



**USAID**  
ОТ АМЕРИКАНСКОГО НАРОДА



Платформа для анализа низких выбросов

# Тренировочные упражнения

(Теперь со ссылками на видеопрохождения на канале LEAP YouTube)

Чарльз Хипс, разработчик LEAP

Эти упражнения предназначены для использования с программой LEAP2020 для Windows. Перед использованием этих упражнений загрузите последнюю версию LEAP с сайта <https://leap.sei.org>.



Стокгольмский институт окружающей среды - Центр США  
11 Кертис Авеню, Сомервилль, МА 02144-1224  
США

<https://leap.sei.org>

<https://www.sei.org>

Электронная почта: leap@sei-us.org

# ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
Начало работы с LEAP	6
1    ВВЕДЕНИЕ В LEAP	12
1.1    Обзор Фридонии	12
1.2    Настройки	12
1.3    Спрос	13
1.4    Трансформация	25
1.5    Выбросы	35
1.6    Второй сценарий: Управление спросом	37
2    СПРОС	42
2.1    Промышленность	42
2.2    Транспорт	45
2.3    Коммерция: Анализ полезной энергии	48
2.4    Итого Итоговые требования	50
3    ТРАНСФОРМАЦИЯ	52
3.1    Производство древесного угля	52
3.2    Производство электроэнергии	52
3.3    Переработка нефти	54
3.4    Добыча угля	54
3.5    Ресурсы	56
3.6    Просмотр результатов	57
4    АНАЛИЗ ЗАТРАТ И ВЫГОД	62
4.1    Анализ затрат и выгод в LEAP: Краткое введение	62
4.2    Создание сценариев политики	63
4.3    Ввод данных калькуляции себестоимости	64
4.4    Результаты оценки затрат и выгод	71
5    ВКЛЮЧАЯ ВЫБРОСЫ ОТ НЕЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ	74
5.1    Текущие операции	75
5.2    Базовый сценарий	79
5.3    Политический сценарий: Переваривание отходов животноводства для выработки электроэнергии	82
6    ИССЛЕДОВАНИЕ ТРАНСПОРТА	86
6.1    Параметры и структура	86
6.2    Данные по текущим операциям	88
6.3    Базовый сценарий	90
6.4    Базовые результаты	90
6.5    Коэффициенты выбросов	91

6.6	БАЗОВЫЕ ВЫБРОСЫ _____	94
6.7	СЦЕНАРИИ ПОЛИТИКИ _____	94
6.8	РЕЗУЛЬТАТЫ _____	96
7	ВЫРАБОТКА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ С НАИМЕНЬШИМИ ЗАТРАТАМИ _____	100
7.1	Ввод данных по выработке электроэнергии _____	100
7.2	Создание форм нагрузки путем импорта данных о почасовой нагрузке	103
7.3	Сценарии моделирования для изучения характеристик технологии ____	108
7.4	Включение значений экстерналий _____	110
7.5	Использование оптимизации для определения наименее затратного сценария _____	112
7.6	Использование ограничений для определения предельной концентрации CO <sub>2</sub>	114
7.7	Использование собственных данных _____	117

# ТРЕНИРОВОЧНЫЕ УПРАЖНЕНИЯ ДЛЯ LEAP

## Введение

Эти учебные упражнения познакомят вас с LEAP, платформой анализа низких выбросов, и тем, как ее можно применять для анализа энергетики и окружающей среды. Эти упражнения обычно используются в рамках учебных курсов по LEAP. Они предполагают, что вы имеете некоторый опыт в вопросах энергетики и знакомы с программным обеспечением на базе Windows, включая электронные таблицы (например, Microsoft Excel).

Учебные упражнения разработаны по модульному принципу. Если у вас всего несколько часов и вы хотите получить общее впечатление о работе LEAP, выполните упражнение 1. Дальнейшие упражнения предназначены для того, чтобы дать вам более глубокое понимание дополнительных возможностей LEAP.

- **Упражнение 1** познакомит вас с основными элементами анализа спроса и предложения энергии, прогнозирования потребностей в энергии и расчета нагрузки на окружающую среду. Вы должны выполнить упражнение 1 до начала выполнения упражнения 2. Видеозапись выполнения упражнения 1 доступна по ссылке: <https://youtu.be/cW87IWDABgc>
- **Упражнения 2 и 3** позволят вам разработать базовый энергетический анализ, создать сценарии и оценить несколько отдельных политических и технических вариантов, таких как стандарты энергоэффективности и перевод электростанций с угля на природный газ. Упражнения охватывают анализ спроса, предложения и сценариев, их можно выполнять по отдельности или вместе. В общей сложности на их полное выполнение потребуется от 2 до 4 дней. Видеозаписи этих упражнений доступны по ссылкам: <https://youtu.be/brSaqo0cV8I> (упражнение 2) и <https://youtu.be/MwlqXQW1t8E> (упражнение 3).
- **Упражнение 4** позволит вам изучить затраты и выгоды нескольких альтернативных сценариев. Сценарии реализуются как со стороны спроса, так и со стороны предложения, и вы изучите использование LEAP в качестве калькулятора затрат и выгод для определения затрат на сокращение выбросов по каждому сценарию. Выполнение упражнения 4 требует, чтобы вы начали с завершенной версии упражнения 3. Видеозапись выполнения упражнения 4 доступна по ссылке: <https://youtu.be/au99Kzphmio>.
- **Упражнение 5** демонстрирует, как LEAP можно использовать для изучения парниковых газов неэнергетического сектора, на примере веществ с высоким уровнем глобального потепления, таких как ГФУ и метан из сельского хозяйства. Это упражнение также показывает, как импортировать данные из Excel и знакомит с использованием "пользовательских переменных", как способом расширения возможностей LEAP. Упражнение 5 основано на упражнении 4. Видеозапись упражнения 5 доступна по ссылке: <https://youtu.be/tHD3TifBhAk>.

В каждом из этих пяти упражнений используется фон вымышленной страны под названием "Фридония", который основан на данных, похожих на информацию, с которой вы можете столкнуться в реальном мире. Как и в реальном мире, в некоторых случаях вам нужно будет преобразовать данные в формат, подходящий для ввода в LEAP. Мы предоставляем вам подсказки, чтобы помочь вам и обеспечить последовательность ваших подходов. Большинство упражнений сопровождаются ключами для ответов, представленными в этом документе, которые вы можете использовать для проверки своей работы.

В LEAP вы можете воспользоваться пунктом «Область (Area): Вернуться к версии», чтобы увидеть результаты отдельных упражнений. Например, пользователи, заинтересованные только в Упражнении 3, могут вернуться к версии области Фридония, соответствующей выполненному Упражнению 3.

- **Упражнение 6** позволяет использовать функции транспортного анализа LEAP для построения ряда сценариев, в которых рассматриваются различные политики по снижению потребления топлива и выбросов загрязняющих веществ легковыми автомобилями и спортивными внедорожниками (SUV). Вы можете начать это упражнение, не выполнив ни одного из предыдущих упражнений.
- **Упражнение 7** позволяет использовать функции оптимизации LEAP для изучения оптимизации энергетических систем с наименьшими затратами. Вы также изучите, как смоделировать ограничение на выбросы CO<sub>2</sub> - включая то, как ограничение может изменить набор выбранных технологий и общую стоимость сценария. Вы можете приступить к этому упражнению, не выполнив ни одного из предыдущих упражнений.

**Требования к техническому обеспечению:** Для выполнения этих упражнений вам понадобится стандартный компьютер на базе Windows с оперативной памятью не менее Гб2 и с операционной системой Microsoft Windows 7 или более поздней версии, на которой запущен LEAP. Вам также понадобятся ручка, бумага и калькулятор, например, встроенный в Windows. Некоторые упражнения также требуют наличия доступа к Microsoft Excel.

### **Начало работы с LEAP**

Если LEAP установлен, запустите LEAP со значка на рабочем столе или из меню "Пуск" Windows. Если нет, запустите программу установки непосредственно из файла setup.exe или скачайте и запустите LEAP с сайта <https://leap.sei.org/download>, следуя инструкциям на экране. После запуска LEAP отобразит титульный экран, а затем главный экран.

Примечание: Для выполнения этих упражнений вы **должны использовать зарегистрированную версию** LEAP. Ознакомительная версия LEAP не позволяет сохранять данные и поэтому не может быть использована для выполнения этих упражнений. Чтобы узнать больше о лицензировании, пожалуйста, перейдите по ссылке <https://leap.sei.org/license>.

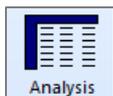
Главный экран LEAP состоит из семи основных "видов", каждый из которых позволяет изучить различные аспекты программного обеспечения. На панели представлений, расположенной в левой части экрана, отображается иконка для каждого представления. Нажмите на одну из иконок панели представлений или используйте меню представлений для смены представлений,

***Совет:** Если вы работаете на экране с низким разрешением, вы можете скрыть панель просмотра, чтобы освободить больше места на экране. Для этого воспользуйтесь пунктом меню Вид: Панель просмотра. Когда панель просмотра скрыта, используйте меню Вид над деревом для переключения видов.*

- **Вид анализа** - это место, где вы вводите или просматриваете данные и строите свои модели и сценарии.
- **Вид результатов** - это место, где вы изучаете результаты различных сценариев в виде графиков и таблиц.
- **Представление энергетического баланса** позволяет увидеть результаты расчета энергии в LEAP в виде специально отформатированных энергетических балансов и диаграмм Санки.

Для получения информации о других видах нажмите на Help (Справка).

## Вид анализа



**Вид анализа** (показан ниже) содержит ряд элементов управления, кроме упомянутой выше панели просмотра. Слева находится дерево, в котором вы просматриваете или редактируете структуры данных. Справа находятся две связанные панели. В верхней части находится таблица, в которой вы редактируете или просматриваете данные и создаете отношения моделирования. Под ней находится область, содержащая графики и таблицы, которые обобщают введенные данные. Над таблицей ввода данных находится панель инструментов, позволяющая выбрать данные, которые необходимо отредактировать. Самая верхняя панель инструментов дает доступ к стандартным командам, таким как сохранение данных, создание новых областей и доступ к вспомогательным базам данных топлива, эффектов и ссылок.

Главное меню и панель инструментов обеспечивают доступ к основным опциям.

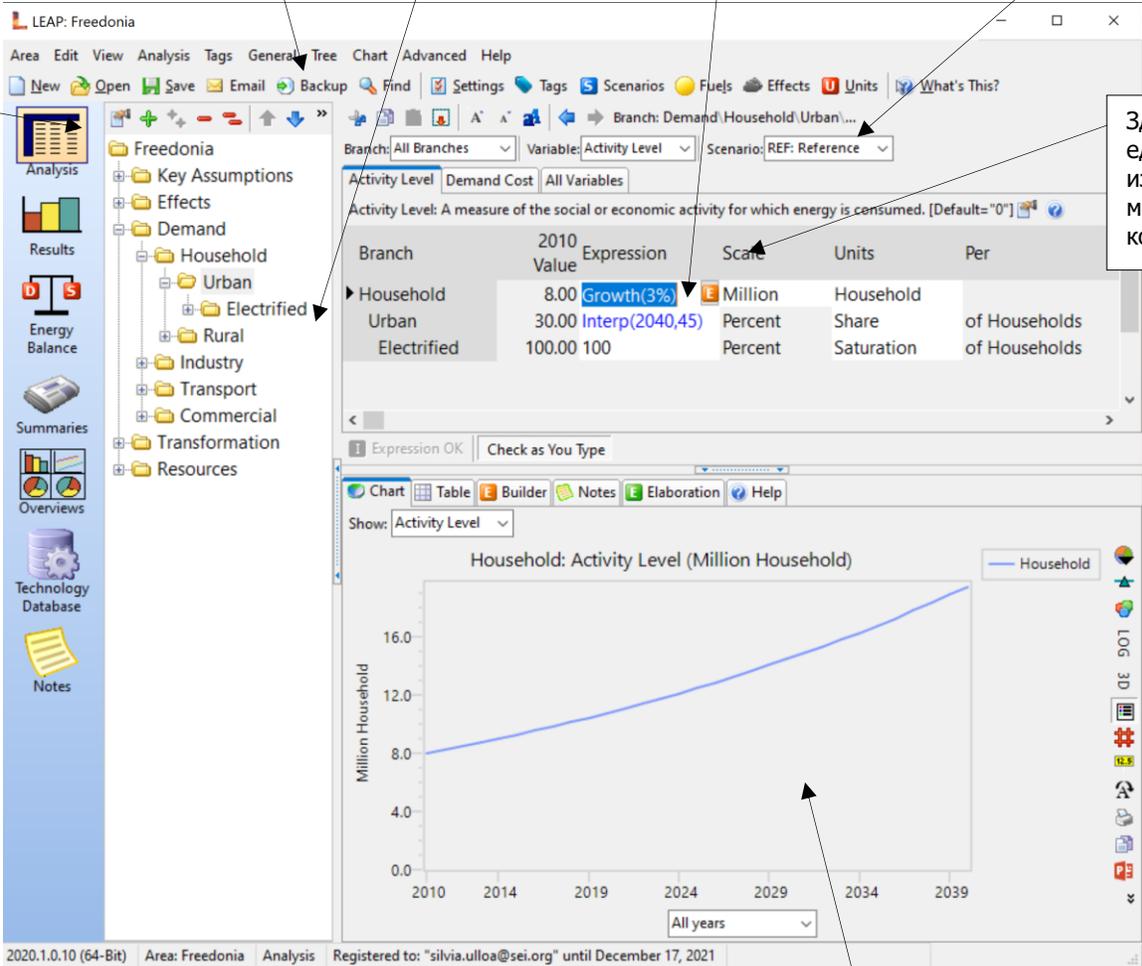
Данные организованы в виде дерева.

Отредактируйте данные, набрав здесь.

Выберите сценарии здесь.

Здесь можно переключаться между видами Района.

Здесь выберите единицы измерения и масштабные коэффициенты.



В строке состояния отмечается текущая область и вид.

Данные можно просматривать в формате диаграмм или таблиц.

Основные части представления анализа более подробно описаны ниже:

- **Дерево:** Дерево - это место, где вы организуете свои данные для анализа спроса и предложения (также называемого трансформацией). В большинстве случаев дерево работает так же, как и в стандартных инструментах Windows, таких как проводник Windows. Вы можете переименовывать ветви, щелкнув на них один раз и набрав текст, а также расширять и сворачивать контур дерева, нажимая на символы  и . Используйте меню правой кнопки мыши, чтобы развернуть или свернуть все ветви или установить уровень контура.

Чтобы отредактировать дерево, щелкните по нему правой кнопкой мыши и используйте кнопки *Добавить* (+), *Удалить* (-) и *Свойства* (🔧). Все эти опции также доступны из опции меню *Дерево*. Вы можете перемещать выбранные ветви дерева, щелкая и перетаскивая их, или копировать части дерева, удерживая нажатой клавишу **Ctrl**, а затем щелкая и перетаскивая ветви.

Дерево содержит различные типы ветвей. Тип ветви зависит от ее контекста (например, является ли она частью структуры данных спроса или трансформации, или это одна из ваших собственных независимых переменных, добавленных в ветвь "Ключевые предположения". Разные значки ветвей обозначают разные типы ветвей. Ниже перечислены основные типы ветвей:

- 📁 **Ветви категорий** используются в основном для иерархической организации данных в дереве. В анализе спроса эти ветви содержат только данные об уровнях деятельности и затратах. В анализе предложения ветви категорий используются для указания основных "модулей" преобразования энергии, таких как производство электроэнергии, переработка нефти и добыча ресурсов, а также групп процессов и видов топлива на выходе.
- ⚙️ **Технологические отрасли** содержат данные о фактических технологиях, которые потребляют, производят и преобразуют энергию. В анализе предложения технологические ветви показаны значком ⚙️. Они используются для указания конкретных процессов в рамках каждого модуля, которые преобразуют энергию (например, конкретная электростанция в модуле производства электроэнергии). В анализе спроса технологические отрасли связаны с конкретными видами топлива и обычно имеют связанную с ними энергоемкость. Технологические ветви спроса выглядят по-разному в зависимости от типа выбранной методологии анализа спроса. Такими методологиями являются анализ деятельности (⚙️), анализ общего количества потребленной энергии (⚙️), анализ запасов (🟢) и анализ транспорта (🚗). В первом упражнении вы проведете анализ на основе уровня деятельности с использованием технологических ветвей (⚙️). Позже, в шестом упражнении, вы проведете транспортный анализ, используя ветви транспортной технологии (🚗).
- 🔑 **В ветви "Ключевые предположения" (Key Assumptions)** создаются собственные независимые переменные, такие как макроэкономические или демографические показатели. Затем на эти переменные можно ссылаться в выражениях в других ветвях.
- 🟡 **Ветви топлива** находятся в ветви дерева ресурсов. Они также появляются под каждым модулем трансформации, представляя собой **выходные виды топлива**, производимые модулем, и

**вспомогательные и сырьевые виды топлива**, потребляемые модулем.

 **Ветки экологической нагрузки** представляют различные загрязняющие вещества, которые выбрасываются технологиями энергопотребления и преобразования или отслеживаются в ветках LEAP "Неэнергетические" выбросы. Ветви эффекта всегда являются ветвями самого низкого уровня.

- **Таблица данных: Вид анализа** содержит две панели справа от дерева. Верхняя панель представляет собой таблицу, в которой можно просматривать и редактировать данные, связанные с переменными в каждой ветви дерева. Когда вы нажимаете на различные ветви дерева, на экране данных отображаются данные, связанные с ветвями, расположенными в дереве и непосредственно под ними. Каждая строка в таблице представляет данные для ветви дерева. Например, в примере набора данных нажмите на ветвь "Спрос" (demand) в дереве, и на экране данных появится список секторов анализа спроса, затем нажмите на ветвь "Домашние хозяйства" (households) в дереве, и на экране данных будут обобщены подсектора домашних хозяйств (в данном случае городские и сельские).

В верхней части таблицы находится набор вкладок, дающих доступ к различным переменным, связанным с каждой ветвью. Вкладки, которые вы видите, зависят от того, как вы задали структуры данных, и от того, над какой частью дерева вы работаете. Например, при редактировании секторов спроса вы обычно видите вкладки, дающие доступ к переменным "**Уровень активности**" (Activity Level) и "**Стоимость спроса**" (Demand Cost), а на самых нижних уровнях дерева вы также увидите вкладки для данных по **конечной энергоемкости** и **экологической нагрузке**.

- **Диаграмма/таблица/заметки:** На нижней панели данные, введенные выше, обобщаются в виде диаграммы или таблицы. При просмотре графиков используйте панель инструментов справа для настройки графика. Графики можно отображать в различных форматах (столбиковый, круговой и т.д.), распечатывать или копировать в буфер обмена для вставки в отчет. Панель инструментов также позволяет экспортировать данные в Microsoft Excel или PowerPoint.
- **Окно выбора сценария:** Над таблицей данных расположено поле выбора, которое можно использовать для выбора между текущей операцией (Current Account) и любым из сценариев в области. Текущая операция содержит данные за исторические годы в вашем исследовании. Различные сценарии в LEAP начинаются с одной и той же информации о текущих операциях. Это поле также показывает основное *наследование* (Inheritance) каждого сценария. В LEAP сценарии могут *наследовать* выражения моделирования от других сценариев. Все сценарии в конечном итоге наследуют выражения из набора данных Current Accounts. Другими

словами, если вы специально не введете данные сценария для переменной, ее значение будет постоянным в будущем.

Чтобы создать новый сценарий, нажмите на **Сценарии** (S). При создании нового сценария вы можете указать, что он будет основан на другом сценарии (т.е. унаследован от него). Пока вы не измените некоторые выражения в новом сценарии, он будет давать точно такие же результаты, как и его родительский сценарий. Выражения, отображаемые в таблице данных, выделены цветом, чтобы вы могли определить, были ли они явно введены в сценарий (выделены синим цветом) или унаследованы от родительского сценария (выделены черным цветом).

# 1 Введение в LEAP

Видеозапись упражнения 1 доступна по ссылке: <https://youtu.be/cW87IWDABgc>

## 1.1 Обзор Фридонии

Для иллюстрации того, как LEAP может быть использован в различных контекстах, мы структурировали данные по Фридонии, чтобы отразить характеристики как промышленно развитой, так и развивающейся страны. Например, городское население Фридонии полностью электрифицировано и живет по стандартам ОЭСР, в то время как более бедное сельское население имеет ограниченный доступ к современным энергетическим услугам и в значительной степени зависит от топлива из биомассы для удовлетворения основных потребностей. Для упрощения упражнений и сокращения повторяющегося ввода данных мы намеренно не включили несколько распространенных секторов и конечных видов использования. Например, в упражнении 1 рассматривается только часть жилого сектора: использование энергии бытовых приборов в городских домохозяйствах Фридонии, а также приготовление пищи и использование электроэнергии сельскими жителями Фридонии. Аналогичным образом, в упражнении 2 отсутствует сельскохозяйственный сектор, а в коммерческих зданиях энергия используется только для отопления помещений.

## 1.2 Настройки

<sup>1</sup> Перед началом упражнений отредактируйте настройки вашего исследования. Они включают стандартную единицу энергии для вашего исследования, стандартную валютную единицу (включая ее базовый год) и основные денежные параметры.

LEAP поставляется с готовым набором данных по Фридонии, поэтому для целей этих упражнений вы создадите новый пустой набор данных под названием "Новая Фридония". Начните с создания новой области в LEAP под названием "Новая Фридония", основанной только на данных по умолчанию (нажмите на пункт меню Область: Новая (Area:New)).

