	1,0	0,9	0,9	0,7	0,6	0,5
Общие издержки от угля на душу населения	**долл. США/чел.**	**270,4**	**255,4**	**256,4**	**240,4**	**187,4**	**152,9**	**147,0**

На рисунке 3.20 представлено прогнозируемое изменение общих годовых социальных издержек на тонну потребляемого угля в сравнении с рыночными ценами (внутренними и международными). Если рассматривать себестоимость и цену угля внутри страны, общественная стоимость угля выше, чем его цена на внутреннем рынке. Только в сценарии DD общественная стоимость на тонну добытого угля снижается до уровня средней цены на уголь примерно к 2040 году, соответственно, к этому времени тонна угля продается по фактической общесистемной стоимости (или выше в период между 2043 и 2050 годами). При

сопоставлении с экспортными ценами издержки на тонну угля в сценариях GE и DD соответствует средним издержкам на тонну угля, добываемого около 2030 года, после него экспортная цена будет выше, чем внутренние издержки на добытую тонну. С другой стороны, доходы от экспорта получают частные организации, и только часть этих доходов становится доступной для смягчения социально-экологических последствий в виде налоговых поступлений или экологических платежей.

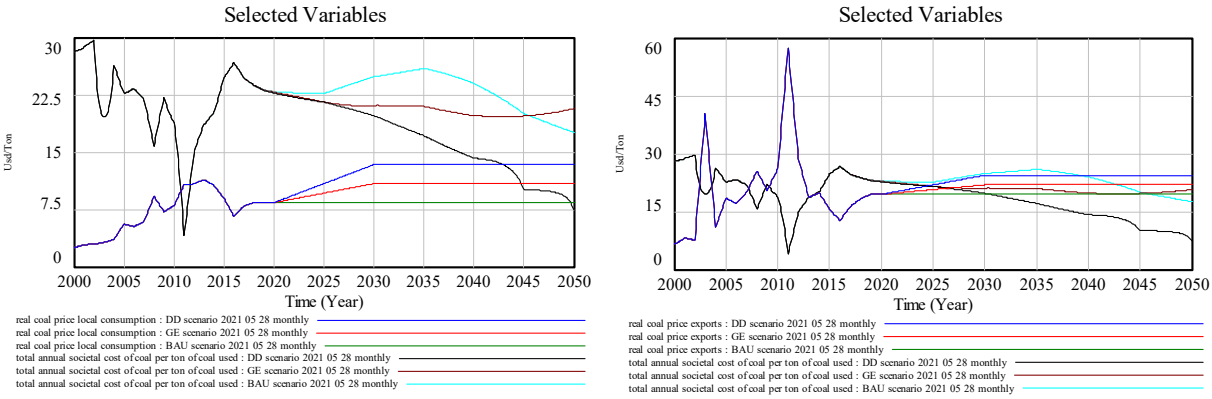


Рисунок 3.20-Ежегодные социальные издержки на тонну добытого угля по сравнению с внутренней ценой на уголь (слева) и международной ценой на уголь (справа) - сценарии BAU, GE и DD. отдельные переменные, x – время (год), y – долл./тонна. реальная цена угля местное потребление по сценариям DD, GE, BAU помесячно общие ежегодные социальные издержки на тонну потребляемого угля по сценариям DD, GE, BAU помесячноотдельные переменные, x – время (год), y – долл./тонна реальная цена угля экспорт по сценариям DD, GE, BAU помесячно общие ежегодные социальные издержки на тонну потребляемого угля по сценариям DD, GE, BAU помесячно

3.5 Описание результатов Чистого нуля для угольного сектора

В данном разделе описываются результаты сценария Чистого нуля, смоделированного с использованием модели угольного сектора KAZ LEDS. Результаты представлены для сценария BAU и NZE, в соответствии с которым обе модели согласуются с результатами TIMES, касающимися добычи, экспорта угля и угольной генерации.

Сценарии, смоделированные в TIMES, используются для параметризации модели системной динамики и оценки соответствующих внешних эффектов. В сценарии NZE предполагается сокращение субсидий на тонну угля на 100%, а

также снижение интенсивности загрязнения от тепловых электростанций на 40 % к 2030 году. Предполагается, что реализация описанных мероприятий будет происходить линейно в период с 2020 по 2030 год, после чего все изменения в моделировании будут результатом моделирования TIMES.

3.5.1 Объемы добычи угля и отраслевой ВВП

На рисунке 4.21 представлена динамика добычи угля в сценарии BAU и NZE. Предполагается, что объем добычи угля в BAU несколько снизится с 98,38 млн тонн в год в 2020 году до 89,24 млн тонн в год в 2060 году. В сценарии NZE предполагается, что общая добыча угля сократится примерно до 35 900 тонн в год к 2060 году, что означает почти полное сворачивание добычи.

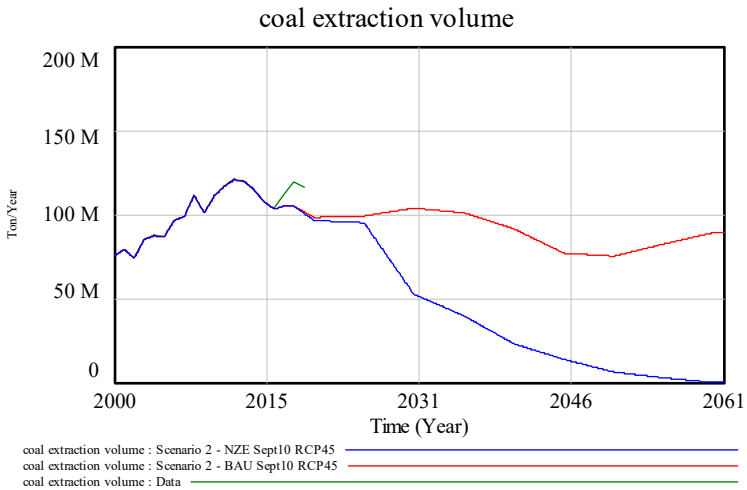


Рисунок 3.21-Объем добычи угля - сценарий BAU и NZE
объем добычи угля, x – время (год), y – тонна/год
объем добычи угля, сценарий 2 NZE, BAU RCP 45

В сценарии BAU совокупные доходы от добычи угля в период с 2020 по 2060 год составят 43,61 млрд долларов США по сравнению с 22,37 млрд долларов США в сценарии NZE. Это указывает на сокращение совокупных доходов на 21,24 млрд долларов США в период с 2020 по 2060 год по сравнению с базовым уровнем. Прогнозы показывают, что сокращение добычи угля приведет к сокращению отраслевого ВВП на 19,25 млрд долларов США в

течение следующих 40 лет, или примерно на 481,24 млн долларов США в год в среднем по сравнению со сценарием BAU.