Просмотрите экран **Настройки** () в пункте меню **Общие (General)**. На вкладке Годы выберите 2010 *Базовый год (Baseline)*, 2011 год как *Первый сценарный год* и 2040 год как *Конечный год*. Для упражнений, которые вы будете выполнять позже, установите *денежный год* на 2010, а *первый год истощения* - на 2011. На вкладке Scope & Scale (Объем и масштаб) вы можете изначально оставить все опции не отмеченными, поскольку для начала вы будете проводить только анализ спроса. Все остальные параметры можно оставить со значениями по умолчанию. Примечание: в этом упражнении вы будете использовать только один год исторических данных (2010).

---

<sup>1</sup> Видеопросмотр этого раздела: <https://youtu.be/cW87IWDABgc?t=151>

## 1.3 Спрос

В данном упражнении по предварительному анализу спроса рассматривается только энергия, используемая в домашних хозяйствах Фридонии. Вы начнете с разработки набора текущих операций, отражающих энергопотребление домохозяйств за последний год, по которому имеются данные (2010). Затем вы разработаете базовый сценарий, в котором рассмотрите, как структура энергопотребления может измениться в ближайшие годы при отсутствии каких-либо новых политических мер. Наконец, вы разработаете сценарий политики, в котором будет рассмотрен вопрос о том, как можно сократить рост энергопотребления путем внедрения мер по повышению энергоэффективности.

### 1.3.1 Структуры данных

<sup>2</sup> Первым шагом в анализе является разработка структуры данных. Структура определит, какие виды технологий, политик и альтернативных путей развития вы можете анализировать. Она будет определяться собранной вами информацией (данными и предположениями) и предполагаемыми взаимосвязями. Например, вы можете решить, хотите ли вы включить отрасли для всех возможных конечных потребителей или только для основных категорий потребления энергии населением, вы можете рассмотреть вопрос о том, должна ли интенсивность потребления энергии населением быть рассчитана на душу населения (т.е. на человека) или на домохозяйство, или вы можете рассмотреть вопрос о том, является ли спрос на энергию прямой функцией дохода или цен. В данном простом упражнении вам не нужно учитывать эти факторы.

Поэтому перед использованием программы важно спланировать, каким образом вы будете вводить данные в программу. Прочитайте следующее описание соответствующих данных (в разделах 1.3.2 по 1.3.4), чтобы получить представление о типах структур данных, которые возможны. *Обратите внимание, что существует более одной структуры ветвей, которые могут быть созданы с помощью предоставленных данных.*

Перед вводом структуры в LEAP целесообразно сделать ее эскиз. Используйте пустые места ниже для вашего эскиза. Если вы работаете в рамках учебного курса, обсудите свой первый эскиз с преподавателем и при необходимости пересмотрите свой рисунок.

---

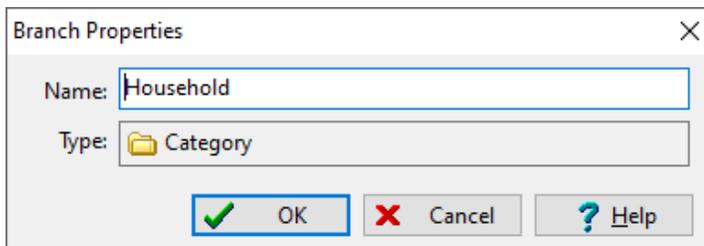
<sup>2</sup> Видеопросмотр этого раздела: <https://youtu.be/cW87IWDABgc?t=265>

**Первый набросок дерева спроса**

**Второй эскиз дерева спроса**

Прочитав следующие разделы и доработав эскиз дерева спроса, вы должны быть готовы создать структуру дерева спроса в LEAP, которая отражает организацию данных о спросе домохозяйств в Фридонии.

Создайте структуру дерева с помощью команд *Добавить* (+), *Удалить* (-) и *Свойства* (🔧), доступных при щелчке правой кнопкой мыши на дереве или в меню *Дерево*. В этом упражнении вы создадите различные подсектора, конечные пользователи и устройства под ветвью "Домашние хозяйства". Ветви верхнего уровня будут созданы как ветви *Категории* (📁), а ветви нижнего уровня, в которых вы выбираете топливо и вводите энергоёмкость, будут иметь тип *Технология с энергоёмкостью* (⚙️).



### 1.3.2 Текущие операции

В 2010 году 40 миллионов жителей Фридонии проживают в 8 миллионах домохозяйств. Из этих домохозяйств 30% находятся в городских районах.

#### Городские домохозяйства

- 30% городских домохозяйств используют для приготовления пищи электрические плиты, остальные - плиты, работающие на природном газе. Все домохозяйства имеют только один тип устройства для приготовления пищи. Годовая энергоёмкость электроплит составляет 400 кВт/ч на домохозяйство, газовых плит - 60 куб. м на домохозяйство.
- Все городские домохозяйства используют электроэнергию для освещения. Среднее городское домохозяйство ежегодно потребляет 400 кВт/ч на освещение.
- 95% городских домохозяйств имеют холодильники, которые потребляют в среднем 500 кВт/ч в год.
- Другие устройства, такие как компьютеры, телевизоры и вентиляторы, ежегодно потребляют 800 кВт/ч на одно городское домохозяйство.

**Подсказка 1:** В общем случае вы можете ввести вышеуказанные данные как простые числовые значения в поле *Выражение текущих операций*. В столбцах *Масштаб* и *Единицы* выберите соответствующие единицы для **Уровня активности** и **Конечной энергоёмкости** для каждого филиала (масштабные коэффициенты можно оставить пустыми).

**Подсказка 2:** При выборе единиц измерения для **уровня активности** важно тщательно выбирать между "насыщением" и "долей". Доли следует использовать только в тех случаях, когда уровни активности для соседних филиалов должны быть равны

100%, как в приведенном выше случае с долями печного топлива. Расчеты LEAP требуют, чтобы доли всегда равнялись 100% в соседних филиалах. Поэтому обязательно используйте "Насыщение" для таких элементов, как владение холодильниками, которые не должны суммироваться до 100%, чтобы избежать последующих сообщений об ошибках.

Для печей укажите "Доля" в качестве единицы деятельности для каждой кухонной плиты (природный газ или электричество) и введите процентное значение для электрических плит. Для газовых плит введите выражение Remainder(100) в переменную **Activity Level**, и LEAP будет использовать это выражение для расчета доли домохозяйств, использующих газовые плиты.

**Подсказка 3:** Выражения, введенные в переменную **Final Energy Intensity**, интерпретируются LEAP как годовые значения. Например, это означает, что если вы введете значение 400 кВт/ч на домохозяйство, LEAP будет понимать это как 400 кВт/ч на домохозяйство, в год.

## Сельские домохозяйства

- Недавнее обследование всех сельских домохозяйств (как электрифицированных, так и неэлектрифицированных) показало, что используются следующие типы кухонных приборов:

Технология приготовления пищи	Потребленное топливо	Доля сельских домохозяйств	Годовая энергоемкость на домохозяйство
Угольная плита	Древесный уголь	30 %	166 кг
Печь на сжиженном газе	LPG	15 %	59 кг
Дровяная печь	Дерево	55 %	525 кг

- Только 25% сельских домохозяйств имеют доступ к электричеству, подключенному к сети.
- 20% электрифицированных сельских домохозяйств имеют холодильник, который в среднем потребляет 500 кВт/ч в год.
- Все электрифицированные сельские домохозяйства используют электричество для освещения, которое потребляет 335 кВт/ч на домохозяйство. 20% этих домохозяйств также используют керосиновые лампы для дополнительного освещения, расходуя 10 литров в год.

**Подсказка:** Используйте здесь "Насыщенность" для единиц активности, поскольку некоторые домохозяйства владеют

*более чем одним осветительным прибором. Эти единицы часто подходят, когда технологии могут использоваться неисключительно, например, электрическое освещение и керосиновые лампы.*

- На прочие электроприборы (телевизор, радио, вентиляторы и т.д.) приходится 111 кВт/ч на домохозяйство в год.
- Неэлектрифицированные домохозяйства используют для освещения исключительно керосиновые лампы, потребляя в среднем 69 литров на домохозяйство в год.

***Подсказка:*** Это хорошее место для сохранения данных перед продолжением работы. Сделайте это, нажав на значок  или выбрав Область: Сохранить. Всегда полезно часто сохранять свои данные.

### 1.3.3 Просмотр результатов



<sup>3</sup>Нажмите на **Вид результатов (Results view)**, чтобы проверить результаты по текущим операциям. Обратите внимание, что на данном этапе мы будем просматривать результаты только для одного базового года: 2010. Результаты можно просматривать в формате диаграммы или таблицы. Для этого упражнения перейдите на вкладку Таблица в верхней части окна отображения. На панели инструментов над таблицей выберите **Спрос: Конечные единицы спроса на энергию (Demand: Final units of energy demand)**, затем с помощью дерева выберите ветви спроса, которые вы хотите отобразить на графике. Нажмите на ветвь "Домашние хозяйства", чтобы отобразить потребности в энергии домашних хозяйств Фридонии. Настройте содержание таблицы, отобразив "*Все ветви*" для строк таблицы и "*Все виды топлива*" для столбцов таблицы. Используйте кнопки десятичных знаков на панели инструментов справа от таблицы, чтобы отобразить данные с точностью до одного десятичного знака.

Регулировка количества уровней в таблице поможет вам рассчитать промежуточные итоги по категориям. Выберите подходящее число, увеличив значение *Уровни*, чтобы отобразить общие потребности в топливе для каждого конечного использования для категорий "Сельские" (Rural) и "Городские" (Urban), "Электрифицированные" (Electrified) и "Неэлектрифицированные" (Non-electrified). Вы можете сохранить эту конфигурацию для дальнейшего использования, создав избранную диаграмму в меню Favorites: Save Chart as Favorite. Эта функция работает аналогично опциям избранного/закладок в интернет-браузерах. Сравните свои результаты с таблицей ниже.

#### **Спрос на энергию по текущим операциям в 2010 году (млн. ГДж)**

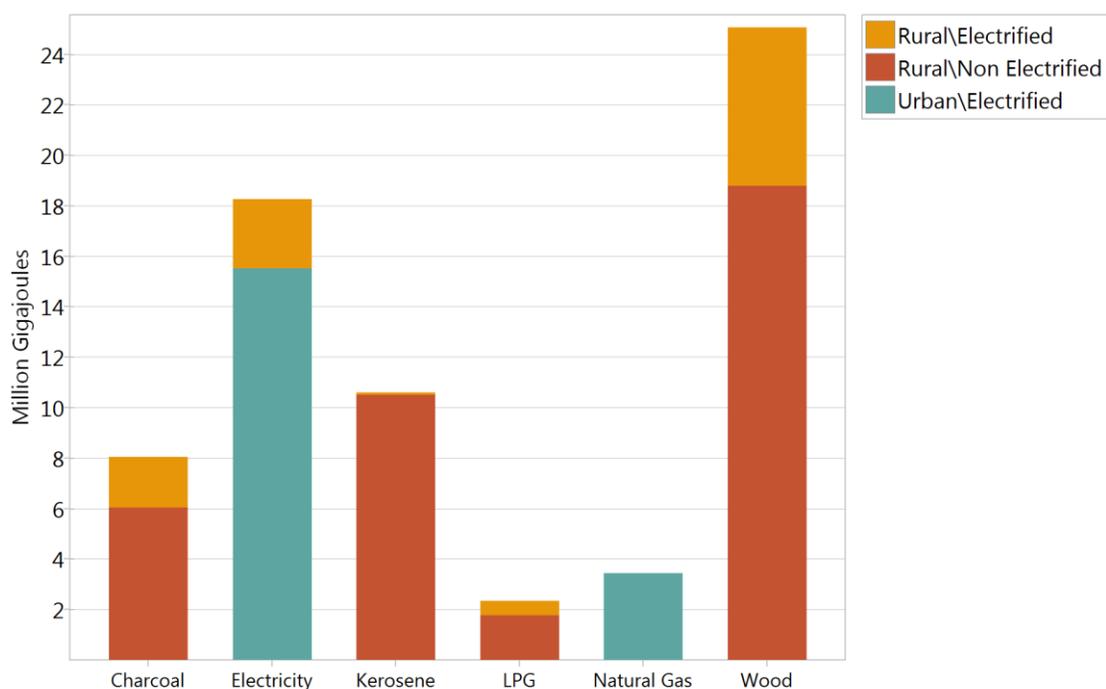
---

<sup>3</sup> Видеопросмотр этого раздела: <https://youtu.be/cW87IWDABgc?t=1548>

Branches	Charcoal	Wood	LPG	Kerosene	Natural Gas	Electricity	Total
Urban	-	-	-	-	3.4	15.5	19.0
Electrified	-	-	-	-	3.4	15.5	19.0
Refrigeration	-	-	-	-	-	4.1	4.1
Lighting	-	-	-	-	-	3.5	3.5
Other Uses	-	-	-	-	-	6.9	6.9
Cooking	-	-	-	-	3.4	1.0	4.5
Rural	8.1	25.1	2.3	10.6	-	2.8	48.8
Electrified	2.0	6.3	0.6	0.1	-	2.8	11.7
Lighting	-	-	-	0.1	-	1.7	1.8
Other Uses	-	-	-	-	-	0.6	0.6
Cooking	2.0	6.3	0.6	-	-	-	8.9
Refrigeration	-	-	-	-	-	0.5	0.5
Non Electrified	6.0	18.8	1.8	10.5	-	-	37.1
Lighting	-	-	-	10.5	-	-	10.5
Cooking	6.0	18.8	1.8	-	-	-	26.6
Total	8.1	25.1	2.3	10.6	3.4	18.3	67.8

**Подсказка:** Чтобы отобразить подкатегории, необходимо убедиться, что кнопка "Промежуточные итоги" отмечена и установить число уровней равным трем (обе эти опции находятся на панели инструментов в верхней части окна "Просмотр результатов").

### Спрос на энергию по текущим операциям в 2010 году (млн. ГДж)



**Подсказка:** чтобы получить этот график в **режиме просмотра результатов**, выберите "Все виды топлива" на оси X и "Все ветви" в легенде. Покажите два уровня детализации для филиалов.

**Совет:** чтобы увидеть версию Фридонии, соответствующую результатам, показанным здесь, сначала откройте стандартную область Фридонии в LEAP, затем используйте **Область: Вернуть к версии (Area: Return to version)** и выберите версию 1.3.3.

#### 1.3.4 Базовый сценарий

<sup>4</sup> Теперь вы готовы к созданию первого перспективного сценария на период с 2011 по 2040 год. Это позволит проанализировать, как потребность домохозяйств в энергии может измениться со временем при текущих политических условиях. Нажмите кнопку **"Сценарии"** (S) и используйте экран "Сценарии" для добавления первого сценария. Дайте ему название "Базовый" и сокращение "REF". Добавьте пояснительную записку, чтобы описать сценарий, например, "обычное развитие; официальные прогнозы ВВП и численности населения; никаких новых политических мер".

Выйдите из экрана "Сценарий" и, если необходимо, выберите базовый сценарий из поля выбора в верхней части экрана. Теперь введите предположения и прогнозы будущих данных в Фридонии, как описано ниже.

<sup>4</sup> Видеопросмотр этого раздела: <https://youtu.be/cW87IWDABgc?t=1717>

**Подсказка:** Если вы хотите отредактировать данные базового года, вам необходимо сначала вернуться в раздел *Текущие операции*. Всегда проверяйте, что вы вводите данные в правильный сценарий.

Сначала перейдем к основным демографическим изменениям, которые, как ожидается, произойдут в Фридонии. Ожидается, что количество домохозяйств будет расти с 8 миллионов в 2010 году на 3% в год.

**Подсказка:** Чтобы ввести темп роста, нажмите **Ctrl-G** или щелкните на кнопке , прикрепленной к полю выражения, и выберите Growth Rate (чтобы увидеть эту опцию, вы должны находиться в сценарии "Нетекущие операции"). Вы также можете ввести Growth(3%) непосредственно в поле Expression (Выражение).

### Городские домохозяйства

- К 2040 году 45% домохозяйств Фридонии будут находиться в городах.

**Подсказка:** Это пример распространенной ситуации в LEAP, когда вы хотите указать всего несколько значений данных (2010, неявно, и 2040), а затем попросить LEAP линейно интерполировать для расчета значений всех лет между ними. Вы можете ввести интерполированные данные несколькими различными способами. Самый простой способ - нажать на кнопку, прикрепленную к полю выражения, и выбрать значение **End Year Value**. Затем просто введите значение 45. Когда вы нажмете кнопку OK, LEAP создаст выражение функции Interp. Вы также можете ввести функцию непосредственно в поле выражения как Interp(2040, 45.0).

**Важно:** Вам может понадобиться адаптировать выражения, которые вы вводите в LEAP, чтобы отразить местные условия форматирования чисел на вашем компьютере. Например, во многих испано- и франкоговорящих странах приведенное выше выражение будет введено как Interp(2040; 45,0). В этих упражнениях все выражения записаны с учетом английского (американского) форматирования чисел.

- Рост предпочтения электроплит приводит к тому, что доля рынка составляет 55% к 2040.
- Ожидается, что энергоемкость электрических и газовых плит будет снижаться на полпроцента каждый год благодаря проникновению более энергоэффективных технологий.
- По мере роста доходов и приобретения людьми более крупной бытовой техники годовая интенсивность использования холодильного оборудования увеличивается до 600 кВт/ч на домохозяйство к 2040.
- Аналогично, годовая интенсивность освещения увеличивается до 500 кВт/ч на домохозяйство к 2040.

- Использование другого оборудования, потребляющего электроэнергию, растет быстрыми темпами - на 2,5% в год.

*Подсказка: Чтобы указать снижение, просто введите отрицательный темп роста.*

### Сельские домохозяйства

- Текущая программа электрификации сельских районов, как ожидается, увеличит процент сельских домохозяйств с электричеством до 28% в 2020 году и 50% в 2040.
- Ожидается, что по мере роста доходов энергоёмкость электрического освещения будет увеличиваться на 1% в год.
- Ожидается, что количество подключенных к сети сельских домов, использующих холодильник, увеличится до 40% в 2020, и 66% в 2040.
- В связи с развитием сельских районов доля различных устройств для приготовления пищи во всех домохозяйствах (как электрифицированных, так и неэлектрифицированных) изменяется таким образом, что к 2040, плиты на сжиженном газе используют 55% домохозяйств, а угольные плиты - 25%. Остальные сельские домохозяйства используют дровяные печи.

*Подсказка: сохраните данные перед продолжением работы, нажав кнопку Сохранить (H) или сочетание клавиш **Ctrl-S**.*

### 1.3.5 Базовые результаты

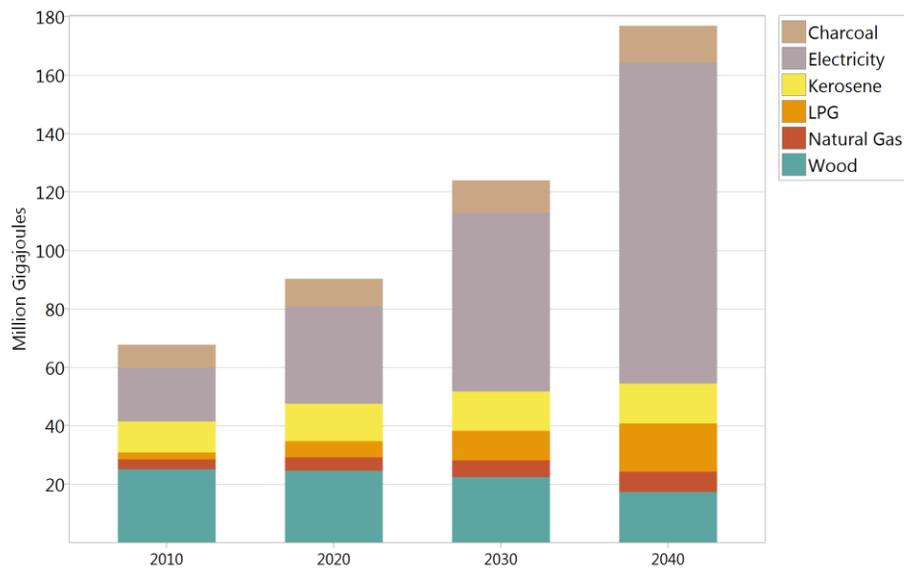
<sup>5</sup> Снова нажмите на **Вид результатов** и выберите вкладку График в верхней части окна отображения, чтобы отобразить результаты графически.

Для настройки результатов:

- На диаграмме используйте поля выбора, чтобы выбрать типы данных, которые вы хотите видеть на легенде и оси X диаграммы. Как правило, для многих графиков в качестве оси X выбираются годы, а в качестве легенды - плавни или ветви.
- Выберите **Спрос: Спрос на энергию Конечные единицы (Demand: Energy demand End Value)**, как это было сделано для таблицы в упражнении "Текущие операции". Затем, используя дерево, выберите ветвь спроса, которую вы хотите отобразить на диаграмме. Нажмите на ветвь "Спрос", чтобы отобразить общий спрос на энергию для Фридонии.
- Дважды щелкните на единицах оси Y графика, чтобы изменить единицы измерения отчета. Вы можете дополнительно настроить параметры диаграммы с помощью панели инструментов, расположенной справа от диаграммы. С помощью панели инструментов можно выбрать такие параметры, как тип диаграммы (область, столбик, линия, круговая и т.д.) или то, сложена ли гистограмма или нет.

<sup>5</sup> Видеопросмотр этого раздела: <https://youtu.be/cW87IWDABgc?t=2356>

### Спрос на энергию по видам топлива в базовом сценарии (млн. ГДж)



Сравните свои прогнозы с таблицами, приведенными ниже (обратите внимание, что таблицы в LEAP отформатированы несколько иначе, чем показанные здесь, но вы должны быть в состоянии найти всю необходимую информацию, регулируя количество уровней филиалов). Начните с проверки результатов на самых высоких уровнях (т.е. начните с нажатия на "Спрос", а затем проделайте свой путь вниз к более детальным уровням, чтобы исследовать, где могут находиться какие-либо проблемы. Скорректируйте данные, прежде чем продолжить. В данном упражнении вы можете игнорировать различия менее 1%.

## Спрос на энергию в базовом сценарии (млн. ГДж)

### По видам топлива По отраслям

Fuel	2010	2020	2030	2040
Electricity	18.3	33.4	61.3	109.6
Natural Gas	3.4	4.5	5.7	6.9
Kerosene	10.6	12.7	13.5	13.7
LPG	2.3	5.5	10.1	16.4
Wood	25.1	24.6	22.3	17.4
Charcoal	8.1	9.5	11.1	12.8
<b>Total</b>	<b>67.8</b>	<b>90.3</b>	<b>123.9</b>	<b>176.8</b>

Branch	2010	2020	2030	2040
<b>Urban</b>	<b>19.0</b>	<b>33.1</b>	<b>57.4</b>	<b>99.3</b>
<b>Electrified</b>	<b>19.0</b>	<b>33.1</b>	<b>57.4</b>	<b>99.3</b>
Refrigeration	4.1	6.9	11.2	17.9
Existing	4.1	6.9	11.2	17.9
Lighting	3.5	5.9	9.7	15.7
Existing	3.5	5.9	9.7	15.7
Other Uses	6.9	13.9	27.3	52.8
All	6.9	13.9	27.3	52.8
Cooking	4.5	6.5	9.2	12.9
Electric Stoves	1.0	2.0	3.5	6.0
Natural Gas Stoves	3.4	4.5	5.7	6.9
<b>Rural</b>	<b>48.8</b>	<b>57.2</b>	<b>66.5</b>	<b>77.5</b>
<b>Electrified</b>	<b>11.7</b>	<b>16.0</b>	<b>26.8</b>	<b>40.8</b>
Lighting	1.8	2.7	5.2	9.1
Electric	1.7	2.6	5.0	8.7
Kerosene	0.1	0.1	0.2	0.4
Other Uses	0.6	0.8	1.4	2.1
All	0.6	0.8	1.4	2.1
Cooking	8.9	11.1	17.0	23.3
Charcoal Stove	2.0	2.7	4.3	6.4
LPG Stove	0.6	1.5	3.9	8.2
Wood Stove	6.3	6.9	8.7	8.7
Refrigeration	0.5	1.4	3.2	6.3
Existing	0.5	1.4	3.2	6.3
<b>Non Electrified</b>	<b>37.1</b>	<b>41.1</b>	<b>39.8</b>	<b>36.6</b>
Lighting	10.5	12.6	13.2	13.4
Kerosene	10.5	12.6	13.2	13.4
Cooking	26.6	28.6	26.5	23.3
Charcoal Stove	6.0	6.8	6.8	6.4
LPG Stove	1.8	4.0	6.2	8.2
Wood Stove	18.8	17.7	13.6	8.7
<b>Total</b>	<b>67.8</b>	<b>90.3</b>	<b>123.9</b>	<b>176.8</b>

**Совет:** чтобы увидеть версию Фридонии, соответствующую результатам, показанным здесь, сначала откройте стандартную область Фридония в LEAP,

затем используйте Область: Вернуться к версии (**Area: Revert to Version**) и выберите версию 1.3.4.

*Изучите различные результаты в LEAP и постарайтесь ответить на следующие вопросы:*

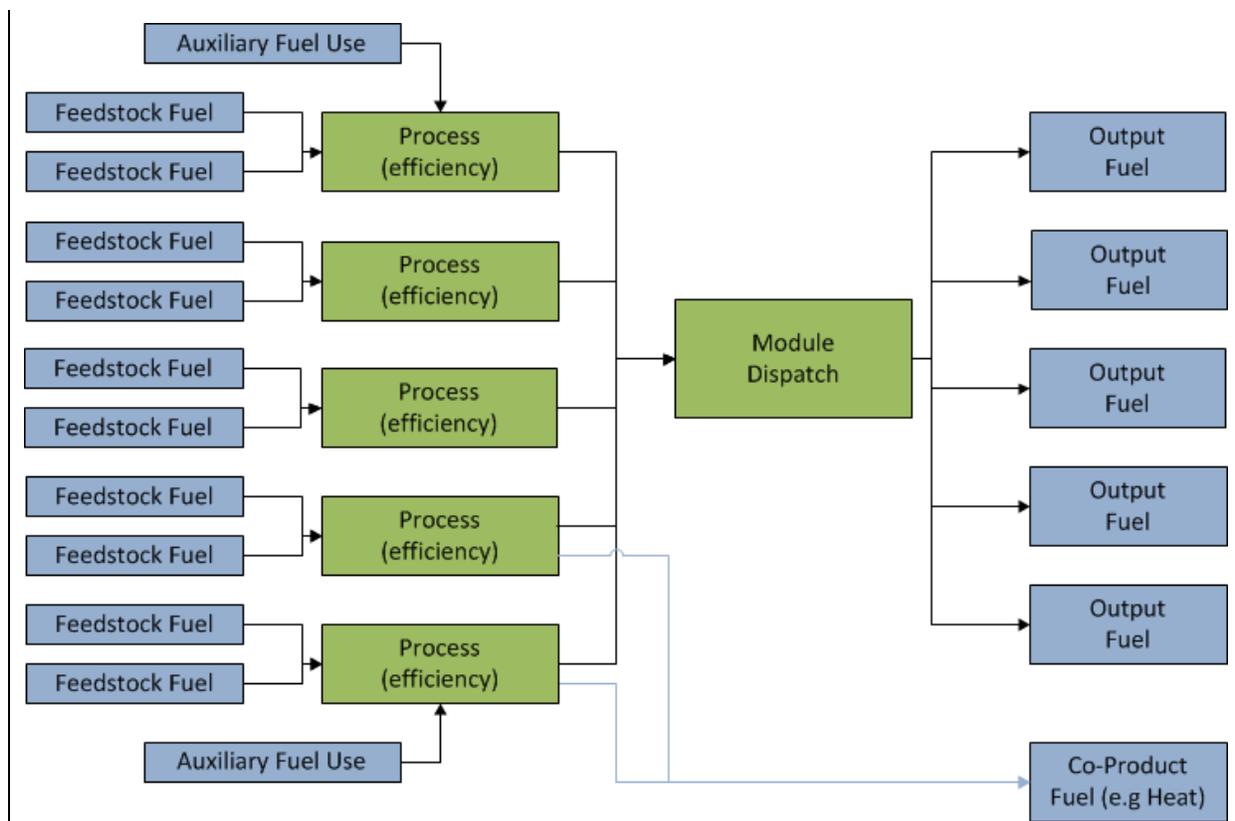
- 1. Какова доля использования электроэнергии в городских и сельских районах в 2010 году? Как это изменится в 2040 году?*
- 2. Какой конечный потребитель преобладает в потреблении электроэнергии населением в 2010 и 2040 годах?*
- 3. В целом, увеличивается или уменьшается использование энергии биомассы (древесины и древесного угля)? В какой степени?*

## **1.4 Трансформация**

<sup>6</sup> Сектор трансформации использует специальные ветви, называемые "Модули", для моделирования секторов энергоснабжения и преобразования энергии, таких как производство электроэнергии, нефтепереработка или производство древесного угля. Каждый модуль содержит один или несколько "Процессов", которые представляют собой отдельную технологию, например, определенный тип электростанции или нефтеперерабатывающего завода, и производит одно или несколько "Выходных топлив". Они представляют собой энергетические продукты, произведенные модулем. Основная структура модуля показана ниже:

### **Структура модуля трансформации LEAP**

<sup>6</sup> Видеопросмотр этого раздела: <https://youtu.be/cW87IWDABgc?t=2524>

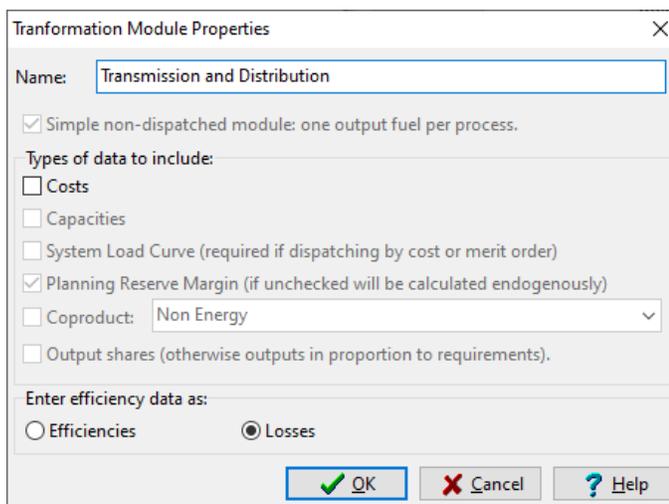


В этом упражнении вы разработаете упрощенную модель сектора передачи и производства электроэнергии в Фридонии. Эта модель станет основой для более детальной и реалистичной модели, которую вы создадите в Упражнении 3.

Вернитесь на экран **Настройки** (🔧) и установите флажок в поле с надписью Трансформация и ресурсы, поскольку теперь вы собираетесь ввести данные для различных модулей трансформации.

## 1.4.1 Передача и распределение

<sup>7</sup> Вы начнете с добавления простого недиспетчерского модуля для представления потерь электроэнергии, передачи и распределения (T&D) и потерь в трубопроводах природного газа. В базовом году потери при передаче и распределении электроэнергии составляют 15% от электроэнергии, произведенной в 2010. В базовом сценарии ожидается, что они снизятся до 12% к 2040. Потери в газопроводах составляют 2% в 2010 году и, как ожидается, снизятся до 1,5% к 2040 году в базовом сценарии.



Чтобы создать простой модуль, щелкните правой кнопкой мыши на ветке Трансформация на дереве и выберите команду *Добавить* (+). На появившемся экране свойств модуля (показан выше) введите название "Передача и распределение" (transmission and Distribution) и используйте флажки для указания типов данных, которые вы будете вводить.

**Важно:** установите флажок "Простой недиспетчерский модуль: одно выходное топливо на процесс", а затем отметьте, что вы хотите ввести данные об эффективности как Потери.

После нажатия кнопки ОК модуль будет добавлен. Разверните ветви под вновь созданным модулем и вы увидите новую ветвь с пометкой "Процессы". Нажмите на нее и добавьте новый процесс под названием "Электроэнергия". Выберите **исходное топливо** (электричество), а затем введите процентную долю потерь электроэнергии на вкладке "**Потери энергии**". Повторите этот процесс, чтобы добавить процесс для природного газа, затем введите данные о потерях в трубопроводах природного газа.

**Подсказка:** Для ввода изменяющихся во времени данных используйте те же функции, что и для спроса: переключитесь на Базовый сценарий (Baseline) и используйте функцию Interp, чтобы указать, как изменяются потери электроэнергии с течением времени.

<sup>7</sup> Видеопросмотр этого раздела: <https://youtu.be/cW87IWDABgc?t=2587>

## 1.4.2 Производство электроэнергии

<sup>8</sup>Далее вы смоделируете, как генерируется электроэнергия в Фридонии. Добавьте второй модуль трансформации под названием "Генерация электроэнергии" (Electricity generation).

Убедитесь, что модуль "Генерация электроэнергии" появился ниже модуля "Передача и распределение" в списке модулей. Вам может понадобиться использовать кнопки вверх (↑) и вниз (↓) для изменения порядка следования модулей. Последовательность модулей отражает поток энергетических ресурсов от первичного/добывающего (внизу списка) до конечного использования (вверху списка). Электроэнергия

должна быть выработана, прежде чем она будет передана и распределена. Аналогично, модуль для добычи угля, который используется для производства электроэнергии, должен быть добавлен ниже в списке.

Убедитесь, что вы установили правильные *Свойства* (🔗) для модуля Генерация электроэнергии (см. выше). Поскольку вы будете указывать данные о мощностях станций, коэффициентах полезного действия и кривой нагрузки системы, убедитесь, что эти пункты отмечены. Также проверьте опцию Маржа резерва планирования. На данный момент вы можете оставить затраты не отмеченными. Данные о затратах будут введены позже.

Далее вы добавите три процесса для представления различных электростанций, имеющих в регионе. Информация о некоторых основных характеристиках этих электростанций приведена в следующей таблице:

Plant Type	Feedstock	Exogenous Capacity (MW)	Efficiency (%)	Merit Order	Maximum Availability (%)	Historical Production (GWh)
Existing Coal Steam	Coal Bituminous	1000	30	1 (base)	70	3343.2
Existing Hydro	Hydro	500	100	1 (base)	70	1731.3
Existing Oil Combustion Turbine	Residual Fuel Oil	800	25	2 (peak)	80	895.5

В этом упражнении вы будете моделировать работу базового года особым образом, поскольку для этого года у вас есть данные, описывающие известную (историческую) работу электростанций. В последующие годы, для которых нет оперативных данных, вы будете моделировать диспетчеризацию различных электростанций, задавая правило диспетчеризации и различные параметры,

<sup>8</sup> Видеопросмотр этого раздела: <https://youtu.be/cW871WDABgc?t=2780>

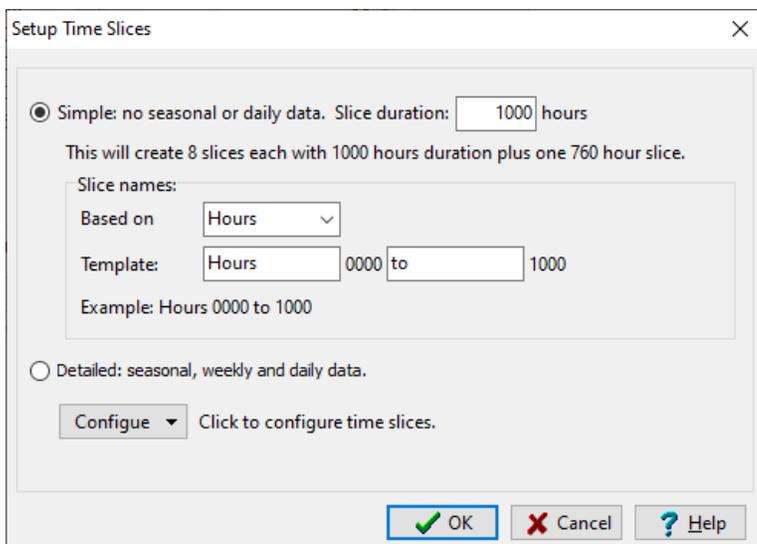
которые позволят LEAP моделировать диспетчеризацию электростанций по заслугам.

Чтобы включить этот тип моделирования, сначала убедитесь, что переменная **First Simulation Year** установлена в выражение по умолчанию *FirstScenarioYear* в Текущих операциях. Если это не так, просто удалите все существующие выражения, чтобы вернуть значение по умолчанию. Затем установите **правило диспетчеризации** *MeritOrderDispatch* для всех процессов. Эти правила будут соблюдаться начиная с 2011 года. Вы можете выбрать правило отправки из списка доступных вариантов с помощью кнопки  в конце поля выражения.

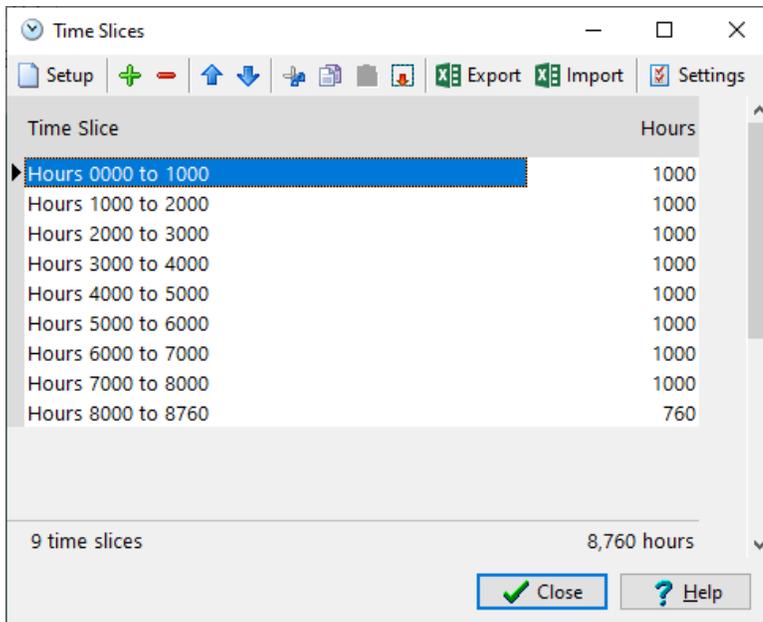
Система электроснабжения работает с минимальным **резервным запасом планирования** в 35%. Введите это значение в ветке "Генерация электроэнергии".

Вам также необходимо указать форму нагрузки системы, которая описывает, как электрическая нагрузка меняется от часа к часу в течение каждого года. Следуйте этому трехэтапному процессу для ввода формы нагрузки системы:

1. Сначала создайте набор временных срезов, на которые будет разделен год. Они вводятся на экране Общие: Временные Срезы/General:Time Slices (). Используйте кнопку настройки, чтобы создать девять срезов, как показано на следующем экране.



После этого экран временных срезов должен выглядеть следующим образом:



2. Далее необходимо создать форму годовой нагрузки со значениями для каждого из часовых срезов, которые вы только что указали. Для этого перейдите в раздел Общие: Годовые формы/General:Yearly Shapes (см. ниже) и введите Форма пиковой нагрузки/Peak Load Shape для всей системы. Введите значения, как показано на экране ниже. Мы рекомендуем назвать форму **SystemShape**

Важно:  
 Выберите форму

Slice	Hours	value
Hours 0000 to 1000	1000	99.00
Hours 1000 to 2000	1000	96.50
Hours 2000 to 3000	1000	82.50
Hours 3000 to 4000	1000	55.00
Hours 4000 to 5000	1000	32.50
Hours 5000 to 6000	1000	22.50
Hours 6000 to 7000	1000	17.50
Hours 7000 to 8000	1000	13.50
Hours 8000 to 8760	760	11.00

**Подсказка:** Значение в часе 0 неявно всегда равно 100%. Это значение необходимо ввести явно. Убедитесь, что вы ввели минимальное значение 10% в поле Minimum: в нижней части экрана, которое соответствует часу 8760.

3. Наконец, вернитесь на экран Analysis View и выберите Current Accounts. Теперь создайте ссылку на эту новую форму нагрузки в переменной **System Peak Load Shape** в ветви Electricity Generation.

Самый простой способ сделать это - нажать на кнопку , прикрепленную к полю выражения, и выбрать опцию *YearlyShape: SystemShape*, или просто введите выражение *YearlyShape(SystemShape)*.

**Подсказка:** Если вы не видите переменную с названием **System Peak Load Shape**, возможно, вам нужно перейти на вкладку **Calculations в Settings** и убедиться, что вы выбрали опцию *Load Shape for Entire System (Entered as % of Peak Generation)*.

#### 1.4.2.1 Базовый сценарий

Теперь вы можете указать, как система производства электроэнергии, вероятно, изменится в будущем в базовом сценарии.

- В базовом сценарии ожидается, что существующие угольные электростанции будут выведены из эксплуатации. Пятьсот мегаватт существующих угольных паровых электростанций будут выведены из эксплуатации в 2020 году, а остальные пятьсот мегаватт - в 2030.

**Подсказка:** Полученное выражение для мощности угля должно иметь вид:

**Step(2020, 500, 2030, 0)**

При вводе явных значений мощности для отражения существующей мощности и/или планируемой мощности и выбытия используйте вкладку **Exogenous Capacity (Экзогенная мощность)**.

- В будущем, для удовлетворения растущих потребностей и замены выбывших станций, ожидается, что новые электростанции будут состоять из паровых угольных станций базовой нагрузки (построенных в блоках по 500 МВт, с тепловой эффективностью 35%) и новых турбин внутреннего сгорания на мазуте для пиковой нагрузки (построенных в блоках по 300 МВт с тепловой эффективностью 30%). Срок службы обоих типов электростанций составляет 30 лет, а максимальная эксплуатационная готовность - 80%.

Введите эти данные в LEAP, добавив два новых процесса "Новый паровой угольный" и "Новый турбинный нефтяной" в разделе Текущие операции. Используйте вышеуказанные данные для определения **эффективности, максимальной доступности и срока службы** установок. Обратите внимание, что эти два завода фактически не существуют в базовом году (они являются кандидатами на добавление в будущем). Поэтому оставьте значения **Экзогенная мощность** и **Историческое производство** для этих двух заводов

равными нулю в Текущих операциях. Перед тем как покинуть Текущие операции, вы также должны установить **правило диспетчеризации** для этих двух процессов на *MeritOrderDispatch* (то же правило, которое используется для всех процессов) и установить переменную **Merit Order** для этих процессов на "1" для New Coal Steam и "2" для New Oil Combustion Turbine.