Снижение отраслевого ВВП обусловлено сокращением производства, а не сокращением субсидий. Это связано с тем, что в этом сценарии предполагается полный перенос издержек. Это означает, что, с ростом издержек производителей вследствие отмены субсидий, цены будут расти на эквивалентную сумму для поддержания ВВП угольного сектора на том же уровне. На рисунке 22 представлена динамика доходов от добычи угля (слева) и общей себестоимости добычи угля (справа) в сценариях BAU и NZE соответственно в сопоставлении с историческими данными.

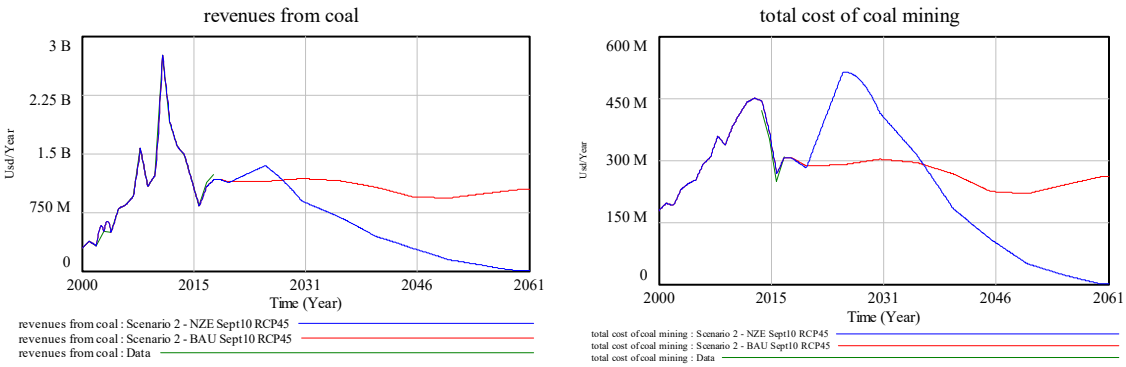


Рисунок 3.22 - Доходы от добычи угля и общая себестоимость добычи угля - сценарии BAU и NZE
доходы от добычи угля, x – время (год), y – долл./год
доходы от добычи угля сценарий 2 NZE, BAU RCP 45
доходы от добычи угля: данные
общая себестоимость добычи угля, x – время (год), y – долл./год
общая себестоимость добычи угля сценарий 2 NZE, BAU RCP 45
общая себестоимость добычи угля: данные

Прогнозируется также сокращение налоговых поступлений, связанных с углем вслед за сокращением общего объема добычи угля, прогнозируется. На рисунке 4.23 представлена динамика налоговых поступлений от добычи угля в период с 2020 по 2060 год ежегодные налоговые поступления от добычи угля в среднем составят 92,27 млн долларов США в BAU по сравнению с 35,08 млн долларов США в сценарии NZE, соответственно, среднегодовые налоговые поступления ниже на 62% в результате постепенного отказа от угля к 2060 году.

Совокупное сокращение доходов от угля в результате планируемых мер составляет 2,34 млрд долларов США в сценарии NZE, при этом итоговые совокупные налоговые поступления составляют 3,78 млрд долларов США в BAU и 1,44 млрд долларов США в сценарии NZE соответственно.

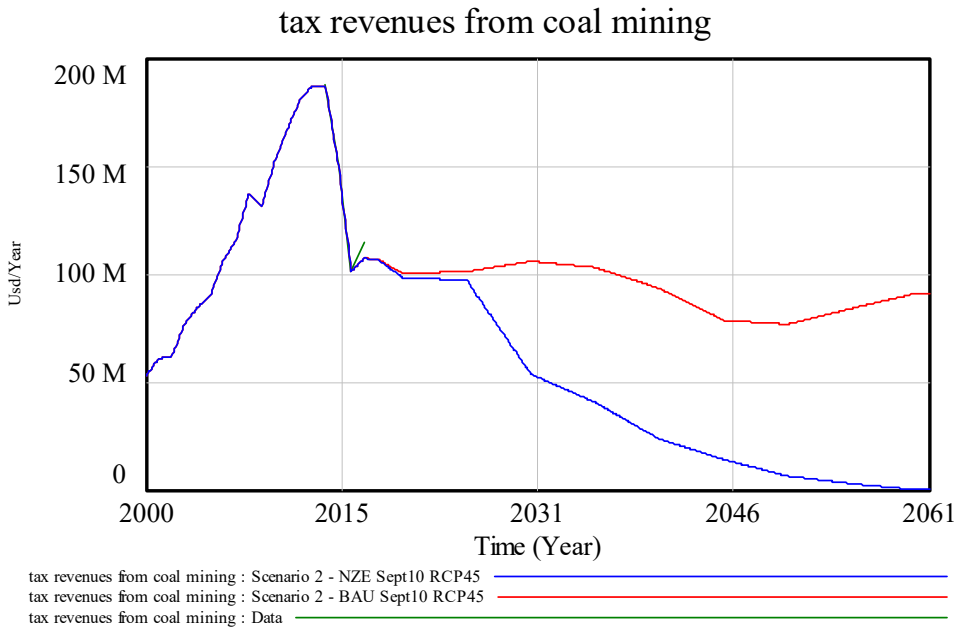


Рисунок 3.23- Налоговые поступления от добычи угля - сценарии BAU и NZE
налоговые поступления от добычи угля, x – время (год), y – долл./год
налоговые поступления от добычи угля сценарий 2 NZE, BAU RCP 45
налоговые поступления от добычи угля

Занятость в угольном секторе

Постепенный отказ от добычи угля и угольной энергетики в сценарии NZE приводит к снижению занятости в угольном секторе. Это снижение происходит в результате снижения объемов добычи угля и сокращения мощностей по производству электроэнергии на угле по сравнению со сценарием BAU. Занятость в добыче угля в сценарии BAU, по прогнозам, сократится примерно с 22 900 рабочих мест в 2020 году до 20 800 рабочих мест к 2060 году, что составит чистое сокращение примерно на 2100 рабочих мест в течение следующих 40 лет. В сценарии NZE занятость в добыче угля в 2060 году прогнозируется на уровне 8 остаточных рабочих мест, причем это сокращение обусловлено поэтапным прекращением добычи угля. В то же время поэтапный отказ от генерирующих

мощностей на угле, прогнозируемый TIMES, приведет к тому, что в 2060 году в сценарии NZE не останется рабочих мест на угольных электростанциях. В сценарии BAU занятость на угольных электростанциях сократится с 4360 рабочих мест в 2020 году до примерно 300 рабочих мест к 2060 году. Следует подчеркнуть, что, хотя занятость на угольных электростанциях снижается в обоих сценариях, более чем вероятно, что прирост возобновляемых мощностей приведет к увеличению занятости в секторе за счет общей занятости в производстве электроэнергии. На рисунке 3.24 представлена динамика занятости в добыче угля и угольной генерации в сценариях BAU и NZE в сопоставлении с историческими данными.