Далее вернитесь к сценарию Baseline. Здесь вы будете использовать переменную **Endogenous Capacity**, чтобы указать новые мощности для этих двух заводов, которые будут автоматически добавлены LEAP, чтобы предотвратить падение резервного запаса ниже резерва планирования. На экране "**Эндогенная мощность**" используйте кнопку  справа, чтобы добавить каждый из этих двух новых процессов на экран. Затем введите *выражение размера добавления* для каждого из двух новых процессов (500 МВт и 300 МВт). Важно убедиться, что "Новый угольный пар" появится первым в списке. При необходимости вы можете изменить его положение с помощью  стрелок  и . После этого ваш экран должен выглядеть следующим образом:

Addition Order	Build Order	Process	Addition Size Expression
▶	1	0 New Coal Steam	500
	2	0 New Oil Combustion Turbine	300

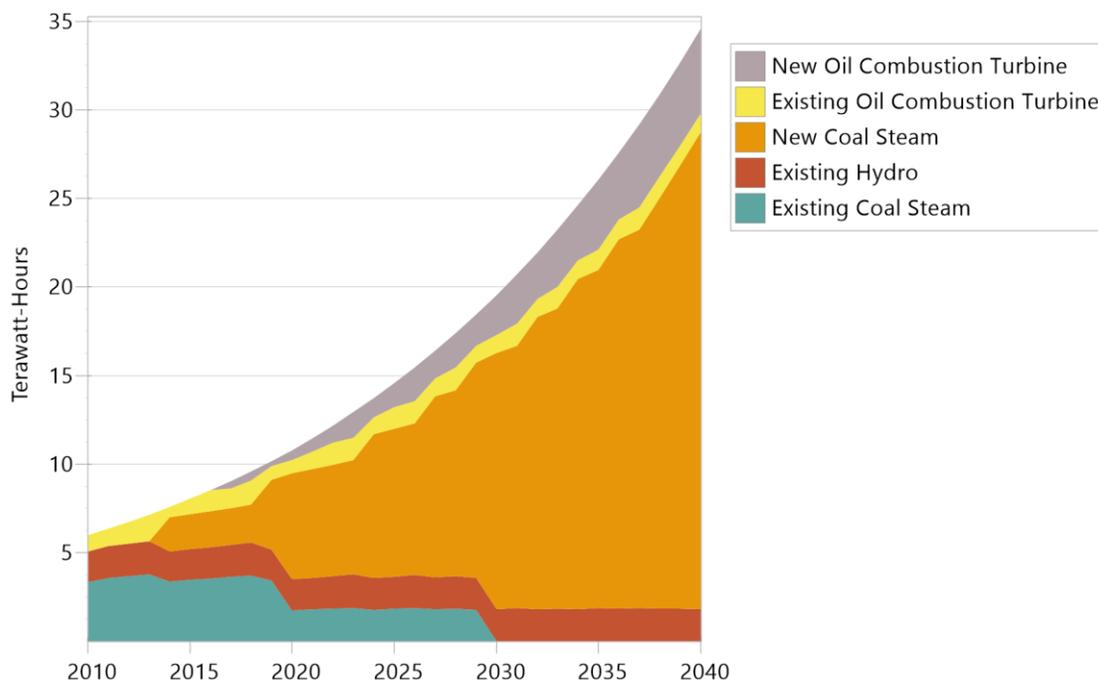
*Для получения дополнительной информации об экзогенном и эндогенном потенциале, пожалуйста, обратитесь к файлу справки, который находится в LEAP в разделе Справка: Содержание.*

### 1.4.3 Просмотр результатов



<sup>9</sup> Нажмите на **Вид результатов**, чтобы просмотреть результаты базового сценария. Выберите ветвь Transformation\Electricity Generation и просмотрите результаты по таким категориям, как мощности, выработка энергии и резервные маржи модулей. Сравните свои результаты с таблицами и графиками, представленными ниже.

#### Производство электроэнергии во Фридонии: Базовый сценарий (тыс. ТВтч)

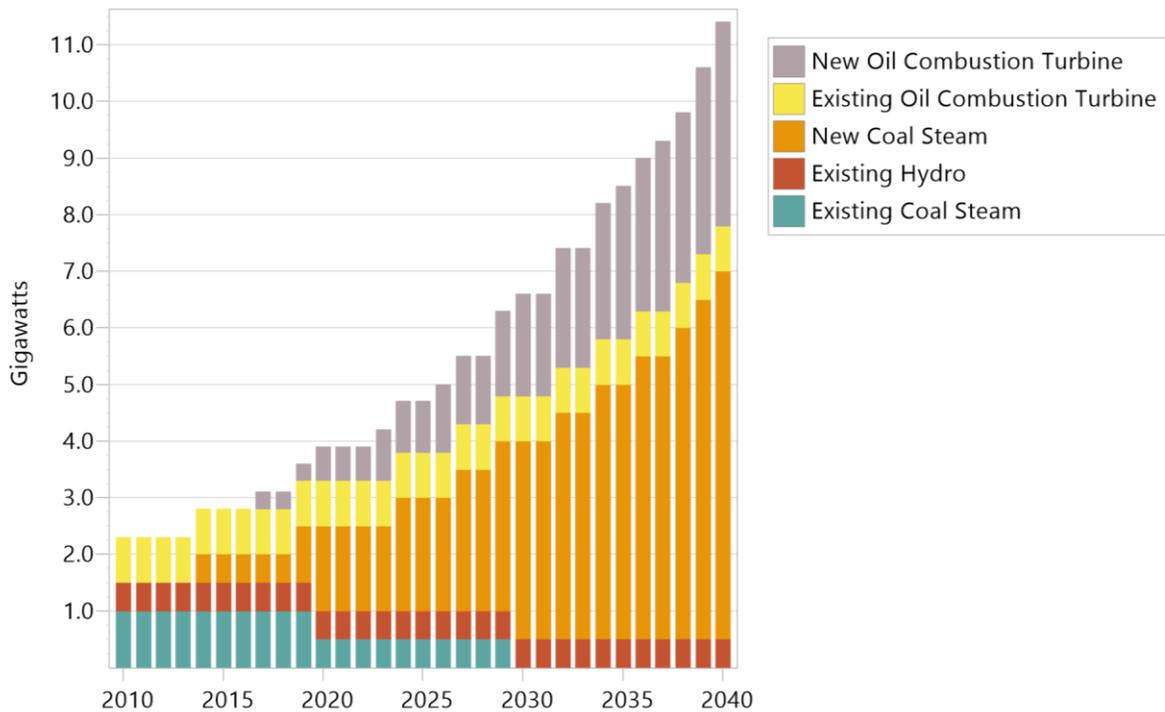


Примечания: базовый год = 5,97 ТВтч, 2040 год = 34,58 ТВтч

**Подсказка:** Чтобы получить этот график, нажмите на Процессы в модуле Генерация электроэнергии в Дереве, выберите **Трансформация: Outputs by Output Fuel**. Затем в легенде графика выберите Все ветви. Используйте панель инструментов диаграммы справа, чтобы выбрать диаграмму области. Наконец, убедитесь, что на оси Y единицы измерения установлены на Тераватт-часы. Чтобы сохранить все эти настройки для дальнейшего использования, нажмите на меню Favorites и выберите Save Chart as Favorite. Обратите внимание, что порядок процессов основан на их порядке в дереве, которое вы установили в Analysis View.

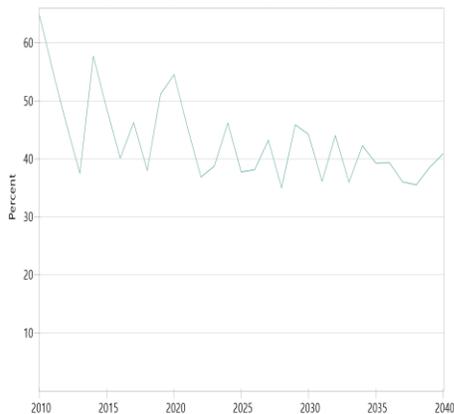
<sup>9</sup> Видеопросмотр этого раздела: <https://youtu.be/cW87IWDABgc?t=3722>

## Мощность производства электроэнергии: Базовый сценарий (МВт)

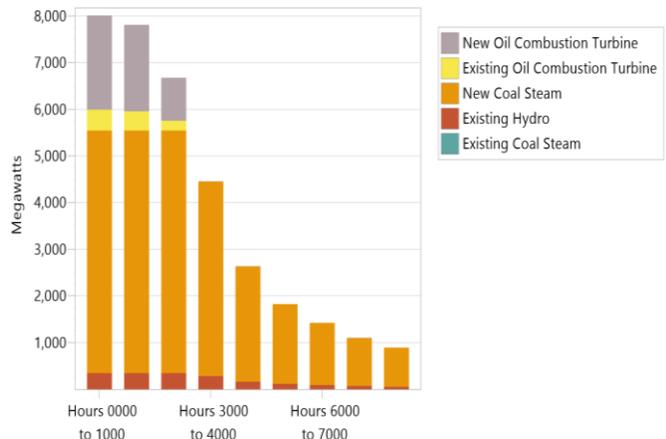


Примечания: базовый год = 2300 МВт, 2040 год = 11 400 МВт

## Маржа резерва (%)

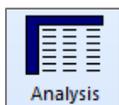


## Мощность, распределенная в 2040 году (МВт)

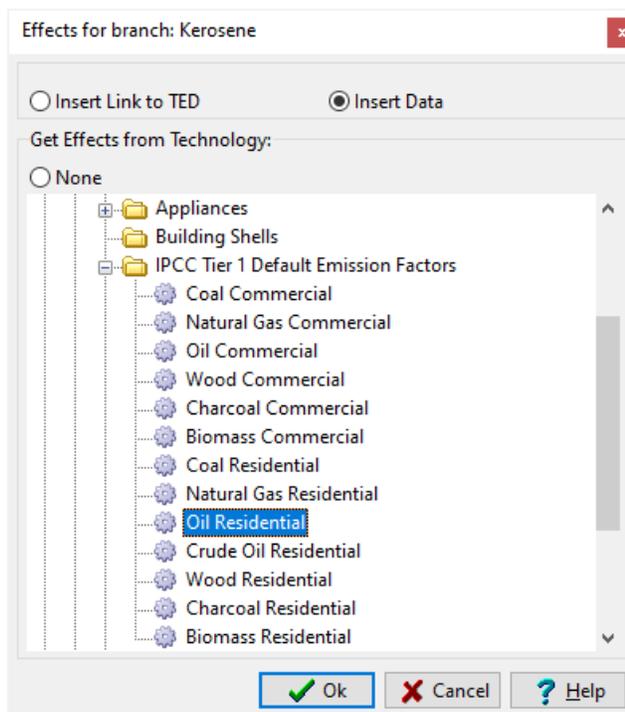


**Совет:** чтобы увидеть версию Freedonia, соответствующую результатам, показанным здесь, сначала откройте стандартную область Freedonia в LEAP, затем используйте **Area: Revert to Version** и выберите версию 1.4.3.

## 1.5 Выбросы



<sup>10</sup> Теперь вы будете использовать LEAP для оценки выбросов основных загрязняющих веществ в базовом сценарии. Для этого сначала нужно вернуться в **Analysis View** и перейти в **Settings**, чтобы включить Energy Sector Effect Loadings. Теперь выберите Текущие операции, а затем сразу же создайте ветви *эффектов* под каждой соответствующей технологией спроса (те, что отмечены значком ) и под каждым соответствующим топливом сырья для трансформации (те, что отмечены значком )



Вы можете создать эти ветви, выбрав из коэффициентов выбросов уровня 1 МГЭИК по умолчанию, хранящихся в базе данных TED. Для этого щелкните правой кнопкой мыши на технологии, а затем выберите опцию *Добавить множественные эффекты* ()

. В результате появится окно, показанное справа.

Убедитесь, что исходное топливо для технологии TED аналогично топливу, используемому технологией LEAP. В некоторых случаях технологии уровня 1 МГЭИК содержат записи не для всех видов топлива. В этом случае необходимо выбрать наиболее близкую по значению запись (например, категория IPCC "Нефть в жилых помещениях" может быть связана с категорией LEAP "Керосиновое освещение").

Вам НЕ нужно добавлять данные об экологической нагрузке для любых устройств со стороны спроса, потребляющих электроэнергию, таких как лампы или холодильники, поскольку их воздействие на окружающую среду происходит выше по течению (например, на электростанциях, которые производят электроэнергию).

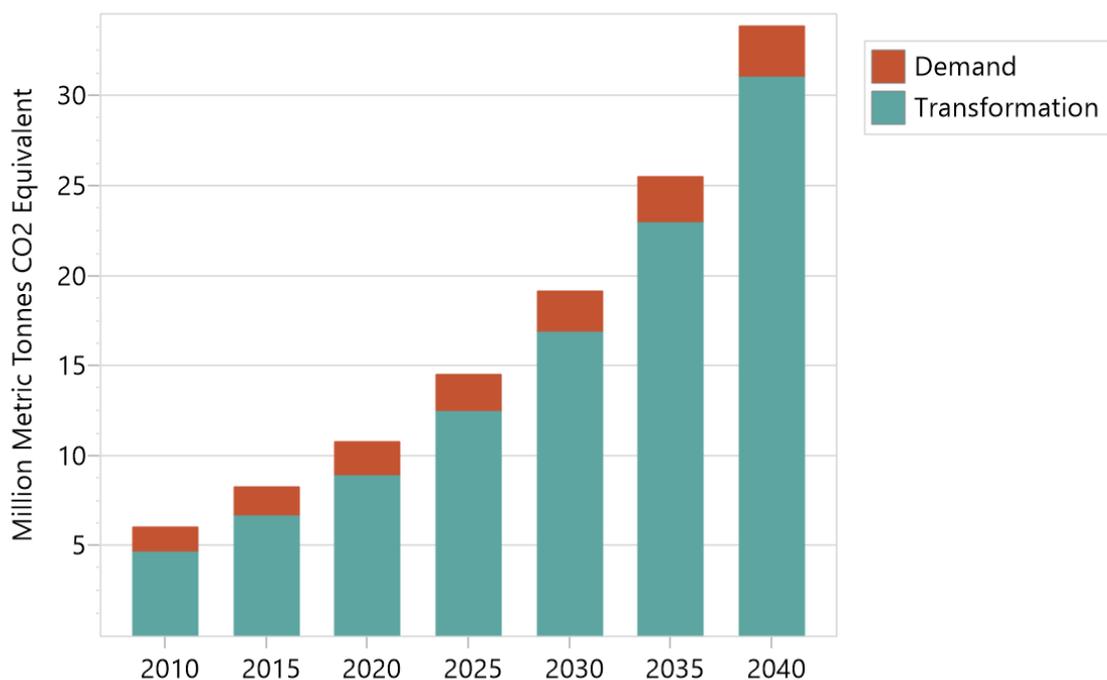
<sup>10</sup> Видеопросмотр этого раздела: <https://youtu.be/cW871WDABgc?t=3910>

## 1.5.1 Просмотр результатов



<sup>11</sup> Щелкните на **Вид результатов**, чтобы увидеть экологические результаты для базового сценария. Нажмите на ветвь верхнего уровня "Фридония" и выберите результат **Environment: 100-летний ПГП: прямой (в месте выбросов)**. Сравните свои результаты с показанными ниже. Также проверьте результаты по другим парниковым газам, таким как оксиды серы и азота.

### Столетний потенциал глобального потепления выбросов из Фридонии Базовый сценарий (все ПГ)



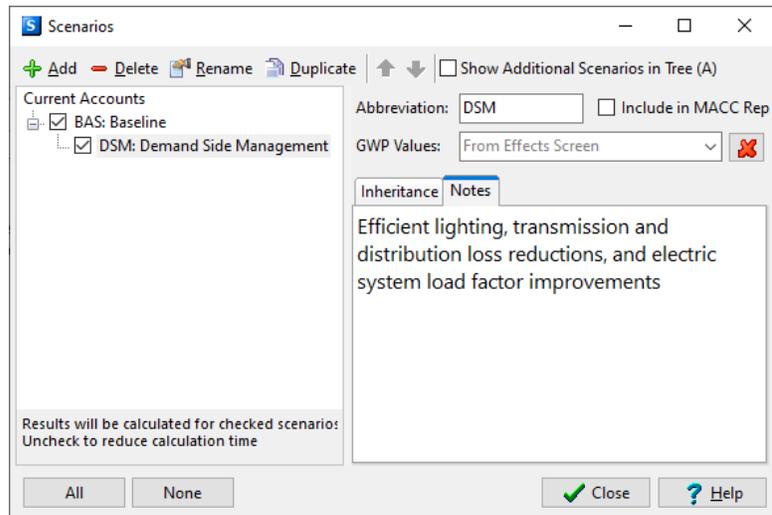
Примечание: Базовый год = 6.0, 4200 = миллион 33.9 тонн СО-эквивалента<sub>2</sub>.

**Совет:** чтобы увидеть версию Фридония, соответствующую результатам, показанным здесь, сначала откройте стандартную область Фридония в LEAP, затем используйте **Area: Revert to Version** и выберите версию 1.5.1.

<sup>11</sup> Видеопросмотр этого раздела: <https://youtu.be/cW871WDABgc?t=4221>

## 1.6 Второй сценарий: Управление спросом

<sup>12</sup> Сейчас вы создадите второй сценарий для изучения возможностей экономии электроэнергии в Фридонии. Войдите на экран **Сценарии** (S), чтобы добавить новый сценарий. Добавьте сценарий под базовый сценарий, чтобы по умолчанию он унаследовал все допущения базового сценария и выражения моделирования.



Дайте новому сценарию название "Управление спросом", сокращение "DSM" и добавьте следующие примечания: "Эффективное освещение, сокращение потерь при передаче и распределении электроэнергии, а также улучшение коэффициента нагрузки электрической системы. "

Выйдите из менеджера сценариев и выберите сценарий Demand Side Management на главном экране, а затем отредактируйте данные для сценария, чтобы отразить следующие примечания:



**Подсказка:** Помните, что для изменения сценариев вы должны находиться в **режиме просмотра анализа**. В противном случае выберите его с помощью панели просмотра.

Сценарий PC состоит из четырех мер политики:

- 1. Охлаждение:** Предлагаемые новые стандарты эффективности для холодильников должны снизить среднюю энергоемкость холодильного оборудования в городских домохозяйствах на 5% в 2020 году по сравнению со значениями в Текущих операциях и на 20% в 2020 году 2040. В сельских домохозяйствах энергоемкость, как ожидается, останется неизменной.

**Подсказка:** Эту информацию можно ввести несколькими способами.

- Используйте мастер временных рядов, выберите интерполяцию и введите значения энергоемкости холодильника в будущие годы (рассчитайте значения самостоятельно), или

<sup>12</sup> Видеопросмотр этого раздела: <https://youtu.be/cW871WDABgc?t=4326>

- введите выражение, которое вычисляет значение за вас, например  

$$\text{Interp}(2020, \text{BaseYearValue} * 0.95, 2040, \text{BaseYearValue} * 0.8)$$

2. **Освещение:** Ожидается, что ряд мер, включая новые стандарты освещения и программы управления спросом на коммунальные услуги, позволят снизить энергоемкость электрического освещения в городских домохозяйствах на 1% в год (-1%/год), а также снизить ожидаемый рост интенсивности электрического освещения в сельской местности с 1% (базовый сценарий) до 0,3% в год (+0,3%/год).

3. **Передача и распределение:** Согласно запланированной программе DSM, потери при передаче и распределении электроэнергии планируется снизить до 12% к 2025 году и до 9% к 2040 2025 году.

4. **Улучшение коэффициента нагрузки электрической системы:** Различные меры по выравниванию нагрузки в плане DSM, как ожидается, приведут к постепенному улучшению коэффициента нагрузки системы, который увеличивается примерно до 64% в 2040 . Не вводите этот коэффициент нагрузки в явном виде в LEAP. Вместо этого для представления этого нового коэффициента нагрузки создайте вторую годовую форму с данными, показанными справа, и назовите ее DSMShape.