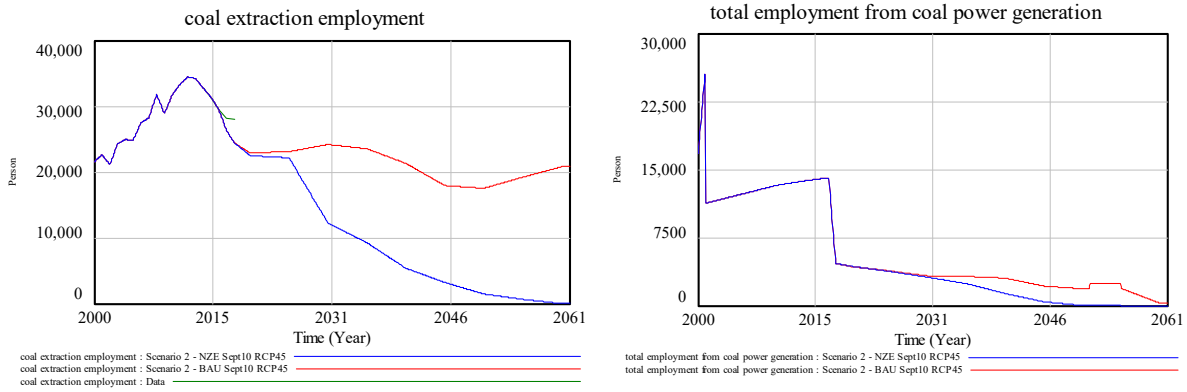


Рисунок 3.24- Занятость в добыче угля и занятость в угольной энергетике - сценарии BAU и NZE
занятость в добыче угля, x – время (год), y – человек
занятость в добыче угля сценарий 2 NZE, BAU RCP 45
занятость в добыче угля: данные
общая занятость в угольной энергетике, x – время (год), y – человек
общая занятость в угольной энергетике сценарий 2 NZE, BAU RCP 45

Таким образом, сокращение занятости в добыче угля и производства электроэнергии на угле, вызванное мерами по декарбонизации и переходом на другие виды топлива, снижает общий объем получаемых трудовых доходов, связанных с углем. Совокупный трудовой доход в угольном секторе в период с 2020 по 2060 год составляет 700,41 млн долларов США в сценарии BAU и 283,6 млн долларов США в сценарии NZE соответственно, что указывает на

сокращение совокупного трудового дохода от добычи угля и выработки электроэнергии на угле на 59,5 %. Это сокращение эквивалентно упущенному трудовому доходу в размере 10,42 млн долларов США в год в среднем в период с 2020 по 2060 год.

3.5.2 Потребление энергии и выбросы

На рисунке 3.25 представлена динамика потребления энергии для добычи угля в сценарии BAU и NZE. Потребление энергии, связанное с добычей угля, в сценарии BAU, по прогнозу, сократится на 9,3%, что обусловлено изменением темпов добычи угля, описанным выше. В сценарии NZE потребление энергии при добыче угля сократится почти на 100 % после прекращения добычи угля в 2060 году в соответствии с допущением о сокращении добычи угля.

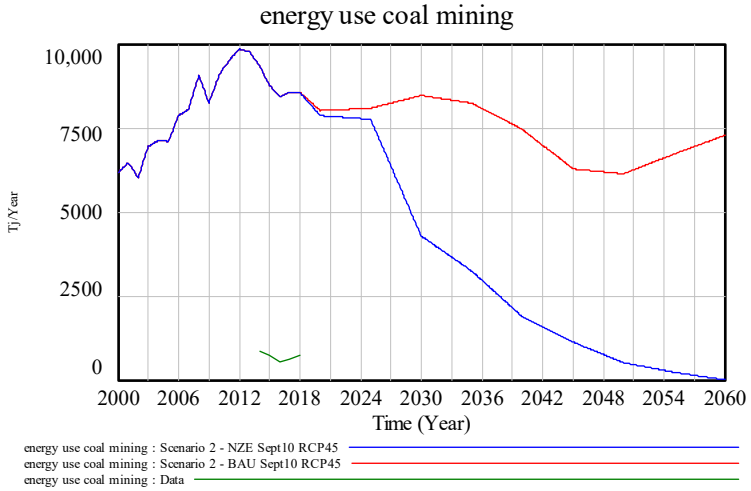


Рисунок 3.25- Потребление энергии для добычи угля - сценарии BAU и NZE
потребление энергии для добычи угля, x – время (год), y – ТДж/год
потребление энергии для добычи угля сценарий 2 NZE, BAU RCP 45
потребление энергии для добычи угля

В таблице 3.11 представлено потребление энергии для добычи угля, транспортировки угля на объекте и транспортировки угля по железной дороге в сценарии BAU и NZE за отдельные годы. В то же время спрос на энергию для этих видов деятельности снизится к 2060 году лишь незначительно, следуя траектории добычи угля. Спрос на энергию для горнодобывающей

промышленности и транспорта в сценарии NZE приближается к нулю в результате постепенного прекращения добычи угля к 2060 году.

Таблица 3.11- Потребление энергии для добычи угля - сценарии BAU и NZE

Потребление энергии при добыче угля	**Единица измерения**	**2020**	**2025**	**2030**	**2040**	**2050**	**2060**
Потребление энергии при добыче угля							
NZE	ТДж/год	7 855	7 427	4 184	1 808	485	3
NZE в сравнении с BAU	%	-2 1%	-8,5%	-50,4%	-75,4%	-92,2%	-100,0%
BAU	ТДж/год	8 021	8 121	8 443	7 347	6 189	7 276
Потребление энергии для транспортировки угля по железной дороге							
NZE	ТДж/год	7 900	7 470	4 208	1 818	487	3
NZE в сравнении с BAU	%	-2 1%	-8,5%	-50,4%	-75,4%	-92,2%	-100,0%
BAU	ТДж/год	8 067	8 167	8 491	7 389	6 224	7 318
Потребление энергии для транспортировки угля на объекте							
NZE	ТДж/год	7 090	6 703	3 776	1 632	437	3
NZE в сравнении с BAU	%	-2 1%	-8,5%	-50,4%	-75,4%	-92,2%	-100,0%
BAU	ТДж/год	7 239	7 329	7 620	6 631	5 585	6 567

В таблице 3.12 представлены выбросы, связанные с добычей угля, сжиганием угля, транспортировкой угля и утечкой метана из шахт, за отдельные годы. В сценарии BAU выбросы от добычи и транспортировки угля снизятся на 9,3% в период с 2020 по 2060 год. В сценарии NZE соответствующие выбросы

эквивалента CO2 сократятся практически на 100%, учитывая сворачивание добычи угля к 2060 году. В сценарии BAU выбросы от сжигания угля для производства электроэнергии сократятся на 53,8% к 2060 году по сравнению с 2020 годом. В сценарии NZE к 2060 году нет остаточных выбросов от сжигания угля.