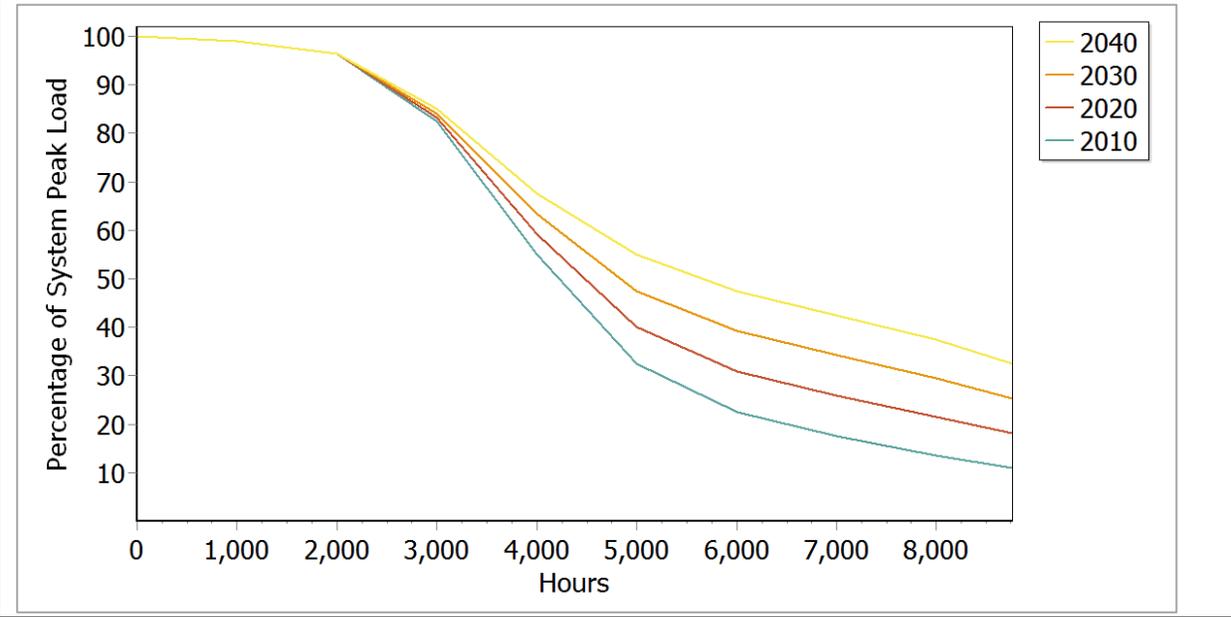
Shape Type: Peak Load Shape (% of peak load)

Name	Hours	Avg. Value
Hours 0000 to 1000	1000	99.0
Hours 1000 to 2000	1000	96.5
Hours 2000 to 3000	1000	85.0
Hours 3000 to 4000	1000	67.5
Hours 4000 to 5000	1000	55.0
Hours 5000 to 6000	1000	47.5
Hours 6000 to 7000	1000	42.5
Hours 7000 to 8000	1000	37.5
Hours 8000 to 8760	760	32.5

9 Slices Tot=8760  
 Minimum: 30.0

**Подсказка:** Создайте новую годовую форму под названием "DSMShape" (см. раздел 1.4.2, чтобы напомнить вам, как это сделать), которая будет представлять форму нагрузки системы в 2040 году. Затем необходимо указать LEAP интерполировать кривые нагрузки базового и конечного годов. В сценарии DSM перейдите к переменной **System Peak Load Shape** в модуле Electricity Generation, нажмите на кнопку  справа от поля выражения и выберите YearlyShape: DSMShape или введите выражение YearlyShape(DSMShape). График ниже покажет, как LEAP интерполирует кривую нагрузки в 2010 году (кривая нагрузки системы) и кривую нагрузки в 2040 году (кривая нагрузки DSM).

**Интерполяция кривой нагрузки системы до 2040 года для сценария DSM**



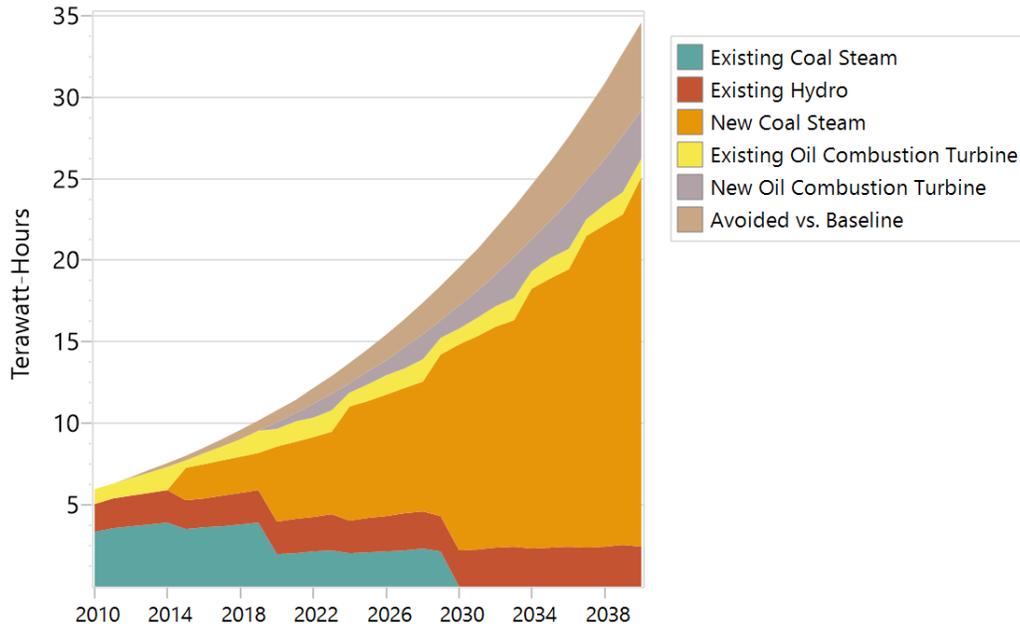
### 1.6.1 Результаты сценария ДСМ



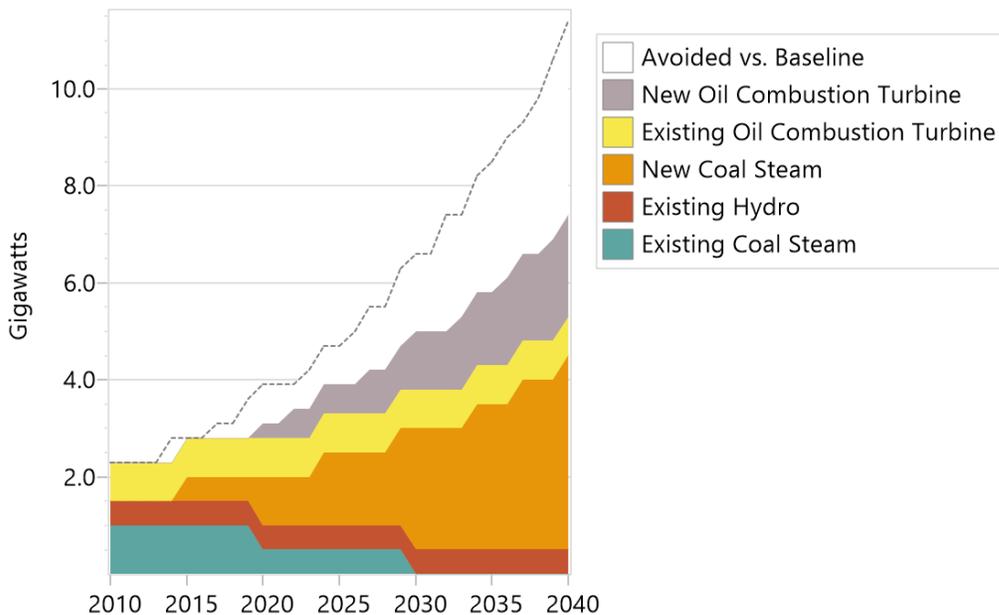
<sup>13</sup> Нажмите на **Вид результатов**, чтобы увидеть результаты сценария DSM. Сравните свои результаты с показанными ниже:

#### Производство электроэнергии: Сценарий ДСМ по сравнению с базовым сценарием

Выработка электроэнергии (ТВтч)



Мощность (ГВт)



Генерация по сценарию DSM в 2040 году = 29.16ТВтч. Мощность = 7.40 ГВт.

<sup>13</sup> Видеопросмотр этого раздела: <https://youtu.be/cW87IWDABgc?t=4855>

**Подсказка:** Чтобы воссоздать график выработки электроэнергии в представлении результатов, перейдите в раздел **Преобразование: Outputs by Output Fuel**, и установите единицы измерения и сценарии в соответствии с приведенным выше графиком. Убедитесь, что выделенная ветвь дерева соответствует результатам, которые вы хотите увидеть (в данном случае у вас должно быть выбрано "Преобразование\Генерация электроэнергии\Процессы"). Покажите результаты по оси X Каждые пять лет. Проверьте вид таблицы, чтобы увидеть точные значения в определенном году.

**Совет:** чтобы увидеть версию Freedonia, соответствующую результатам, показанным здесь, сначала откройте стандартную область Freedonia в LEAP, затем используйте **Area: Revert to Version** и выберите версию 1.6.1.

*Изучите различные результаты в LEAP и постарайтесь ответить на следующие вопросы:*

- 1. Каково процентное снижение спроса на электроэнергию в 2040 году по сравнению с базовым сценарием в сценарии DSM? Каково снижение спроса на освещение и охлаждение?*
- 2. Насколько меньше потребуется выработки электроэнергии (ГВтч) и генерирующих мощностей (МВт) в 2040 году в РС по сравнению с базовым сценарием?*
- 3. Сколько тонн выбросов SO<sub>2</sub> будет предотвращено в 2040 году?*

## 2 Спрос

Упражнение 2 развивает анализ спроса, начатый в Упражнении 1, охватывая три других сектора: промышленность, транспорт и коммерческие здания. Используйте информацию из раздела 2 для завершения древовидной структуры, данных текущих операций и анализа базового сценария для этих секторов.

### 2.1 Промышленность

#### 2.1.1 Текущие операции



<sup>14</sup> В Фридонии существует две основные энергоемкие отрасли промышленности: Черная металлургия и целлюлозно-бумажная промышленность. Все остальные отрасли можно сгруппировать в одну категорию. В

приведенной ниже таблице показана продукция каждого подсектора. Анализ промышленной энергии обычно проводится либо в экономическом (например, добавленная стоимость), либо в физическом (например, в тоннах) выражении. Выбор, как правило, зависит от наличия данных и разнообразия продукции в подсекторе. В данной работе используются оба метода.

#### Объем промышленного производства (2010)

Железо и сталь	600 000 тонн
Целлюлоза и бумага	400 000 тонн

*Подсказка: При добавлении отрасли "Промышленность" установите единицу уровня активности на "Нет данных" (поскольку для этого сектора вы указываете различные единицы уровня активности для каждого подсектора).*

Использование энергии в черной металлургии и целлюлозно-бумажной промышленности можно разделить на два конечных вида использования: технологическое тепло и движущая сила.

#### **Железо и сталь**

- В настоящее время потребности в технологическом тепле составляют в среднем 24,0 ГДж на тонну, и все это производят котлы, использующие битуминозный уголь.
- Для производства каждой тонны стали требуется в среднем 2,5 ГДж электроэнергии.

#### **Целлюлоза и бумага**

- Котлы, работающие на дровах, удовлетворяют все потребности в технологическом тепле - 40,0 ГДж на тонну целлюлозно-бумажной продукции.
- Для производства каждой тонны целлюлозы и бумаги требуется 3 МВт-ч электроэнергии.

<sup>14</sup> Видеопросмотр этого раздела: <https://youtu.be/brSa9o0cV8I?t=50>

## Другая промышленность

- Другие отрасли промышленности Фридонии потребляли в общей сложности 36 млн ГДж энергии в 2010.
- 40% этой энергии составляла электроэнергия, а остальная часть - мазут.

*Подсказка:* При добавлении филиала "Другая промышленность" установите тип филиала на зеленый значок  категории. Это указывает на то, что вы хотите ввести совокупную энергоемкость в этой ветви. Затем вы можете добавить еще две ветви для электроэнергии и мазута ниже этой ветви. Эти нижние ветви будут содержать только доли топлива, а не энергоемкость. Обратите внимание, что вам также необходимо рассчитать энергоемкость в ГДж/долларах США, используя общую добавленную стоимость для подсекторов "Прочие" (см. выше).

### 2.1.2 Базовый сценарий

#### Железо и сталь

- Ожидается, что общий объем производства не изменится: все заводы работают на максимальной мощности, и в течение анализируемого периода не планируется строительство новых заводов.
- Ожидается, что природный газ будет обеспечивать 10% потребностей в технологическом тепле к 2040.
- Котлы на природном газе на 10% эффективнее угольных котлов.

*Подсказка:* Чтобы добавить новую ветку для природного газа, необходимо снова перейти в раздел "Текущие операции". Вы можете использовать следующее простое выражение для расчета энергоемкости природного газа как функции энергоемкости угля:

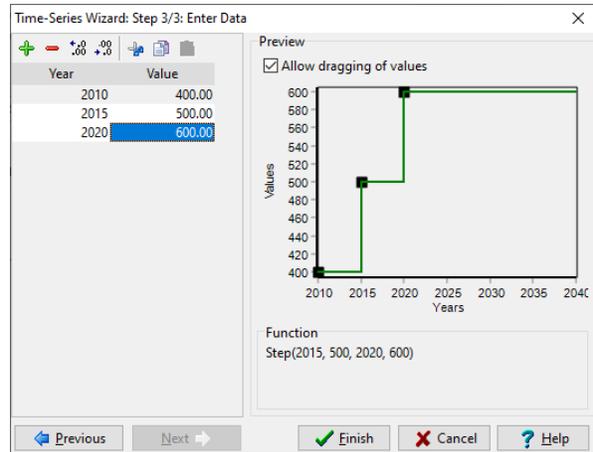
$$\text{Уголь} * 0.9$$

*Подсказка:* Не забывайте использовать функции Interp и Remainder, чтобы помочь вам рассчитать доли котла.

#### Целлюлоза и бумага

- Ожидается открытие двух новых бумажных заводов: одного в 2015 году и одного в 2020. Каждый из них добавит 100 тыс. тонн в год к общему объему производства этой отрасли.

**Совет:** Используйте функцию Step в мастере временных рядов, чтобы задать дискретные изменения в уровнях активности или других переменных (см. справа).



### Другая промышленность

- Ожидается, что объем производства других отраслей будет расти на 3,5% в год.
- Ожидается, что доля топлива в электроэнергии вырастет до 55% к году 2040.

### 2.1.3 Просмотр результатов



<sup>15</sup> Теперь просмотрите свои результаты и сравните их с таблицей ответов, приведенной ниже.

### Промышленный спрос на энергию во Фридонии: Базовый уровень (млн ГДж)

По видам топлива По отраслям

Fuel	2010	2040
Electricity	20.2	63.6
Natural Gas	-	1.3
Residual Fuel Oil	21.6	45.5
Coal Bituminous	14.4	13.0
Wood	16.0	24.0
<b>Total</b>	<b>72.2</b>	<b>147.3</b>

Branch	2010	2040
<b>Iron and Steel</b>	<b>15.9</b>	<b>15.8</b>
Heat	14.4	14.3
Electricity	1.5	1.5
<b>Pulp and Paper</b>	<b>20.3</b>	<b>30.5</b>
Heat	16.0	24.0
Electricity	4.3	6.5
<b>Other Industry</b>	<b>36.0</b>	<b>101.0</b>
Electricity	14.4	55.6
Residual Fuel Oil	21.6	45.5
<b>Total</b>	<b>72.2</b>	<b>147.3</b>

<sup>15</sup> Видеопросмотр этого раздела: <https://youtu.be/brSa9o0cV8I?t=722>

## 2.2 Транспорт

### 2.2.1 Текущие операции



#### <sup>16</sup> Пассажирский транспорт

- Все пассажирские перевозки во Фридонии осуществляются либо автомобильным (автомобили и автобусы), либо железнодорожным транспортом. Воздушный и водный транспорт в данном упражнении можно игнорировать.
- По оценкам, за год 2010 автомобили проехали около 8 млрд км; автобусы - около 1 млрд км.
- По данным опросов, среднее количество пассажиров (взвешенное по расстоянию) в легковых автомобилях составляет 2,5 человека, в то время как аналогичный средний показатель для автобусов составляет 40 пассажиров.
- Обследования показали, что нынешний парк автомобилей имеет топливную экономичность около 12 км/литр бензина (примерно 28 MPG). Автобусы, напротив, проезжают около 3 км/литр дизельного топлива.
- Национальная железная дорога сообщает о 15 миллиардах пассажиро-километров, пройденных в 2010.

#### **Подсказки:**

- *Предположим, что все существующие автомобили используют бензин, а все существующие автобусы - дизельное топливо.*
- *Вы можете ввести общее население в качестве уровня деятельности на уровне сектора (см. раздел 1.3 о данных по населению).*
- *Используйте приведенную выше информацию для расчета общего количества пассажиро-километров, процентного соотношения для каждого вида транспорта и средней энергоемкости (на пассажиро-километр). Заполните приведенную ниже форму, которая поможет вам.*

---

<sup>16</sup> Видеопросмотр этого раздела: <https://youtu.be/brSaQo0cV8I?t=794>

<u>Calculating Passenger-Km</u>		
A	Car Use (billion veh-km)	
B	Load Factor (pass-km/veh-km)	2.5
<b>C=A*B = Total Car Pass-km</b>		
D	Bus Use (billion veh-km)	
E	Load Factor (pass-km/veh-km)	40.0
<b>F=D*E Total Bus Pass-km</b>		
<b>G=F+C Road Passenger-km</b>		
<b>H Rail Passenger-km</b>		
<b>I=G+H Total Passenger-km</b>		
<u>Calculating Energy Intensities</u>		
J	Car Fuel Economy (veh-km/l)	12.0
K	Load Factor (pass-km/veh-km)	2.5
<b>L=1/(J*K) Energy Intensity (liters/pass-km)</b>		
M	Bus Fuel Economy (veh-km/l)	3.0
N	Bus Load Factor (pass-km/veh-km)	40.0
<b>O=1/(M*N) Energy Intensity (liters/pass-km)</b>		

- 20% железнодорожных перевозок осуществляется электропоездами, остальные - дизельными поездами. Энергоемкость электропоездов составляет 0,1 кВт-ч на пассажиро-километр. Энергоемкость дизельных поездов на 25% выше, чем у электропоездов.

### Грузовые перевозки

- В среднем на душу населения приходится 250 тонно-км грузоперевозок.
- 85% грузовых перевозок осуществляется автомобильным транспортом, остальное - железнодорожным.
- Автомобильный транспорт использует в среднем 4 МДж дизельного топлива на тонно-км.
- Энергоемкость дизельных грузовых поездов составляет 3 МДж/тонна-км.

### Отмена единиц в LEAP

При определении деятельности по перевозке грузов обратите внимание, как LEAP автоматически отменяет единицы числителя и знаменателя ваших данных по мере того, как вы спускаетесь по ветвям дерева.

В этом примере начните с указания численности населения на уровне сектора, на следующем уровне укажите тонно-км/чел. Другими словами, LEAP отменяет единицы измерения

—[человек] x [тонно-км]

## 2.2.2 Базовый сценарий

### Пассажирский транспорт

- Ожидается, что удельный спрос на пассажирские перевозки (пассажиры-км/чел.) будет расти несколько быстрее, чем средний уровень дохода (эластичность спроса на поездки по отношению к доходу составляет 1,1).
- В то же время общая численность населения растет на 2,5% в год.
- Ожидается, что средний доход на душу населения будет расти с нынешнего уровня в \$3000 со скоростью 3,5% в год до 2040.
- Ожидается, что автомобили будут составлять 75% пассажирских автоперевозок к 2040.

*Подсказка: создайте новые ветви под названием "Доход" и "Население" в разделе "Ключевые допущения" на дереве, а затем рассчитайте будущий транспортный спрос как функцию этих переменных. Используйте следующее выражение для моделирования роста транспортного спроса на душу населения в рамках базового сценария:*

**GrowthAs(Key\Income, 1.1)**

## Грузовые перевозки

- Ожидается, что в течение анализируемого периода спрос на грузовые перевозки на душу населения будет расти на 2% в год.
- Ожидается, что энергоэффективность всех видов транспорта (как пассажирского, так и грузового) будет повышаться на 0,5% в год в течение 2040 года, за исключением легковых автомобилей, которые, как ожидается, будут повышаться на 1% в год.

### 2.2.3 Просмотр результатов



<sup>17</sup> Теперь переключитесь в **режим просмотра результатов** и сравните свои результаты с таблицами, показанными ниже.

<sup>17</sup> Видеопросмотр этого раздела: <https://youtu.be/brSaQo0cV8I?t=2844>

## Потребность в энергии на транспорте в Фридонии: Базовый уровень (млн ГДж)

По отраслям По видам топлива

Branch	2010	2040	Fuel	2010	2040
Passenger	41.1	303.0	Electricity	1.1	6.1
Road	34.7	266.6	Gasoline	22.1	240.1
Cars	22.1	240.1	Diesel	56.5	182.6
Buses	12.6	26.5	Total	79.6	428.8
Rail	6.5	36.4			
Diesel	5.4	30.3			
Electricity	1.1	6.1			
Freight	38.5	125.9			
Road	34.0	111.1			
Diesel	34.0	111.1			
Rail	4.5	14.7			
Diesel	4.5	14.7			
Total	79.6	428.8			

*Изучите различные результаты в LEAP и свои знания, чтобы попытаться ответить на следующие вопросы:*

- 1. Какие транспортные подсектора имеют наибольший потенциал для сокращения потребления нефтепродуктов в течение следующих 30 лет?*
- 2. Перечислите три меры, которые могут быть реализованы для достижения этих сокращений, и укажите, как они могут быть смоделированы в транспортном сценарии.*

### 2.3 Коммерция: Анализ полезной энергии



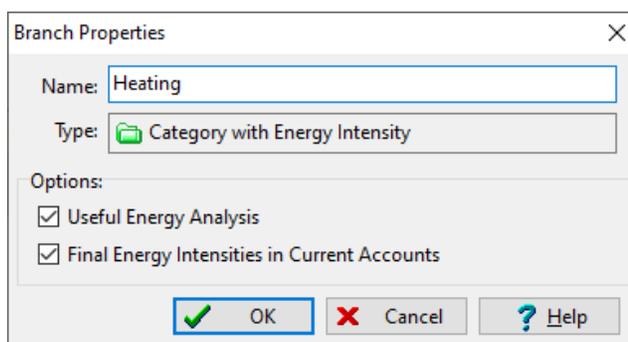
<sup>18</sup>В данном упражнении рассматривается отопление помещений в коммерческих зданиях, и оно служит для ознакомления с применением методов анализа полезной энергии. Анализ полезной энергии особенно полезен, когда несколько комбинаций видов топлива и технологий могут обеспечить общую услугу (например, отопление), а также в ситуациях, когда необходимо независимо смоделировать эффективность устройств и общие требования к энергетическим услугам.

<sup>18</sup> Видеопросмотр этого раздела: <https://youtu.be/brSa9o0cV8I?t=2910>

### 2.3.1 Текущие операции

- В 2010 году общая площадь коммерческих зданий в Фридонии составила 100 миллионов квадратных метров.
- Общее конечное потребление энергии для целей отопления составило 20 млн. ГДж в 2010 г. Мазут и электричество в настоящее время обеспечивают половину всей тепловой энергии. Природный газ, как ожидается, будет введен позже.
- КПД электрических нагревателей составляет почти 100%, в то время как КПД котлов на мазуте составляет в среднем 65%, а котлов на природном газе - 80%.

***Подсказка:** Для этого упражнения вам необходимо настроить категорию с веткой "Интенсивность энергии" для отопления. Установите флажки, чтобы указать, что вы хотите провести анализ полезной энергии и что вы хотите ввести конечную энергоемкость в Текущие операции. Используйте экран свойств филиала, чтобы настроить его, как показано справа.*



### 2.3.2 Базовый сценарий

- Ожидается, что площадь помещений в коммерческом секторе будет расти на 3% в год.
- В связи с ожидаемым улучшением стандартов изоляции коммерческих зданий, полезная энергоемкость (т.е. количество тепла, поставляемого на квадратный метр<sup>19</sup>), как ожидается, будет снижаться на 1% в год до 2040.
- Ожидается, что к этому времени в 2040 проникновение газовых котлов на рынок (т.е. доля площади) достигнет 25%, а доля мазутных котлов снизится до 10%. Оставшиеся потребности заполняются электрическим отоплением. Обратите внимание, что в будущих сценариях доли **уровня активности** отличаются от **долей топлива**, которые вы ввели для текущих операций, чтобы учесть разную эффективность устройств.
- Наконец, ожидается, что постепенное повышение стандартов энергоэффективности для коммерческих котлов приведет к повышению средней эффективности котлов на мазуте и природном газе. Ожидается, что мазутные системы достигнут эффективности 75% к 2040, а газовые системы достигнут эффективности 85% к 2040.

<sup>19</sup> В отличие от конечной энергоемкости: количество топлива, используемого на квадратный метр.

### 2.3.3 Просмотр результатов



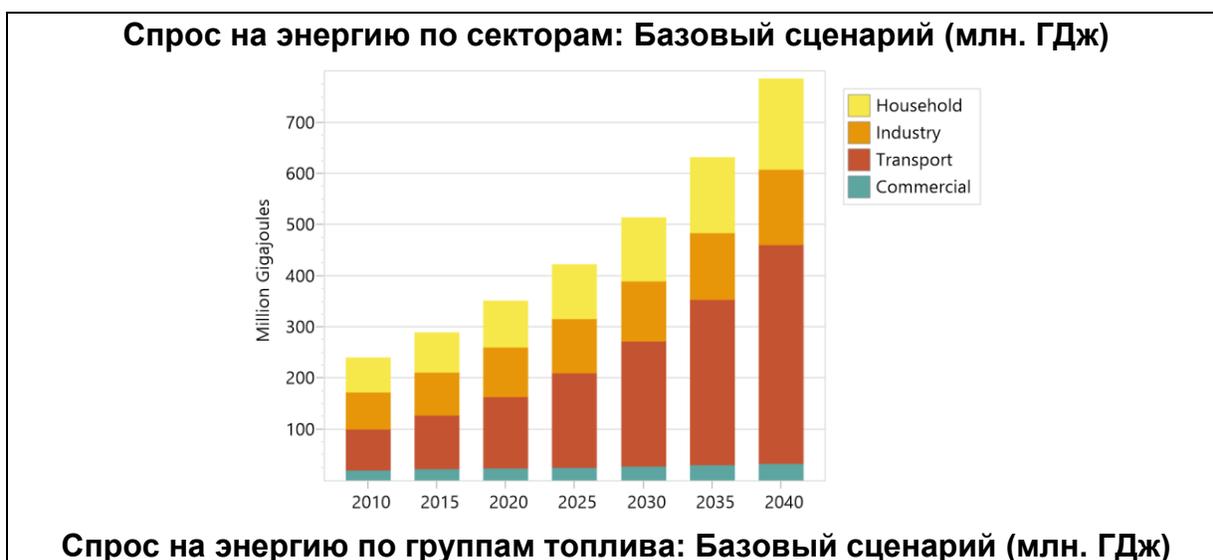
После ввода вышеуказанных данных переключитесь в **режим просмотра результатов** и сравните свои результаты с таблицей, показанной ниже.

### Потребность в энергии для отопления коммерческих помещений: Базовый уровень (млн. ГДж)

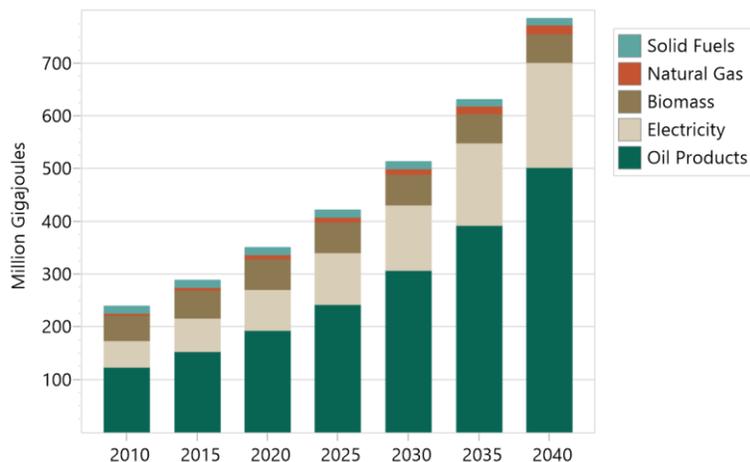
Fuel	2010	2020	2030	2040
Electricity	10.0	12.4	15.5	19.3
Natural Gas	-	2.0	4.9	8.7
Residual Fuel Oil	10.0	8.7	6.7	3.9
Total	20.0	23.2	27.1	31.9

### 2.4 Итого Итоговые требования

<sup>20</sup> Прежде чем приступить к упражнениям по трансформации, проверьте свои результаты по общему энергопотреблению, сравнив их с этими графиками.



<sup>20</sup> Видеопросмотр этого раздела: <https://youtu.be/brSaqo0cV8I?t=3362>



**Подсказка:** Чтобы увидеть график спроса на энергию по группам топлива выше, выберите **Спрос: Energy Demand Final Units** и выберите топливо в выпадающем меню правой легенды, а затем установите флажок **Fuel Groups** в меню над графиком.

**Совет:** чтобы увидеть версию Freedonia, соответствующую результатам, показанным здесь, сначала откройте стандартную область Freedonia в LEAP, затем используйте **Area: Revert to Version** и выберите версию 2.4.0.

*Подумайте о функциональности LEAP для разработки анализа спроса в вашей стране и постарайтесь ответить на следующие вопросы:*

1. *В каких еще ситуациях может быть удобно применять полезные методы анализа энергии?*
2. *Какие проблемы могут возникнуть при применении полезных методов энергетического анализа в вашей стране?*

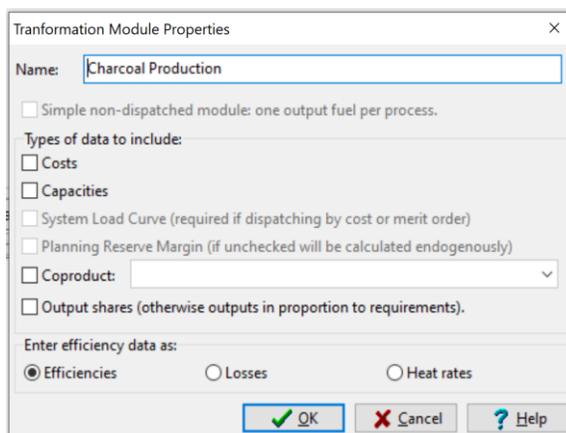
### 3 Трансформация



В этом третьем упражнении вы продолжите разработку упрощенного набора данных "Трансформация", который вы создали в упражнении 1. В этом упражнении вы добавите новые модули для изучения производства древесного угля, нефтепереработки и добычи угля.

#### 3.1 Производство древесного угля

<sup>21</sup> Древесный уголь не импортируется и не экспортируется. Весь он производится путем переработки дров. В настоящее время весь древесный уголь в Фридонии производится с помощью традиционных земляных насыпей. Их эффективность (в энергетическом отношении) составляет около 20%. В будущем ожидается появление более эффективных печей "кирпичных ульев". Они имеют эффективность преобразования 47%. Ожидается, что они будут использоваться для удовлетворения 5% от общего спроса на древесный уголь к2020 ... 20% от спроса на древесный уголь к 2040....



**Подсказка:** Создайте стандартный (т.е. не простой) модуль и выберите опцию ввода данных об эффективности в виде КПД (для соответствия данным выше).

#### 3.2 Производство электроэнергии

<sup>22</sup> С добавлением дополнительных секторов спроса в Упражнении 2, спрос на производство электроэнергии увеличивается в три раза и составляет около 16 200 ГВтч. Таким образом, теперь вам необходимо определить более крупную и реалистичную систему производства электроэнергии, чтобы удовлетворить дополнительный спрос на электроэнергию. Измените данные, которые вы ввели в упражнении 1 в разделе Текущие операции для модуля Генерация электроэнергии, чтобы они соответствовали приведенным ниже:

Тип растения	Год 2010 Мощность (МВт)	Базовый год Выход (% от ГВтч)
Существующая гидроэнергетика	1,000	34%
Существующий угольный пар	2,500	44%
Существующая турбина для сжигания нефти	2,000	22%

<sup>21</sup> Видеопросмотр этого раздела: <https://youtu.be/MwIqXQW1t8E?t=47>

<sup>22</sup> Видеопросмотр этого раздела: <https://youtu.be/MwIqXQW1t8E?t=348>

<b>Всего</b>	<b>5,500</b>	<b>100% (16 200 ГВтч)</b>
--------------	--------------	---------------------------

Кроме того, в базовом сценарии предположим, что мощность "Существующих угольных паровых станций" уменьшится: 1 500 МВт будут выведены из эксплуатации в 2020 году, а оставшиеся мощности будут выведены из эксплуатации в 2030 году. Это можно ввести в переменную **Exogenous Capacity** в сценарии *Baseline*, используя выражение *Step* следующим образом:

**Step(2020, 1000, 2030, 0)**

### 3.3 Переработка нефти

<sup>23</sup> В 2010 году нефтеперерабатывающие заводы Фридонии могли перерабатывать 6 миллионов тонн сырой нефти<sup>24</sup>. Эффективность нефтеперерабатывающих заводов (на энергетической основе) составляла около 59%. В настоящее время планов по увеличению нефтеперерабатывающих мощностей нет.

Нефтеперерабатывающие заводы используют только одно сырье - сырую нефть, и производят семь видов продукции: бензин, газ, керосин, дизельное топливо, мазут, СУГ и смазочные материалы. Нефтеперерабатывающие заводы могут эксплуатироваться с достаточной гибкостью, чтобы смесь продуктов нефтепереработки соответствовала смеси потребностей в этих продуктах. Любые нефтепродукты, которые не могут быть произведены на НПЗ, импортируются в Фридонию.

Чтобы настроить переработку нефти в LEAP, сначала создайте новый модуль под названием "Переработка нефти" и установите его свойства как стандартного модуля, включающего данные о мощности. Оставьте все остальные флажки не отмеченными. После создания модуля добавьте один процесс, чтобы представить всю нефтепереработку Фридонии. В разделе Текущие операции установите **правило диспетчеризации** для этого процесса на *PercentShare*. Также установите переменную **First Simulation Year** в *BaseYear* и убедитесь, что **доля процесса** равна 100.

### 3.4 Добыча угля

<sup>25</sup> Весь добываемый во Фридонии уголь - битуминозный. В базовом году угольные шахты страны добывали миллион 3.41 тонн угля, мощность добычи составляла 6 миллионов тонн, а эффективность добычи угля (включая обогатительные фабрики) составляла 80%.

Базовый сценарий предполагает, что мощности по добыче угля будут расти, достигнув 14 млн. тонн к 2020, и 23 млн. тонн к 2040. Предполагается, что мощности шахт будут линейно увеличиваться в годы между этими годами. Несмотря на эту программу расширения, ожидается, что примерно после 2030 года для удовлетворения внутренних потребностей потребуется импорт угля, но не из-за ограниченности ресурсов, а потому, что мощности шахт не смогут расширяться так же быстро, как растет спрос на уголь.

***Подсказка:** Известные мощности должны быть введены в переменную "Экзогенные мощности". Импорт угля не должен вводиться как мощность, вместо этого он регулируется переменными в ветви "Добыча угля\Выходное топливо". Убедитесь, что **правило дефицита***

---

<sup>23</sup> Видеопросмотр этого раздела: <https://youtu.be/MwIqXQW1t8E?t=581>

<sup>24</sup> Примечание: вы ограничены вводом данных о мощности в энергетических единицах (т.е. тоннах нефтяного эквивалента в год). Для целей данного упражнения считайте, что 1 тонна сырой нефти = 1 т.н.э.

<sup>25</sup> Видеопросмотр этого раздела: <https://youtu.be/MwIqXQW1t8E?t=871>

*установлено на Импорт для удовлетворения дефицита, чтобы удовлетворить требования моделирования, описанные выше.*

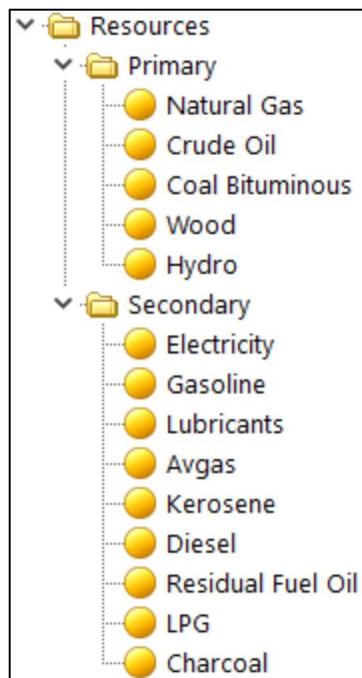
### 3.5 Ресурсы

<sup>26</sup> Последний шаг при вводе данных - указать, какие первичные ресурсы производятся внутри страны, а какие необходимо импортировать. В LEAP вы можете указать запасы ископаемых видов топлива на базовый год и максимальный доступный годовой выход возобновляемых видов энергии, таких как гидроэнергия. Если вы не укажете иное, LEAP будет считать, что любые ресурсы, недоступные внутри страны, импортируются.

Данные о ресурсах хранятся в ветвях "Ресурсы". Обратите внимание, что для каждого вида топлива, используемого в наборе данных Freedomia, указана одна ветвь. Эти ветви обновляются автоматически по мере редактирования остальной части структуры дерева в LEAP. Вы не можете добавлять или удалять ветви в ресурсной части дерева.

В Фридонии единственными отечественными энергоресурсами являются уголь, гидроэнергия и биомасса (древесина). Все ресурсы природного газа и нефти приходится импортировать. Подробных данных о ресурсной базе угля, гидроэнергии и биомассы пока нет, поэтому в данном анализе предполагается, что эти ресурсы практически неограниченны.

Чтобы отразить это в LEAP, перейдите в ветви "Ресурсы" и введите запасы базового года (для угля) и урожайность (для древесины и гидроэнергии) в *неограниченном количестве* ГДж для каждого. Введите нули для запасов сырой нефти и природного газа. Обратите внимание, что по определению вам не нужно вводить данные о наличии ресурсов для любого из вторичных видов топлива.



<sup>26</sup> Видеопросмотр этого раздела: <https://youtu.be/MwIqXQW1t8E?t=1256>

### 3.6 Просмотр результатов



Переключитесь на **представление энергетического баланса** и сверьте энергетические балансы базового и конечного года со следующими таблицами:

#### Энергетический баланс Фридонии в 2010 году (млн. ГДж)

	Solid Fuels	Natural Gas	Crude Oil	Hydropower	Biomass	Electricity	Oil Products	Total
Production	124.9	-	-	19.8	81.3	-	-	226.1
Imports	-	3.5	183.6	-	-	-	-	187.1
Exports	0.0	-	-	-	-	0.0	-	0.0
<b>Total Primary Supply</b>	<b>124.9</b>	<b>3.5</b>	<b>183.6</b>	<b>19.8</b>	<b>81.3</b>	<b>0.0</b>	<b>-</b>	<b>413.2</b>
Coal Mining	-25.0	-	-	-	-	-	-	-25.0
Oil Refining	-	-	-183.6	-	-	-	174.4	-9.2
Charcoal Production	-	-	-	-	-32.2	-	-	-32.2
Electricity Generation	-85.5	-	-	-19.8	-	58.3	-51.3	-98.4
Transmission and Distribution	-	-0.1	-	-	-	-8.7	-	-8.8
<b>Total Transformation</b>	<b>-110.5</b>	<b>-0.1</b>	<b>-183.6</b>	<b>-19.8</b>	<b>-32.2</b>	<b>49.6</b>	<b>123.1</b>	<b>-173.6</b>
Household	-	3.4	-	-	33.1	18.3	13.0	67.8
Industry	14.4	-	-	-	16.0	20.2	21.6	72.2
Transport	-	-	-	-	-	1.1	78.6	79.6
Commercial	-	-	-	-	-	10.0	10.0	20.0
<b>Total Demand</b>	<b>14.4</b>	<b>3.4</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>49.1</b>	<b>49.6</b>	<b>123.1</b>	<b>239.6</b>

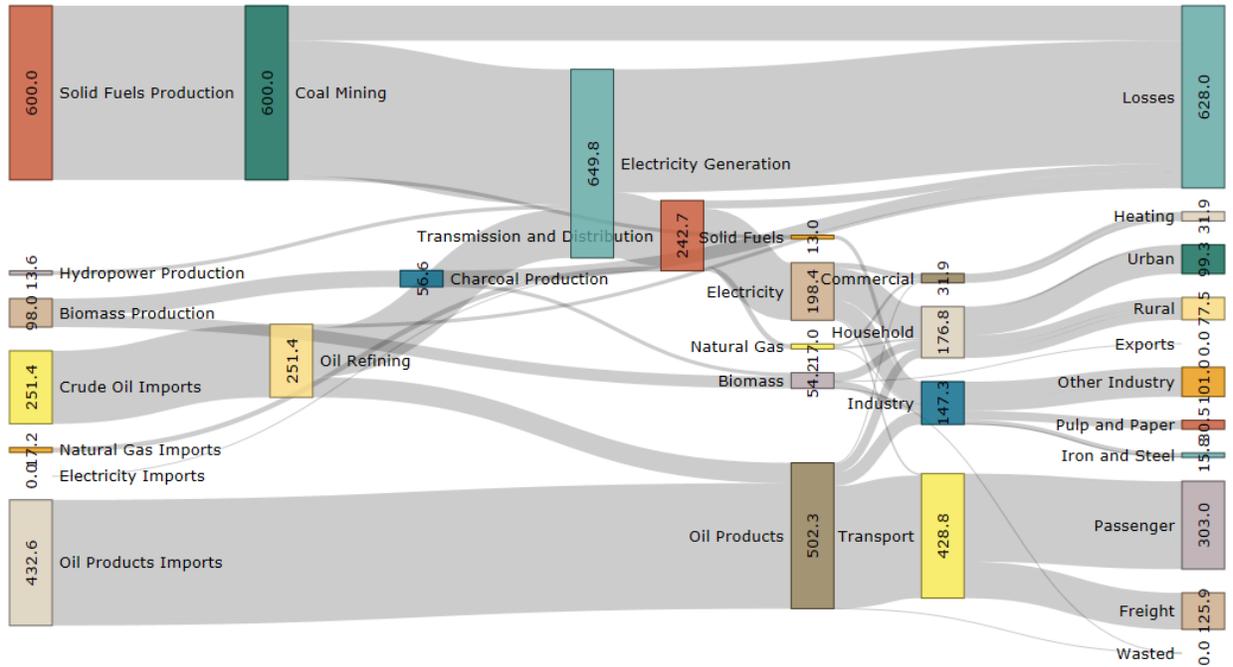
#### Базовый сценарий Энергетический баланс Фридонии в 2040 году (млн. ГДж)

	Solid Fuels	Natural Gas	Crude Oil	Hydropower	Biomass	Electricity	Oil Products	Total
Production	600.0	-	-	13.6	98.0	-	-	711.7
Imports	-	17.2	251.4	-	-	-	432.6	701.2
Exports	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Total Primary Supply</b>	<b>600.0</b>	<b>17.2</b>	<b>251.4</b>	<b>13.6</b>	<b>98.0</b>	<b>-</b>	<b>432.6</b>	<b>1,412.9</b>
Coal Mining	-120.0	-	-	-	-	-	-	-120.0
Oil Refining	-	-	-251.4	-	-	-	238.9	-12.6
Charcoal Production	-	-	-	-	-43.8	-	-	-43.8
Electricity Generation	-467.0	-	-	-13.6	-	225.5	-169.1	-424.3
Transmission and Distribution	-	-0.3	-	-	-	-27.1	-	-27.3
<b>Total Transformation</b>	<b>-587.0</b>	<b>-0.3</b>	<b>-251.4</b>	<b>-13.6</b>	<b>-43.8</b>	<b>198.4</b>	<b>69.7</b>	<b>-628.0</b>
Household	-	6.9	-	-	30.2	109.6	30.1	176.8
Industry	13.0	1.3	-	-	24.0	63.6	45.5	147.3
Transport	-	-	-	-	-	6.1	422.8	428.8
Commercial	-	8.7	-	-	-	19.3	3.9	31.9
<b>Total Demand</b>	<b>13.0</b>	<b>17.0</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>54.2</b>	<b>198.4</b>	<b>502.3</b>	<b>784.8</b>

**Подсказка:** Если ваш энергетический баланс кажется неправильным, устраните неполадки в спросе и текущих операциях (в данном случае 2010), прежде чем устранять ошибки в сценариях. Некоторые другие советы по устранению неполадок энергетического баланса включают:

1. Если значение потребностей в энергии (независимо от того, импортируется/экспортируется/производится внутри страны) не совпадает с результатами, полезно проследить свои результаты, чтобы понять, можете ли вы локализовать, какие ветви спроса, трансформации и ресурсов функционируют не так, как вы ожидаете.
2. Если потребности в энергии кажутся правильными, но импорт, экспорт и/или внутреннее производство кажутся неправильными, то возможно, что числа были введены правильно, но свойства ветви установлены неправильно. Вот некоторые моменты, которые следует проверить:
  - Проверьте выходные свойства каждого модуля трансформации. Это можно найти в **Analysis View**, в папке "Output Fuels" в каждом модуле трансформации (например, Transformation\Oil Refining\Output Fuels). Проверьте переменные **Import Target** и **Export Target**, чтобы убедиться, что они имеют смысл.
  - Проверьте переменные "**Запасы базового года**" и "**Урожайность**" в ветви "Ресурсы", чтобы убедиться, что у вас достаточно первичных и вторичных ресурсов для производства ресурсов и энергии внутри страны.
  - Проверьте переменные импорта и экспорта в ветке Первичные и вторичные ресурсы. Эти переменные добавляют дополнительный импорт и экспорт для ресурсов, которые еще не были указаны в качестве выходов одного или нескольких модулей трансформации.