Таблице 2.12- Выбросы от добычи угля по категориям – сценарии BAU и NZE

Выбросы от добычи угля	**Единица измерения**	**2020**	**2025**	**2030**	**2040**	**2050**	**2060**
Добыча угля							
NZE	млн тонн/год	0,59	0,56	0,32	0,14	0,04	0,00
NZE в сравнении с BAU	%	-2 1%	-8,5%	-50,4%	-75,4%	-92,2%	-100,0%
BAU	млн тонн/год	0,60	0,61	0,64	0,55	0,47	0,55
Сжигание угля							
NZE	млн тонн/год	44,34	38,54	17,08	4,04	0,07	0,00
NZE в сравнении с BAU	%	-3,9%	-21,1%	-64,9%	-89,4%	-99,7%	-100,0%
BAU	млн тонн/год	46,14	48,87	48,66	38,12	20,08	21,32
Транспортировка угля							
NZE	млн тонн/год	1,19	1,12	0,63	0,27	0,07	0,00
NZE в сравнении с BAU	%	-2 1%	-8,5%	-50,4%	-75,4%	-92,2%	-100,0%
BAU	млн тонн/год	1,21	1,23	1,28	1,11	0,94	1,10
Утечка метана в шахтах							

NZE	млн тонн/год	5,39	5,09	2,87	1,24	0,33	0,00
NZE в сравнении с BAU	%	-2 1%	-8,5%	-50,4%	-75,4%	-92,2%	-100,0%
BAU	млн тонн/год	5,50	5,57	5,79	5,04	4,24	4,99

На рисунке 3.26 представлена прогнозируемая динамика ОСУ от операций по добыче угля в сценариях BAU и NZE. По сценарию BAU, выручка от добычи угля снизится на 47,7% в период с 2020 по 2060 год, примерно с 1,66 млрд долларов США в год в 2020 году до 866,77 млн долларов США в 2060 году. В сценарии NZE ОСУ от операций по добыче угля в 2060 году эквивалентны 0,01% ОСУ от операций по добыче угля в сценарии BAU, соответственно, ОСУ составит 82 700 долларов США в 2060 году. В совокупности, ОСУ от добычи угля в период с 2020 по 2060 год составит 53,38 млрд долларов США в сценарии BAU и 22,45 млрд долларов США в сценарии NZE соответственно, то есть, планируемые целевые показатели производства приведут к сокращению отраслевой ОСУ на 35,15 млрд долларов США в течение следующих 40 лет. Это сокращение эквивалентно предотвращению ежегодных социальных издержек в связи с углеродом в размере 878,75 млн долларов США в среднем в год в сценарии NZE по сравнению со сценарием BAU.

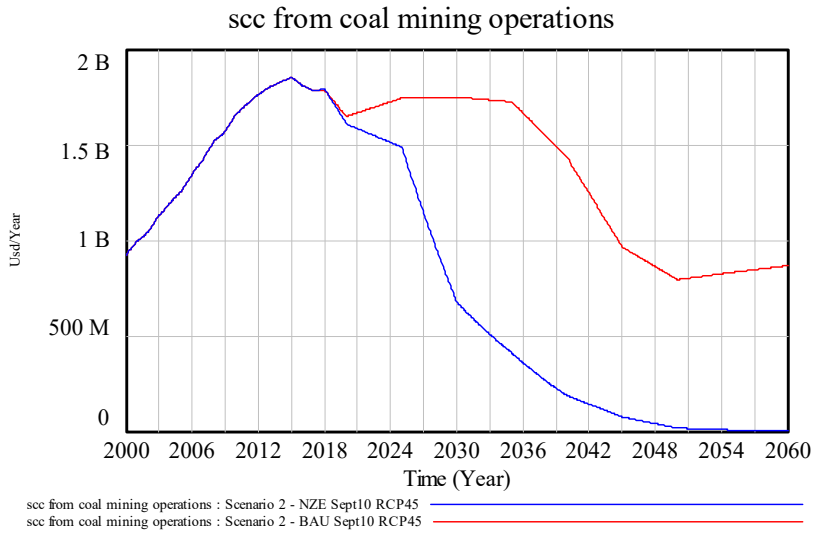


Рисунок 3.26- ОСУ от операций по добыче угля – сценарии BAU и NZE
осу от операций по добыче угля, x – время (год), y – долл./год
осу от операций по добыче угля сценарий 2 NZE, BAU RCP 45

3.5.3 Последствия для здоровья в связи с углем

Ежегодные издержки здравоохранения в связи с углем оценивается с использованием трех подходов, описанных выше в документе. В таблице 3. 13 представлены обобщеные результаты, полученные для сценария BAU и NZE по каждому из трех подходов. Результаты представлены в разбивке по подходам для сценариев BAU и NZE за отдельные годы. Таким образом, при использовании первого подхода прогнозируемая траектория производства электроэнергии на угле приводит к снижению затрат на здравоохранение, связанных с углем, на 53,8 %. При использовании двух других подходов, основанных на темпах добычи угля, снижение затрат на здравоохранение в 2060 году эквивалентно сокращению добычи угля с 2020 года, то есть, на 9,3% в сценарии BAU и почти на 100% в сценарии NZE.

Таблица 3.13- Сводная информация о расходах на здравоохранение в рамках подходов 1–3 – сценарии BAU и NZE

Издержки здравоохранения в связи с углем	**Единица измерения**	**2020**	**2025**	**2030**	**2040**	**2050**	**2060**
Подход 1: Оценка выбросов							
NZE	млн долл. США в год	864,6	780,7	361,1	98,2	1,7	0,0
NZE в сравнении с BAU	%	-3,6%	-17,8%	-61,8%	-86,7%	-99,6%	-100,0 %
BAU	млн долл. США в год	896,5	949,5	945,4	740,6	390,2	414,3
Подход 2: на основе затрат на здравоохранение в связи с респираторными заболеваниями							

NZE	млн долл. США в год	780,5	738,0	415,7	179,6	48,1	0,3
NZE в сравнении с BAU	%	-2 1%	-8,5%	-50,4%	-75,4%	-92,2%	-100,0%
BAU	млн долл. США в год	797,0	806,9	838,9	730,0	614,9	723,0
Подход 3: на основе общего объема производства и стоимости на тонну							
NZE	млн долл. США в год	1 068,45	1 010,23	569,11	245,88	65,91	0,4
NZE в сравнении с BAU	%	-2 1%	-8,5%	-50,4%	-75,4%	-92,2%	-100,0%
BAU	млн долл. США в год	1 091,00	1 104,60	1 148,36	999,35	841,75	989,7

3.5.3.1 Подход 1: Оценка выбросов

При использовании первого подхода прогнозируемые расходы на здравоохранение в BAU в среднем составляют 732,84 млн долларов США в период с 2020 по 2060 год. В сценарии NZE предусмотренные мероприятия способствуют снижению средних затрат на здравоохранение, связанных со сжиганием угля, до 278,62 млн долларов США в среднем в год в течение того же периода, что на 62% ниже, чем в BAU. В совокупности общие расходы на здравоохранение при использовании первого подхода составляют 30,05 млрд долларов США в сценарии BAU и 11,42 млрд долларов США в сценарии NZE. Соответственно, прогнозируемая траектория производства электроэнергии на угле приведет к сокращению расходов на здравоохранение, связанных с углем, на 18,62 млрд долларов США в период с 2020 по 2060 год, что эквивалентно ежегодному сокращению примерно на 465,58 млн долларов США в год относительно базового уровня в течение следующих 40 лет в сценарии NZE.

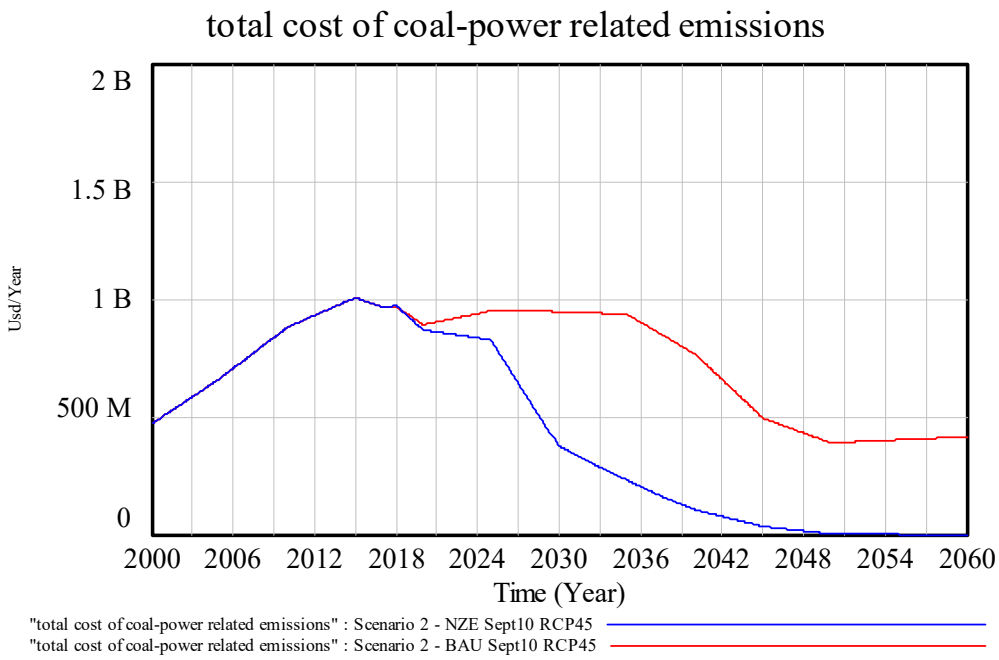


Рисунок 3.27 - Расходы на здравоохранение, связанные с углем - Подход 1 общие расходы в связи с выбросами от угольной энергетики, x – время (год), y – долл./год
общие расходы в связи с выбросами от угольной энергетики сценарий 2 NZE, BAU RCP 45

3.5.3.2 Подход 2: Государственные расходы на здравоохранение в связи с респираторными заболеваниями

Согласно оценке расходов на здравоохранение на основе числа респираторных заболеваний и государственных расходов на здравоохранение в расчете на один случай, общие совокупные затраты на здравоохранение в связи с углем в сценарии BAU составят 41,13 млрд долларов США в период с 2020 по 2060 год. В сценарии NZE эти совокупные расходы составляют 15,64 млрд долларов США за тот же период, что на 25,49 млрд долларов меньше по сравнению с BAU. Это сокращение эквивалентно среднегодовым предотвращенным расходам на здравоохранение в размере 637,35 млрд долларов США в год по сравнению с базовым сценарием. На рисунке 4.26 представлена динамика респираторных заболеваний, связанных с углем, и соответствующие государственные расходы на здравоохранение.

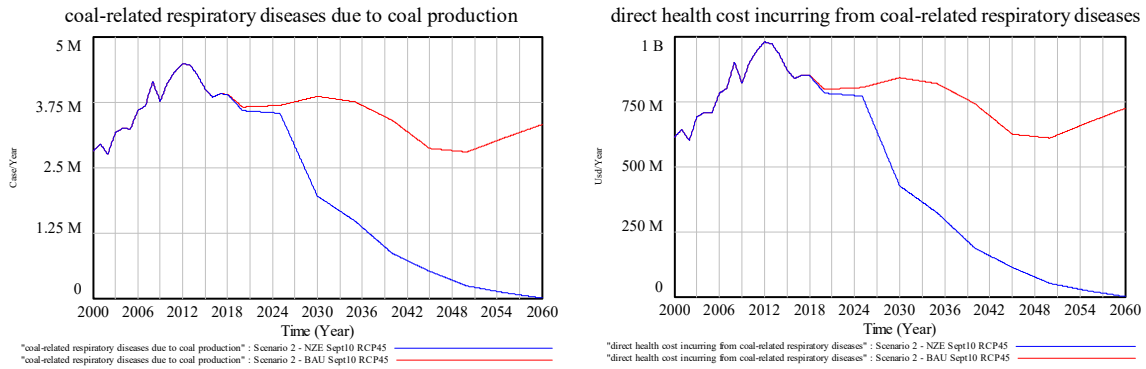


Рисунок 3.28 - Количество респираторных заболеваний, связанных с углем, и затраты на здравоохранение, связанные с углем - Подход 2
количество респираторных заболеваний, связанных с добычей угля, x – время (год), y – случай/год
количество респираторных заболеваний, связанных с добычей угля сценарий 2 NZE, BAU RCP 45
прямые расходы на здравоохранение в связи с респираторными заболеваниями, обусловленными углем, x – время (год), y – долл./год
прямые расходы на здравоохранение в связи с респираторными заболеваниями, обусловленными углем сценарий 2 NZE, BAU RCP 45