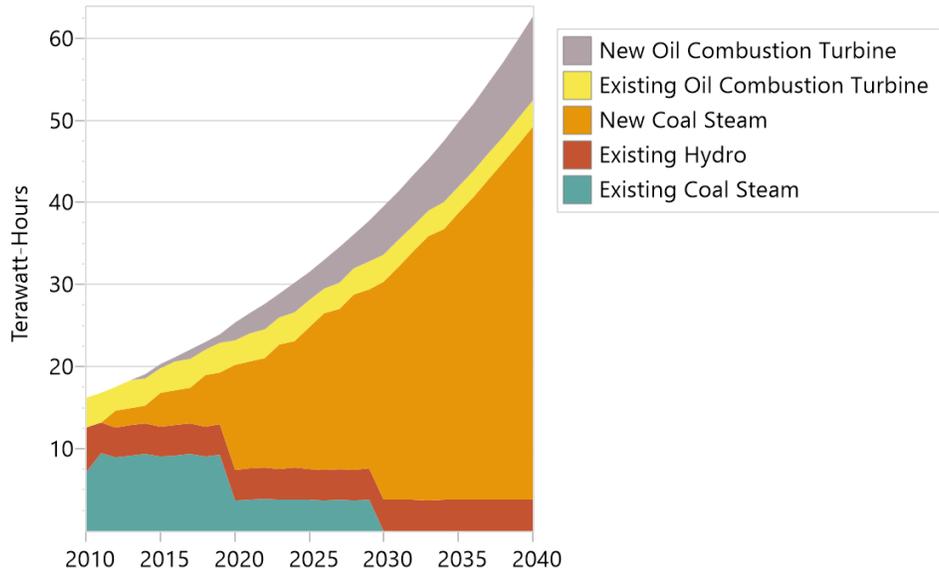
В представлении энергетического баланса переключитесь с отображения таблицы на отображение диаграммы Санки для 2040 года. Эта диаграмма представляет собой изображение потоков через различные элементы вашей энергетической системы.





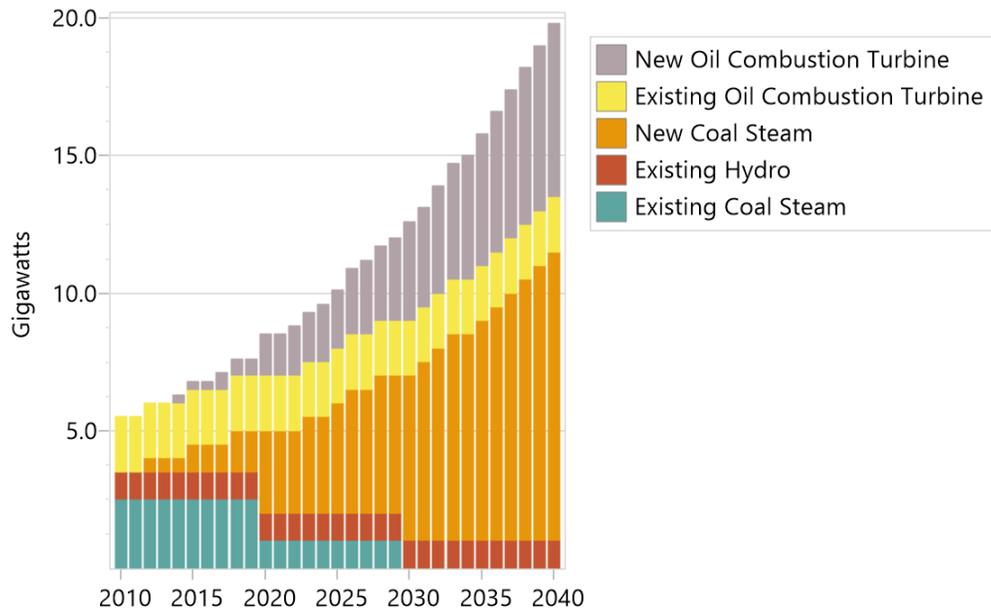
Теперь переключитесь в режим просмотра результатов и сравните свои результаты с графиками, показанными ниже.

### Выработка электроэнергии: Базовый сценарий (ТВтч)



Примечания: Базовый год = 16,2 ТВтч, 4200 = 62,6 ТВтч

### Мощности по производству электроэнергии: Базовый сценарий (ГВт)



Примечания: Базовый год = 5,5 ГВт, 2040 год = 19,8 ГВт

**Совет:** чтобы увидеть версию Freedonia, соответствующую результатам, показанным здесь, сначала откройте стандартную область Freedonia в LEAP, затем используйте **Area: Revert to Version** и выберите версию 3.6.0.

*Изучите различные результаты в LEAP и постарайтесь ответить на следующие вопросы:*

- 1. В каком году нефтеперерабатывающие и угольные заводы достигают своей максимальной мощности?*
- 2. Если предположить, что дополнительные потребности покрываются за счет импорта, каков прогноз общего объема импорта нефтепродуктов в 2040 году (в миллионах тонн нефтяного эквивалента)?*

## 4 Анализ затрат и выгод

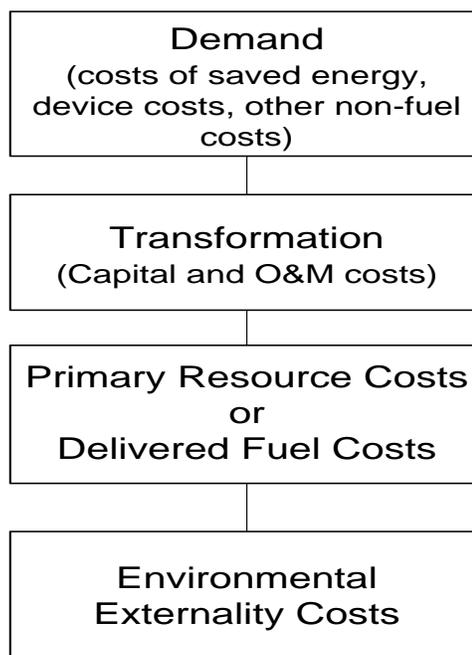
В этом упражнении вы собираетесь ввести данные для описания затрат на различные технологии спроса и предложения. Затем вы будете использовать LEAP для проведения комплексного анализа затрат и выгод различных политических сценариев.

Убедитесь, что вы начинаете с набора данных, в котором есть все данные, введенные в Упражнении 3.

### 4.1 Анализ затрат и выгод в LEAP: Краткое введение

<sup>27</sup> LEAP выполняет расчеты затрат и выгод с точки зрения общества, сравнивая затраты на любые два сценария политики. LEAP может включать все следующие элементы затрат:

- Затраты на спрос, капитальные затраты, затраты на эксплуатацию и техническое обслуживание, выраженные в виде общих затрат, затрат на каждый вид деятельности или затрат на экономию энергии по сравнению с некоторым сценарием,
- Капитальные затраты на преобразование,
- Трансформация постоянных и переменных затрат на эксплуатацию и техническое обслуживание,
- Затраты на ресурсы коренных народов,
- Затраты на импортное топливо,
- Преимущества экспортируемого топлива,
- Внешние издержки от выбросов загрязняющих веществ,
- Прочие различные затраты, определяемые пользователем, например, затраты на администрирование программы повышения эффективности.



Для настройки анализа затрат в LEAP сначала необходимо провести последовательную границу вокруг вашей системы, чтобы LEAP не вел двойной учет затрат и выгод. Например, если вы учитываете затраты на топливо, используемое для выработки электроэнергии, вы не должны также учитывать стоимость электроэнергии в общем расчете затрат и выгод.

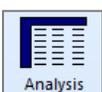
Если вы еще не сделали этого, включите калькуляцию затрат, перейдя на вкладку **Score & Scale** экрана **Settings** и включив **Costs**. Теперь перейдите на вкладку Калькуляция затрат и выберите границу, которая будет проведена вокруг

<sup>27</sup> Видеопросмотр этого раздела: <https://youtu.be/au99KzpHmio?t=56>

системы для целей калькуляции затрат. Для данного упражнения в качестве границы следует выбрать *Полную энергетическую систему*, что означает, что затраты на топливо учитываются только при его импорте или экспорте или при добыче собственного топлива в качестве первичных ресурсов. Установите *ставку дисконтирования* на 5%.

Теперь вы начнете с построения серии политических сценариев, которые будут анализироваться. Затем вы введете данные о затратах, относящиеся к этим сценариям, включая затраты на спрос, трансформацию и ресурсы. Наконец, вы изучите некоторые результаты расчета затрат, включая общее сравнение затрат и выгод различных сценариев.

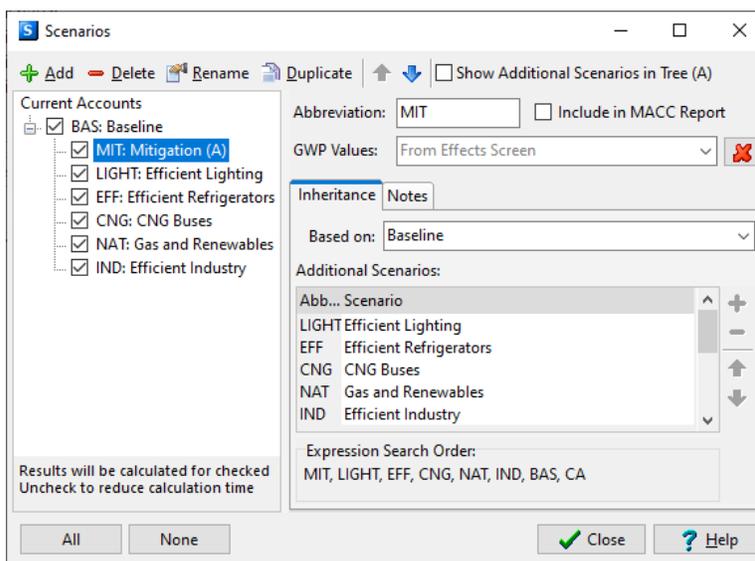
## 4.2 Создание сценариев политики



<sup>28</sup> Перейдите на экран **"Сценарии"** (S) и создайте следующие пять сценариев:

- Эффективное освещение
- Эффективные холодильники
- Автобусы на КПГ
- Природный газ + возобновляемые источники энергии
- Промышленная эффективность

**Подсказка:** Вы можете удалить сценарий DSM, который вы создали в упражнении 1.6



Экран **"Сценарии"** должен выглядеть так, как показано справа. Убедитесь, что каждый из новых сценариев политики создан под сценарием Baseline. Таким образом, сценарии унаследуют выражения, уже введенные для базового сценария.

Наконец, создайте сценарий "Смягчение" в рамках сценария Baseline, который представляет собой комбинацию пяти сценариев политики, перечисленных выше. Используйте вкладку "Наследование", чтобы установить, что этот сценарий также наследует свои выражения от этих пяти сценариев политики.

<sup>28</sup> Видеопроектор этого раздела: <https://youtu.be/au99KzпHmio?t=261>

### 4.3 Ввод данных калькуляции себестоимости

<sup>29</sup> Далее вы введете данные, которые будут использоваться для оценки того, как эти сценарии отличаются от базового сценария.

*В целом, удельные затраты на различные технологии одинаковы для разных сценариев, но сценарии будут различаться по количеству внедренных технологий или количеству потребленного топлива.* Таким образом, сначала необходимо ввести данные о затратах в сценарии "Текущие операции". После этого вы введете данные, описывающие проникновение технологии в различных сценариях политики.

Вы начнете с указания данных о затратах для опций со стороны спроса. В целом, вам необходимо ввести три типа данных, описывающих:

- **Проникновение технологий:** сколько новых (эффективных) типов устройств будет установлено в каждом сценарии политики?
- **Производительность технологии:** насколько эффективны новые устройства?
- **Стоимость технологии:** сколько стоят новые устройства? Вы можете либо указать общую стоимость конкурирующих устройств, используемых в базовом и политическом сценариях, либо просто ввести инкрементную стоимость новых устройств, внедренных в политическом сценарии, по отношению к стоимости устройства, используемого в базовом сценарии.

#### 4.3.1 Сценарий эффективного освещения

*Подсказка: Перед вводом данных создайте новую ветку технологии в папке категории городского освещения для новой эффективной технологии.*

- **Проникновение технологий:** Программа по установке эффективных систем освещения может снизить потребление электроэнергии в городских домохозяйствах, используя компактные флуоресцентные лампы (КФЛ) и другие технологии. Предположим, что программа начнется в 2012 году и сможет охватить 40% всех домохозяйств к 2017 году и 75% к 2040 году. Введите эти данные в сценарий "Эффективное освещение" для переменной "**Уровень активности**".
- **Эффективность технологии:** Можно предположить, что эффективное освещение потребляет только 30% электроэнергии, используемой обычным освещением в городских домохозяйствах. Введите эти данные в сценарий "Текущие операции" для переменной "**Интенсивность**".

<sup>29</sup> Видеопросмотр этого раздела: <https://youtu.be/au99KzpHmio?t=433>

конечной энергии".

- **Стоимость технологии:** Стандартные лампочки стоят 1\$ каждая, но срок их службы составляет всего один год. Эффективные лампочки стоят 6 долларов за штуку, но предполагается, что они будут служить годами 3. Предполагается, что в каждом домохозяйстве есть 5 работающих лампочек. Введите эти данные в сценарий "Текущие операции" для переменной "**Стоимость спроса**". Вы будете вводить данные для каждого домохозяйства, поэтому сначала выберите метод "Стоимость деятельности". Вам также нужно будет использовать функцию *AnnualizedCost*, чтобы указать годовую стоимость как существующей, так и эффективной технологии на домохозяйство в год. Например, годовая стоимость эффективных лампочек для одного домохозяйства будет выглядеть следующим образом:

#### **AnnualizedCost(6\*5, 3)**

Здесь используется стандартная ипотечная формула для ежегодного расчета стоимости на домохозяйство (5 лампочек по \$6 за лампочку) в течение 3-летнего срока службы лампочки. Напишите аналогичную формулу для стандартных/существующих лампочек.

*Подсказка: Мастер функций (Ctrl+F) полезен при вводе аргументов в такие функции, как AnnualizedCost.*

### 4.3.2 Сценарий эффективных холодильников

- **Проникновение технологий:** Правительство рассматривает возможность введения нового стандарта эффективности для холодильников. Предполагается, что все 2025 городских холодильники в стране (не сельские) будут соответствовать новому стандарту 2014.
- **Технологические характеристики:** Стандарт требует, чтобы производители выпускали холодильники со средней энергоемкостью 380 кВт-ч/год.
- **Стоимость технологии:** Стоимость повышения эффективности холодильника до 380 кВт/ч составляет примерно 010 долларов США на холодильник. Срок службы как нынешнего, так и эффективного холодильника составляет около 10 лет. В этом примере у вас есть только данные, описывающие *дополнительные затраты* на новое эффективное устройство. Таким образом, при вводе данных для переменной "**Стоимость спроса**" в сценарии "Текущие операции" вам нужно будет указать нулевую стоимость существующего холодильника, а затем ежегодно увеличивать дополнительные затраты в размере 010 долларов в течение 10-летнего срока службы эффективного холодильника. Возможно, стоит отметить, что для проведения анализа затрат и выгод вам НЕ нужно указывать все затраты по сценарию. Вам нужно только

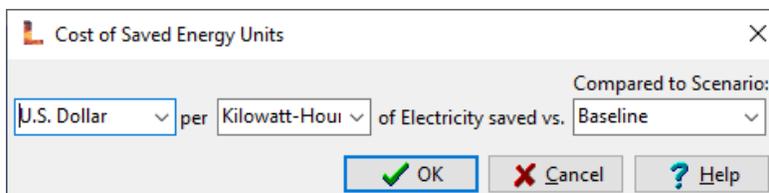
указать, чем затраты по одному сценарию отличаются от затрат по другому.

### 4.3.3 Сценарий энергоэффективности в промышленности

В секторе "Другая промышленность" Фридонии энергия используется в широком спектре различных процессов. Энергетический аудит отдельных отраслей промышленности показал, что потребление энергии может быть снижено с помощью различных мер при средней стоимости около 5 центов за сэкономленный кВт/ч (как для электроэнергии, так и для нефти). Эти меры способны сэкономить до 30% энергии, потребляемой в секторе "Другая промышленность" к 2040.

В отличие от двух предыдущих примеров, для этого типа анализа информация о затратах не доступна в форме, позволяющей подсчитать количество новых устройств, которые будут установлены. Вместо этого вам придется указать затраты, введя стоимость единицы сэкономленной энергии.

В разделе "Текущие операции" выберите переменную "**Стоимость спроса**" для отраслей "Электроэнергия" и "Мазут" в ветке "Другая промышленность". Теперь выберите метод "Стоимость сэкономленной энергии". При выборе этого метода появится диалоговое окно. В нем выберите единицы измерения в *долларах США за сэкономленный киловатт-час по сравнению с базовым сценарием*. Диалоговое окно должно выглядеть так, как показано здесь.



После установки единиц нажмите ОК, а затем введите данные о сэкономленных \$0,05/кВтч. Повторите эти действия для каждого вида топлива.

Теперь выберите сценарий "Промышленная эффективность" и укажите ожидаемую экономию энергии. Один из простых способов сделать это - выбрать переменную **Final Energy Intensity** (указанную в ветке "Other Industry") и затем ввести следующую формулу, которая сообщает LEAP, что энергоемкость будет на 30% меньше, чем в базовом сценарии к 2040:

$$\text{BaselineValue} * \text{Interp}(2010, 1, 2040, 0.7)$$

#### 4.3.4 Сценарий автобусов на КПГ

Переход автобусов с дизельного топлива на КПГ считается хорошим вариантом как для улучшения качества воздуха в густонаселенных и загрязненных городах, так и для снижения выбросов CO.

- **Проникновение технологии:** Автобусы на КПГ могут начать внедряться в 2012. К 2017 году они смогут обеспечить 7% от общего пассажиро-километража автобусов, а к 2040 году этот показатель может достичь 70%.
- **Технологические характеристики:** Автобусы на КПГ, работающие на природном газе, потребляют 0,29 МДж/пассажиро-км: немного меньше, чем конечная энергоемкость дизельных автобусов в базовом году.
- **Стоимость технологии:** США на пассажиро-километр больше, чем у существующих автобусов, но эти затраты ежегодно увеличиваются в течение 15-летнего срока службы автобусов.

#### 4.3.5 Затраты на трансформацию

Ветряные и парогазовые установки (NGCC) будут включены в последний сценарий смягчения последствий. Прежде чем вводить данные о стоимости, необходимо создать новые ветви для обеих технологий и указать их эксплуатационные характеристики. Используйте приведенную ниже таблицу для настройки этого в разделе Текущие операции.

**Эксплуатационные характеристики для будущих объектов электрогенерации**

	Новый ветер	Новый НГКК
Сырье Топливо	Ветер	Природный газ
Правило диспетчера	MeritOrder	MeritOrder
Орден за заслуги	1	1
Первый год моделирования	Первый сценарийГод	Первый сценарийГод
Эффективность процесса [%]	100	55
Максимальная доступность [%]	35	80
Кредит мощности [%] <sup>1</sup>	30	100
Историческое производство [ГВтч]	0	0
Экзогенная мощность [МВт]	0	0
Срок службы [лет]	30	30

<sup>1</sup> Переменная "кредит мощности" учитывает часть мощности, которая фиксируется из-за прерывистости возобновляемых технологий. Это означает, что для всех технологий, кроме ветра, кредит мощности будет равен 100%.

Кроме того, можно предположить, что ресурс ветра неограничен. Перейдите в ветку "Ресурсы" и введите *Unlimited* в качестве годового доступного дохода для ветра.