Прогнозируется, что число респираторных заболеваний, связанных с углем, сократится с 3,66 млн случаев в год в 2020 году до 3,32 млн случаев в год в 2060 году. Число респираторных заболеваний определяется темпами добычи угля, соответственно, сокращение числа респираторных заболеваний эквивалентно сокращению темпов добычи угля в период с 2020 по 2060 год. В сценарии NZE число респираторных заболеваний, связанных с добычей угля, сократится до 1 330 случаев в год к 2060 году вслед за сокращением добычи угля. Связанные с этим расходы на здравоохранение снизятся примерно до 398 000 долларов США в год к 2050 году. В сценарии BAU расходы на здравоохранение незначительно снизятся до 989,72 млн долларов США в год.

3.5.3.3 Подход 3: Средние расходы на здравоохранение на тонну произведенного угля

Результаты подхода 3 (с использованием темпов добычи угля и постоянного множителя) представлены на рисунке 3.29. В период с 2020 по 2060 год средние затраты на здравоохранение, связанные с угольным сектором в

сценарии BAU, составляют 685,31 млн долларов США в год. В сценарии NZE средние расходы на здравоохранение снижаются в среднем на 64,4%, до 244,1 млн долларов США в год в период с 2020 по 2060 год. В совокупности расходы на здравоохранение, связанные с углем, в BAU составят 28,1 млрд долларов США в сценарии BAU и 10,01 млрд долларов США в сценарии NZE в период с 2020 по 2060 год. В сценарии NZE поэтапный отказ от добычи угля позволил бы избежать расходов на здравоохранение в размере 18,09 млрд долларов США в течение следующих 40 лет. Это сокращение эквивалентно среднегодовой экономии расходов на здравоохранение примерно на 452,24 млн долларов США по сравнению со сценарием BAU.

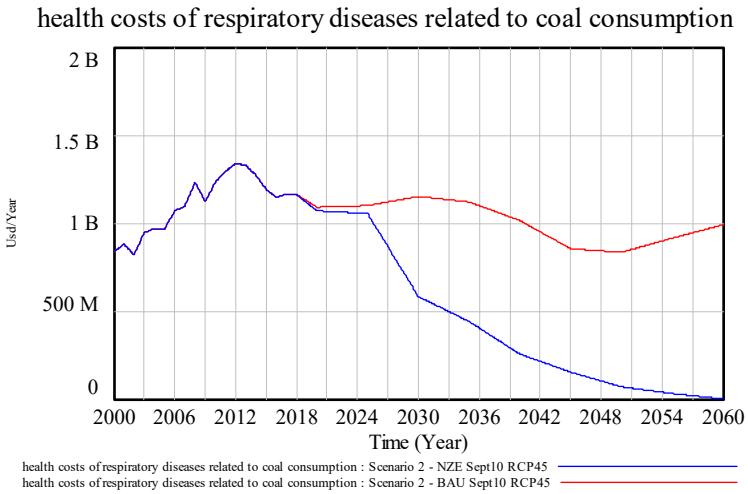


Рисунок 3.29- Расходы на здравоохранение, связанные с углем - Подход 3 расходы на здравоохранение в связи с респираторными заболеваниями, обусловленными потреблением угля, x – время (год), y – долл./год расходы на здравоохранение в связи с респираторными заболеваниями, обусловленными потреблением угля сценарий 2 NZE, BAU RCP 45

3.5.3.4 Частные расходы на здравоохранение в связи с углем

Прогнозируемая динамика частных расходов на здравоохранение в связи с респираторными заболеваниями, обусловленными углем, для сценариев BAU и NZE представлена на рисунке 3.30 . В сценарии NZE частные расходы на здравоохранение в связи с респираторными заболеваниями, обусловленными углем, снизятся с 3,58 млрд долларов США в 2020 году до 1,09 млн долларов США к 2060 году.

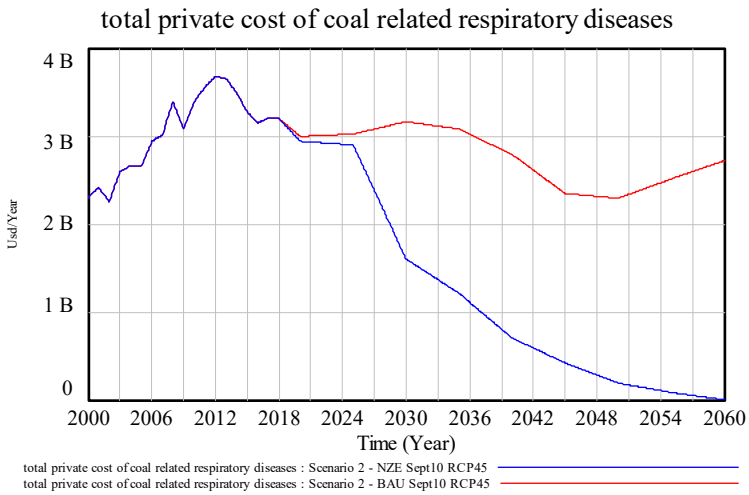


Рисунок 4330 - Частные расходы на респираторные заболевания, связанные с углем
общие частные расходы на респираторные заболевания, связанные с углем, x – время (год), y – долл./год
общие частные расходы на респираторные заболевания, связанные с углем сценарий 2 NZE, BAU RCP 45

3.5.4 Анализ затрат и выгод в угольном секторе по сценарию Чистого нуля

Анализ затрат и выгод для угольного сектора представлен в Таблица и отражает совокупные затраты и выгоды для сценария BAU и NZE на период с 2020 по 2060 год. Чистая разница между двумя сценариями низкоуглеродного развития (столбцы GE vs BAU и DD vs BAU) указывает на совокупные дополнительные затраты и выгоды в результате реализации мероприятий по внедрению стратегии низкоуглеродного развития.

Результаты показывают совокупную экономию в размере 1,88 млрд долларов США в сценарии NZE по сравнению со сценарием BAU. Предотвращенные социальные издержки составят 140,41 млрд долларов США в период с 2020 по 2060 год, что эквивалентно примерно 3,51 млрд долларов США в год в среднем в течение следующих 40 лет. Наибольшую долю в предотвращенных издержек составляет общественная стоимость углерода (в результате сокращения выбросов), субсидии, связанные с углем, и расходы на здравоохранение в результате сжигания угля (как государственные, так и частные). Для анализа более обширных последствий поэтапного отказа от угля необходимо учитывать упущенный ВВП, а также сокращение занятости и

доходов. В совокупности сценарий NZE показывает сокращение ВВП добыче угля на 18,89 млрд долларов США и трудовых доходов на 410 миллионов долларов США в период с 2020 по 2060 год. С другой стороны, несмотря на сокращение ВВП и трудовых доходов, сценарий NZE, по прогнозам, принесет чистую выгоду в размере 122,99 млрд долларов США в течение следующих 40 лет, главным образом за счет значительного сокращения расходов на здравоохранение и общественной стоимости углерода. Другими словами, текущая общественная стоимость угля выше, чем генерируемые им выручка, ВВП и трудовые доходы. Как следствие, любое сокращение производства создает выгоды для общества. Чистая экономия от профилактики респираторных заболеваний варьируется в зависимости от подхода, используемого для оценки издержек потребления угля для здоровья. Подход 2 для оценки расходов на здравоохранение показывает наименьшую сумму экономии, сокращая общую чистую выгоду до 122,6 млрд долларов США, а третий подход дает наибольшую чистую выгоду в размере 129,74 млрд долларов США в период с 2020 по 2060 год соответственно.

Таблица 3.14- Комплексный анализ затрат и выгод в угольном секторе - сценарии BAU и NZE

Анализ затрат и выгод добычи угля в 2020–2060 гг.	**Единица измерения**	**Сценарий BAU**	**Сценарий GE**	**GE в сравнении с BAU**
<u>Инвестиции и затраты</u>				
Инвестиции и затраты на ЭиТО - добыча угля	млн долл. США	10 822	8 942	-1 880
(1) Итого инвестиции и затраты	**млн долл. США**	**10 822**	**8 942**	**-1 880**
<u>Социальные издержки</u>				

Затраты на соблюдение экологических требований	млн долл. США	17	6	-11
Стоимость перевозки угля (ж/д)	млн долл. США	2 204	863	-1 341
Субсидии производителям угля	млн долл. США	18 459	2 527	-15 931
ОСУ от операций по добыче угля	млн долл. США	53 742	18 975	-34 767
Издержки здравоохранения от сжигания угля (подход 1)	млн долл. США	28 318	10 409	-17 908
Частные расходы на респираторные заболевания, связанные с углем	млн долл. США	113 042	42 978	-70 065
(2) Итого социальные издержки	**млн долл. США**	**217 545**	**77 132**	**-140 413**
Дополнительные выгоды				
ВВП добычи угля	млн долл. США	32 831	13 936	-18 894
Трудовые доходы от добычи угля	млн долл. США	622	244	-378
Трудовые доходы от производства электроэнергии	млн долл. США	81	49	-32

(3) Общие дополнительные выгоды	**млн долл. США**	**33 533**	**14 229**	**-19 305**
(3) - (2) - (1) Чистые интегрированные выгоды (Подход 1)	**млн долл. США**	**-194 833**	**-71 845**	**122 988**
Чистые интегрированные чистые выгоды с использованием подхода к оценке 2				
Издержки здравоохранения от сжигания угля (Подход 2)	млн долл. США	28 318	10 409	-17 908
(3) - (2) - (1) Чистые интегрированные выгоды (Подход 2)	**млн долл. США**			**122 598**
Издержки здравоохранения от сжигания угля (Подход 3)	млн долл. США	41 179	16 130	-25 049
(3) - (2) - (1) Чистые интегрированные выгоды (Подход 3)	**млн долл. США**			**129 739**

Заключение

В данной работе была проведена работа по обновлению модели энергетической системы TIMES и проведен расчет базового сценария на основе обновленной модели.

По полученным результатам, выбросы ПГ в базовом сценарии возрастают на всем прогнозном периоде. В секторе производства электроэнергии выбросы ПГ возрастают с замедлением в конце периода в связи с ростом доли природного газа и возобновляемых источников энергии. Установленные мощности возрастают в большей мере чем выработка из-за влияния сниженных коэффициентов использования установленных мощностей для ВИЭ. В секторе производства теплоэнергии, выбросы ПГ растут на всем периоде. Выбросы ПГ в нефтепереработки снижаются до 2035 года, и затем увеличиваются. Снижение идет за счет снижения мазута для экспорта, увеличение за счет увеличения потребления того же мазута в более энергоэффективных процессах в промышленности.

Выбросы ПГ по сектору промышленности и строительства растут стабильно на всем периоде с замедлением к концу расчетного периода и прямо коррелируют с ростом экономики.

Выбросы ПГ в транспортном секторе, что связано с ростом экономики и спросом на грузоперевозки и пассажироперевозки.

Выбросы ПГ в коммерческом секторе снижаются в силу увеличения энергоэффективности используемых технологий и электрификации. Это позволяет стабилизировать на одном уровне выбросы ПГ.

В секторе населения (здания) выбросы ПГ к 2060 году возрастают, но при этом имеется период снижения выбросов ПГ 2025-2040 годы и период дальнейшего возрастания с 2040 года по 2060 год. Здесь налицо влияние смены угля на природный газ в период снижения выбросов ПГ. Дальнейший рост выбросов связан с ростом спроса на энергию со стороны населения, что сопровождается как расширением газификации до конца периода, так и ростом использования угля.

Выбросы ПГ в сельском хозяйстве растут в базовом сценарии в силу роста отрасли, как одной из важных для экономики страны и, соответственно, ростом использования нефтепродуктов в сельскохозяйственной техники.

Выбросы ПГ в секторе «Прочие» растут до 2040 года и затем идет постепенное снижение до конца периода.

Выбросы ПГ от летучих эмиссий зависят от политик и мер в других секторах. В базовом сценарии идет рост выбросов от летучих эмиссий от всех видов топлива.

Экономическая оценка сектора зданий проводится с использованием комплексного анализа затрат и выгод с учетом затрат на инвестиции и ЭиТО, дополнительных выгод, обусловленных политикой, и предотвращенных расходов. Комплексный анализ затрат и выгод для сектора зданий представлен в Таблице 3.10. Представленные значения являются совокупными суммами в долларах США в период с 2020 по 2050 год.

Результаты показывают, что общие затраты на энергию составляют 33,06 млрд долларов США в период между 2020 и 2050 годами соответственно. Инвестиции, необходимые для отопления в период с 2020 по 2050 год, составляют 0.74 млрд долларов США, расходы на ЭиТО составляют 0,68 млрд долларов США на отопление, так как в базовом сценарии не рассматриваются дополнительные инвестиции, как например в NZE, за счет декарбонизации. Прогнозируемые затраты на энергию для отопления в сценарии BAU составляют 41 млрд долларов США в период с 2020 по 2050 год.

Согласно результатам, общие предотвращенные социальные издержки составят 31,56 млрд долларов США в период с 2020 по 2050 год. Наибольшую долю в предотвращенных расходах составляют предотвращенные социальные издержки, связанные с выбросами углерода, составляющие 25,84 млрд долларов США, за которыми следуют предотвращенные затраты, связанные с загрязнением воздуха, 5,7 млрд долларов США.

Анализ показывает что при выполнении мероприятий по базовому сценарию, дополнительные выгоды составят 75 миллионов долларов США в

течение следующих 30 лет. Дополнительные выгоды будут получены в результате трудового дохода, полученного за счет строительства и обслуживания.

Анализ затрат и выгод для угольного сектора п отражает совокупные затраты и выгоды для сценария BAU и NZE на период с 2020 по 2060 год. Чистая разница между двумя сценариями низкоуглеродного развития (столбцы GE vs BAU и DD vs BAU) указывает на совокупные дополнительные затраты и выгоды в результате реализации мероприятий по внедрению стратегии низкоуглеродного развития.

Результаты показывают совокупную экономию в размере 1,88 млрд долларов США в сценарии NZE по сравнению со сценарием BAU. Предотвращенные социальные издержки составят 140,41 млрд долларов США в период с 2020 по 2060 год, что эквивалентно примерно 3,51 млрд долларов США в год в среднем в течение следующих 40 лет. Наибольшую долю в предотвращенных издержек составляет общественная стоимость углерода (в результате сокращения выбросов), субсидии, связанные с углем, и расходы на здравоохранение в результате сжигания угля (как государственные, так и частные). Для анализа более обширных последствий поэтапного отказа от угля необходимо учитывать упущенный ВВП, а также сокращение занятости и доходов. В совокупности сценарий NZE показывает сокращение ВВП добыче угля на 18,89 млрд долларов США и трудовых доходов на 410 миллионов долларов США в период с 2020 по 2060 год. С другой стороны, несмотря на сокращение ВВП и трудовых доходов, сценарий NZE, по прогнозам, принесет чистую выгоду в размере 122,99 млрд долларов США в течение следующих 40 лет, главным образом за счет значительного сокращения расходов на здравоохранение и общественной стоимости углерода. Другими словами, текущая общественная стоимость угля выше, чем генерируемые им выручка, ВВП и трудовые доходы. Как следствие, любое сокращение производства создает выгоды для общества. Чистая экономия от профилактики респираторных заболеваний варьируется в зависимости от подхода, используемого для оценки

издержек потребления угля для здоровья. Подход 2 для оценки расходов на здравоохранение показывает наименьшую сумму экономии, сокращая общую чистую выгоду до 122,6 млрд долларов США, а третий подход дает наибольшую чистую выгоду в размере 129,74 млрд долларов США в период с 2020 по 2060 год соответственно.

Список использованной литературы

1. Loulou, R., Goldstein, G., Noble, K., 2004. Documentation for the MARKAL Family of Models. ETSAP.
2. Loulou, R., Remne, U., Kanudia, A., Lehtila, A., Goldstein, G., 2005. Documentation for the TIMES Model - PART I 1–78.
3. IEA (2020), World Energy Outlook 2020, IEA, Paris https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2020
4. IEA (2021), World Energy Outlook 2021, IEA, Paris https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2021
5. IEA (2021), Net Zero by 2050, IEA, Paris https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050
6. European Commission, Directorate-General for Climate Action, Directorate-General for Energy, Directorate-General for Mobility and Transport, De Vita, A., Capros, P., Paroussos, L., et al., EU reference scenario 2020: energy, transport and GHG emissions: trends to 2050, Publications Office, 2021, https://data.europa.eu/doi/10.2833/35750
7. Ruiz Castello P, Sgobbi A, Nijs W, Thiel C, Dalla Longa F, Kober T, Elbersen B, Hengeveld G. The JRC-EU-TIMES model. Bioenergy potentials for EU and neighbouring countries. EUR 27575. Luxembourg (Luxembourg): Publications Office of the European Union; 2015. JRC98626
8. DEA web-site, The Danish Energy Agency, Catalogues of technology data for energy technologies, https://ens.dk/en/our-services/projections-and-models/technology-data
9. Samir KC, Wolfgang Lutz, The human core of the shared socioeconomic pathways: Population scenarios by age, sex and level of education for all countries to 2100, Global Environmental Change, Volume 42, 2017, Pages 181-192, ISSN 0959-3780, https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.06.004.
10. IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on

Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

11. Sterman John D., 2000, Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World.

12. Carg, C., Evans, D., 2011, What is the impact of noncommunicable diseases on National Health Expenditures: A synthesis of available data. Geneva: World Health Organization.

13. OECD, 2014, Energy subsidies and climate change in Kazakhstan. Organisation for Economic Co-operation and Development.

14. UNECE, 2019, Environmental Performance Review: Kazakhstan - Third review. United Nations Economic Commission for Europe (UNECE). doi:https://doi.org/10.18356/3f11007e-en.

15. Nordhaus, W. (2017). Revisiting the social cost of carbon. PNAS, vol. 11, no.7, 1518-1523.

16. Akhmetov, A. (2014). Health Effects of Coal: A Long-Run Relationship Assessment of Coal Production and Respiratory Health in Kazakhstan. Energy and Environment Research; Vol. 4, No. 3, 138-146.

17.Национальный доклад о кадастре парниковых газов Казахстана. 2017-2020

18. Kazenergy, 2021, National Energy Report 2021, Kazenergy, Nur-Sultan.

19. Государственная программа жилищно-коммунального развития "Нұрлы жер" на 2020 - 2025 годы, 2019, Постановление Правительства Республики Казахстан от 31 декабря 2019 года № 1054,

20. IEA, 2020, Clean Household Energy Consumption in Kazakhstan: A Roadmap

21. UNFCCC (2020), Kazakhstan. 2022 Common Reporting Format (CRF) Table. https://unfccc.int/documents?f%5B0%5D=country%3A1379&f%5B1%5D=document_type%3A4147.

22. Copernicus, 2020. Copernicus. Retrieved from Copernicus - Europe’s eye's on Earth:

23. Бюро национальной статистики Агентства по стратегическому планированию и реформам Республики Казахстан, «О жилищном фонде», 2017-2022 г.

24. Концепции развития топливно-энергетического комплекса Республики Казахстан до 2030 года Постановление Правительства Республики Казахстан от 28 июня 2014 года № 724

25. https://stat.gov.kz/