Каждый из ваших вариантов политики в отношении спроса будет оказывать различное воздействие на размер и работу секторов преобразования. Поэтому, в отличие от вариантов по спросу, где вам нужно было ввести данные о затратах только для описания новых вариантов, которые вы изучали, для трансформации вам нужно указать затраты для всех различных электростанций и видов топлива, которые могут быть затронуты.

Начните с указания капитальных затрат, постоянных и переменных затрат на эксплуатацию и техническое обслуживание различных электростанций в вашей системе. Используйте следующую таблицу для данных, которые вам нужны в LEAP.

#### Затраты на существующие и будущие объекты электроснабжения

	Капитал (\$/кВт)	Фиксированная эксплуатация и обслуживание (\$/кВт)	Переменные эксплуатационные расходы и затраты (\$/МВтч)	Процентная ставка (%)
<b>Существующие заводы</b>				
Существующий угольный пар	1000	40	3.0	5
Существующая гидроэнергетика	2000	0	1.0	5
Существующая турбина для сжигания нефти	400	10	0.7	5
<b>Новые растения</b>				
Новый угольный пар	1000	40	3.0	5
Новая турбина для сжигания нефти	400	10	0.7	5
Новый НГКК	500	10	0.5	5
Новый ветер	800	25	0.0	5

**Важно:** эти затраты НЕ включают расходы на топливо. Затраты на топливо будут рассмотрены ниже, когда вы будете указывать данные о стоимости ресурсов.

#### 4.3.6 Сценарий с использованием природного газа и возобновляемых источников энергии

В базовом сценарии предполагается, что угольные паровые турбины и турбины нефтяного сгорания являются основными типами электростанций, которые будут построены в будущем. Напомним, что эти данные были заданы для переменной **Endogenous Capacity** (расположенной в списке процессов модуля Electric Generation).

В этом политическом сценарии вы вместо этого изучите влияние строительства другого сочетания электростанций в будущем. В этом сценарии будет проанализировано влияние строительства комбинации электростанций на природном газе и ветровых электростанций для базовой нагрузки, а также некоторых нефтяных турбин для удовлетворения потребностей пиковой нагрузки.

Выберите сценарий "Природный газ + возобновляемые источники энергии", а на экране "**Эндогенные мощности**" замените данные базового сценария на следующие:

#### Размеры прироста мощности по сценарию с использованием природного газа и возобновляемых источников энергии

Процесс	Приказ о дополнении	Размер добавки (МВт)
Новый НГКК	1	400
Новая турбина для сжигания нефти	2	200
Новый ветер	3	200

**Подсказка:** Убедитесь, что вы также ввели эти технологии непосредственно в сценарий Mitigation. Вам не нужно добавлять размер дополнения (это значение будет унаследовано), но вам нужно создать структуру с правильным *порядком дополнения*, как указано выше.

#### 4.3.7 Затраты на ресурсы

В разделе "Ресурсы" дерева вы укажете удельные затраты на первичные ресурсы собственного производства и импорта, а также на вторичное топливо. Для ввода этих затрат используйте следующую информацию.

##### Первичные ресурсы (производство и импорт коренного населения):

- Уголь - \$20 за тонну в 2010, повышается до \$30 за тонну в 2040
- Природный газ - \$0,1/м<sup>3</sup> в 2010, увеличился до \$0,2/м<sup>3</sup> в 2040
- Сырая нефть - \$30 за тонну в 2010 году, повышение до \$50 за тонну в 2040

### Вторичные ресурсы (производство и импорт коренного населения):

- Дизельное топливо, бензин, сжиженный нефтяной газ, керосин, мазут, бензин и смазочные материалы - \$300 за тонну в 2010, повышается до \$400 за тонну в 2040
- Цена на электроэнергию здесь не определяется, поскольку вместо этого вы моделируете стоимость электроэнергии на основе исходных затрат на топливо и электростанции.

Введите данные о затратах базового года в разделе "Текущие операции", поскольку во всех сценариях предполагаются одинаковые затраты на единицу продукции. Прогнозы затрат необходимо ввести только один раз, в рамках сценария "Базовый".

Убедитесь, что переменная **стоимости топлива** для каждого из сырьевых видов топлива, связанных с каждым процессом производства электроэнергии, относится к переменным **стоимости КН** в ветвях ресурсов. Например, переменная **стоимости топлива** для исходного топлива "Новая нефтяная турбина сгорания" должна иметь следующее выражение:

**Ресурсы\Средние\Остаточный мазут:коренная стоимость[USD/тонна]**

Это показано на скриншоте ниже:

The screenshot shows the LEAP software interface. On the left is a tree view of the model structure, with 'Residual Fuel Oil' selected under 'Feedstock Fuels'. The main window displays the 'Fuel Cost' variable definition. At the top, it shows 'Branch: All Branches', 'Variable: Fuel Cost', and 'Scenario: Current Accounts'. Below this, there are tabs for 'Feedstock Fuel Share', 'Fuel Cost', 'Environmental Loading', and 'All Variables'. The 'Fuel Cost' tab is active, showing the text: 'Fuel Cost: Used in calculating module cost balance, optimized expansion, and costs of outputs, but not'. Below this is a table with two columns: 'Branch' and 'Expression'. The table contains one entry: 'Residual Fuel Oil' with the expression 'Resources\Secondary\Residual Fuel Oil:Indigenous Cost[USD/Tonne]'.

Branch	Expression
Residual Fuel Oil	Resources\Secondary\Residual Fuel Oil:Indigenous Cost[USD/Tonne]

**Подсказка:** Вы можете добавить этот тип выражения, нажав **Ctrl-B** и воспользовавшись мастером выбора ветви/переменной.

### 4.3.8 Экологические нагрузки

Для точного расчета стоимости предотвращенных выбросов в ваших сценариях, вы должны убедиться, что соответствующие коэффициенты выбросов были назначены везде, где топливо сжигается в LEAP.

Как вы делали в разделе 1.5 добавьте коэффициенты выбросов во все ветви, щелкнув правой кнопкой мыши на дереве и выбрав *Add IPCC Tier 1 Factors to All Branches*, отметив каждую ветвь, для которой вы хотите добавить коэффициенты выбросов. В этом упражнении мы сосредоточимся только на выбросах, связанных с горением - поэтому добавьте коэффициенты выбросов только в ветви "Спрос" и в модуль "Производство электроэнергии". Не следует добавлять коэффициенты выбросов в модули "Передача и распределение", "Производство древесного угля", "Нефтепереработка" или "Добыча угля".

#### 4.4 Результаты оценки затрат и выгод

<sup>30</sup> На экране "Сценарии" вы можете нажать на флажки на дереве, чтобы указать, какие сценарии должны быть рассчитаны. Чтобы сохранить результаты достаточно простыми на начальном этапе, вы можете отметить только базовый сценарий и сценарий смягчения последствий.



В представлении "Суммы" можно отобразить *чистую приведенную стоимость (NPV)* сценария смягчения последствий относительно другого выбранного сценария (в данном случае базового сценария). NPV - это сумма всех дисконтированных затрат и выгод по одному сценарию за вычетом другого (суммирование по всем годам исследования).

Вы должны увидеть результаты, аналогичные приведенным здесь. Заметьте, что они показывают, что со стороны спроса сценарий смягчения обходится дороже, чем базовый сценарий (поскольку здесь вы инвестируете в меры по повышению энергоэффективности), но это несколько компенсируется экономией в модуле преобразования и отсутствием потребности в топливе из-за экономии энергии со стороны спроса. Общая NPV в размере \$1.03 млрд - это то, насколько больше стоит сценарий смягчения последствий по сравнению с базовым сценарием.

#### Совокупные затраты и выгоды по сценарию смягчения последствий, 2010-2040 гг.

Миллиард долларов США 2010 года.  
Дисконтировано на 5,0% к 2010 году, по сравнению с базовым сценарием

Sector	Mitigation
<b>Demand</b>	5.00
Household	0.73
Industry	1.70
Transport	2.56
Commercial	-
<b>Transformation</b>	-3.59
Transmission and Distribution	-
Electricity Generation	-3.59
Charcoal Production	-
Oil Refining	-
Coal Mining	-
<b>Resources</b>	-
Production	-2.48
Imports	2.10
Exports	-
<b>Other Costs</b>	-
Unmet Requirements	-
Environmental Externalities	-
Non Energy Sector Costs	-
<b>Total Net Present Value</b>	1.03
GHG Savings (Mill Tonnes CO <sub>2</sub> e)	474.88
Cost of Avoided GHGs (USD/Tonne CO <sub>2</sub> e)	2.16

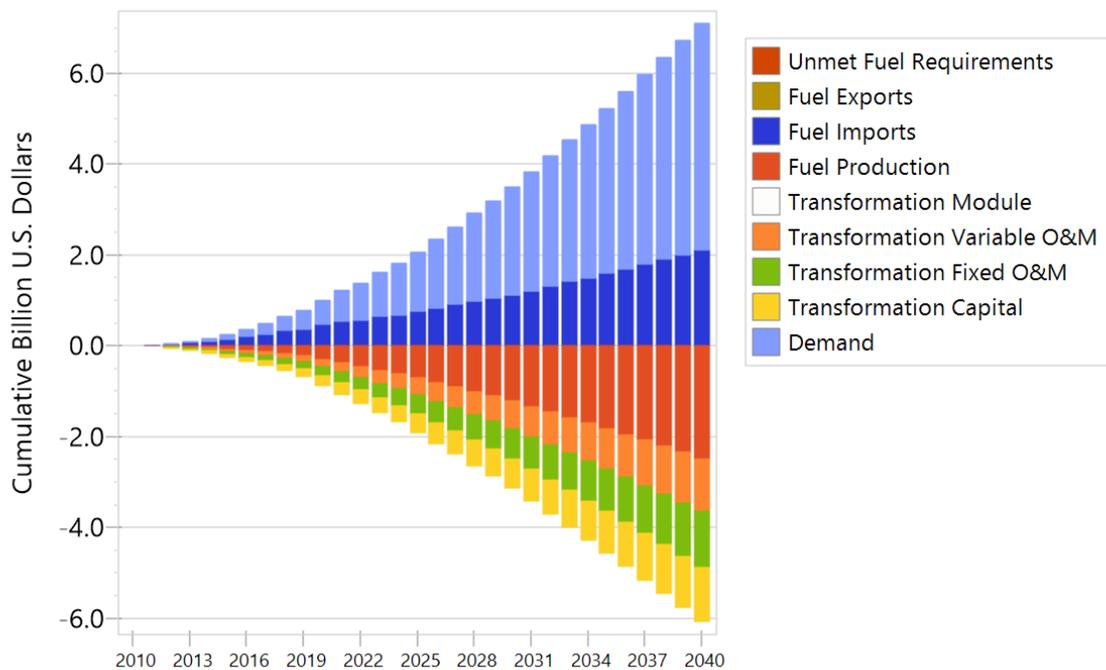
<sup>30</sup> Видеопросмотр этого раздела: <https://youtu.be/au99KzpnHmio?t=3076>

Стоимость предотвращенных выбросов парниковых газов (2.16\$/тонна CO<sub>2</sub>) определяется путем деления NPV на тонны CO<sub>2</sub>, которых удалось избежать.



Вы также можете захотеть просмотреть результаты затрат в графическом виде. Это можно сделать в **представлении результатов**. Выберите верхнюю ветвь дерева и покажите результат **Затраты: Социальные затраты**. В легенде диаграммы покажите *Все затраты*. Часто наиболее полезно просматривать затраты с точки зрения различий по сравнению с базовым сценарием. Например, попробуйте отобразить следующую диаграмму, показывающую приростные кумулятивные дисконтированные затраты в каждый год сценария смягчения последствий по сравнению с базовым сценарием.

**Кумулятивные дисконтированные затраты: Смягчение последствий по сравнению с базовым сценарием**  
(дисконтирование до 2010 года по ставке 5% в год)



Обратите внимание, что сценарий смягчения последствий изменения климата дороже базового сценария с точки зрения затрат со стороны спроса и с точки зрения импорта топлива (эти элементы показаны выше оси X), но это несколько компенсируется экономией капитальных затрат на трансформацию, производство топлива и затрат на эксплуатацию и техническое обслуживание (O&M) (эти элементы показаны как отрицательные значения ниже оси X).

**Совет:** чтобы увидеть версию Freedonia, соответствующую результатам, показанным здесь, сначала откройте стандартную область Freedonia в LEAP, затем используйте **Area: Revert to Version** и выберите версию 4.4.0.

*Изучите результаты по другим сценариям в LEAP и постарайтесь ответить на следующие вопросы:*

- 1. Есть ли отдельные сценарии, которые приводят к снижению затрат по сравнению с базовым?*
- 2. Если анализировать по отдельности, какая мера имеет наибольший потенциал для сокращения выбросов ПГ?*
- 3. Если анализировать по отдельности, какой сценарий имеет самую низкую стоимость предотвращенных выбросов ПГ? И самая высокая? Как вы интерпретируете отрицательную и положительную стоимость?*

## 5 Включая выбросы от неэнергетических источников

LEAP - это в первую очередь инструмент для планирования энергетического сектора и проведения оценок выбросов от энергетического сектора. Однако он также позволяет включать общие выбросы загрязняющих веществ, не относящихся к энергетическому сектору, так что ваша модель может охватить полную инвентаризацию выбросов страны в рамках интерфейса LEAP. В соответствии с руководящими принципами инвентаризации ПГ Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК)<sup>2F31</sup>, эти "неэнергетические" источники включают:

- Промышленные процессы и использование продукции (IPPU),
- Сельское хозяйство, лесное хозяйство и другие виды землепользования (AFOLU),
- Отходы

Часто исторические выбросы загрязняющих веществ из этих неэнергетических секторов определяются вне LEAP с помощью специального программного обеспечения. Прогнозы будущих выбросов также могут быть оценены таким же образом и включены в сценарии LEAP. В любом случае, как только вы решите включить данные о неэнергетических выбросах в LEAP, вы можете использовать все его основные моделирующие и математические функции для выполнения простых расчетов или составления сценарных прогнозов для неэнергетического сектора из самого LEAP.

В этом упражнении вы расширите свою модель Фридонии, включив в нее общие выбросы метана и закиси азота от использования навоза - подкатегории СХЛХДВП. Затем вы также включите выбросы гидрофторуглеродов (ГФУ), возникающие в результате деятельности по охлаждению и кондиционированию воздуха, подкатегории ИППУ. Наконец, вы создадите новый сценарий, чтобы показать, как в LEAP можно смоделировать получение электроэнергии из биогаза в метантенке для сбраживания сельскохозяйственных отходов, что влияет на выбросы как в энергетическом секторе (возникающие от энергетического сектора), так и в неэнергетическом секторе (возникающие от сельского хозяйства).

---

<sup>31</sup> IPCC 2006, 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Программа инвентаризации парниковых газов, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds).

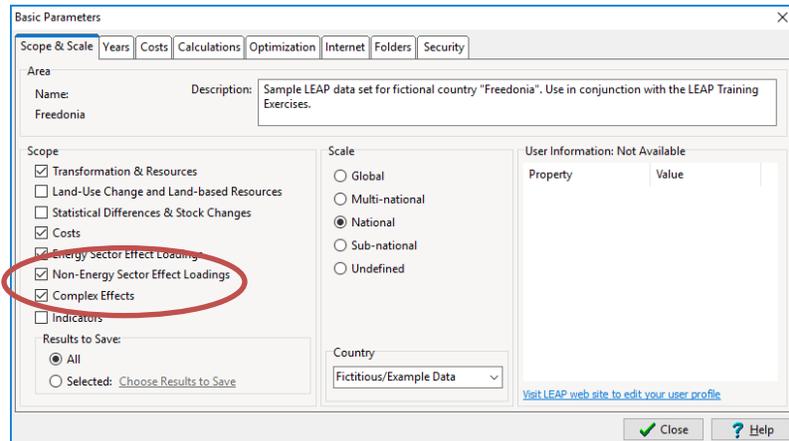
Опубликовано: IGES, Япония.

## 5.1 Текущие операции



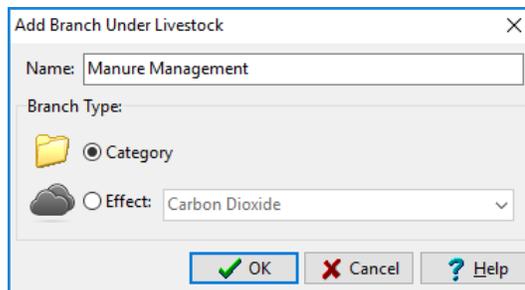
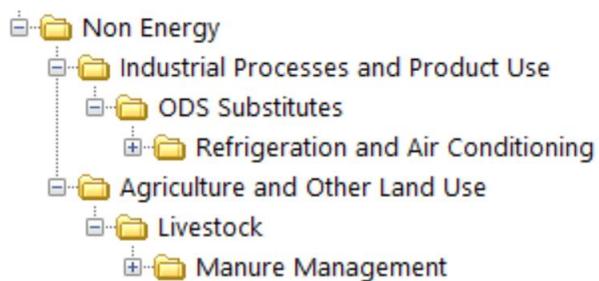
32 Начните с включения опций "Нагрузки

эффектов неэнергетического сектора" и "Комплексные эффекты" в **Настройках**. Затем вы увидите новую ветвь категории под названием "Неэнергетический сектор" в нижней части дерева. Для данного упражнения необходимы обе опции, поскольку LEAP классифицирует ГФУ как комплексные эффекты, которые включаются отдельно.



<sup>32</sup> Видеопросмотр этого раздела: <https://youtu.be/tHD3TifBhAk?t=71>

В рамках категории "Неэнергетика" вы можете выбрать любую структуру ветвей, которая соответствует вашим потребностям. Для ясности рекомендуется использовать те же названия категорий, которые указаны в руководстве по инвентаризации МГЭИК. Используйте кнопку для  повторного создания структуры ветвей, показанной ниже, выбрав *категорию* на появившемся экране.

2	Промышленные процессы и использование продукции
2.F	Использование продуктов в качестве заменителей озоноразрушающих веществ (ОПВ)
2.F.1	Охлаждение и кондиционирование воздуха
3	Сельское хозяйство, лесное хозяйство и другие виды землепользования
3.A	Животноводство
3.A.2	Использование навоза

Соответствующие категории кадастра МГЭИК показаны справа от древовидной структуры, чтобы подчеркнуть их совместимость. Чтобы сделать это упражнение кратким, мы включим только выбросы из категорий кадастра МГЭИК 2.F.1 и 3.A.2.

### 5.1.1 ГФУ из холодильного оборудования и кондиционеров воздуха

<sup>33</sup> Исторические данные Freedonia о выбросах ГФУ из категории 2.F.1 содержатся в сопроводительном документе Microsoft Excel под названием "HFC\_Emissions.xlsx", который можно найти в папке *LEAP Areas\Freedonia* на вашем компьютере. В ветви дерева "Охлаждение и кондиционирование воздуха" используйте кнопку для  добавления восьми ветвей (выбрав *Effect* в появившемся окне), каждая из которых представляет выбросы различных соединений ГФУ, найденных в сопроводительной рабочей книге.

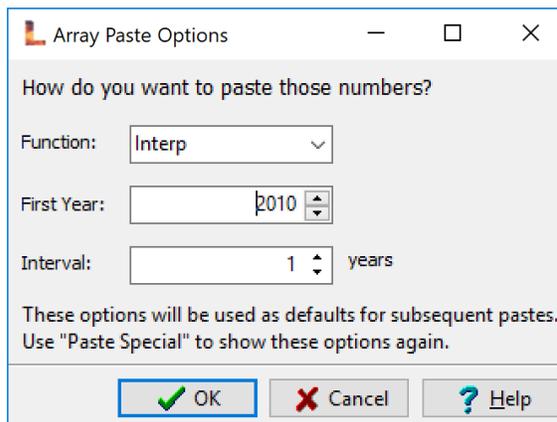
**Подсказка:** При добавлении этих ветвей, если вы сначала выберете эффект из меню списка, то LEAP автоматически присвоит имя ветви на основе названия эффекта.

Регулярный аудит выбросов ГФУ из холодильников и кондиционеров во Фридонии означает, что ежегодные инвентаризации этих загрязнителей доступны вплоть до 2000 года. Иногда бывает полезно включить в LEAP большой объем исторических данных за столько лет, сколько имеется. Поэтому мы воспользуемся этой возможностью, чтобы узнать, как быстро и легко ввести

<sup>33</sup> Видеопросмотр этого раздела: <https://youtu.be/tHD3TifBhAk?t=369>

временной ряд данных из Excel в LEAP. Для этого выполните следующие шаги.

1. **Скопируйте исходные данные из Excel.** Просматривая документ "HFC\_Emissions.xlsx", выделите весь диапазон ячеек, содержащих исторические выбросы ГФУ-23 (фтороформа). Скопируйте диапазон в буфер обмена, либо щелкнув правой кнопкой мыши и выбрав "Копировать", либо используя **Ctrl-C**.
2. **Вставьте данные в LEAP.** Вернитесь в LEAP и поместите курсор мыши в переменную **Non Energy Effect Loading** для ветви HFC-23 и нажмите **Ctrl-V**, чтобы вставить данные. Вы увидите экран, показанный справа.



LEAP распознает, что ваш буфер обмена содержит информацию из диапазона Excel, и догадается, что числа в этом диапазоне содержат данные временного ряда. Это окно поможет вам вставить эти данные в качестве аргументов в функцию LEAP. Выберите функцию LEAP *Interp* в первом окне и измените *First Year* на 2000, поскольку ваши данные начинаются в 2000 году. Поскольку ваши исторические данные разделены одним годом, оставьте параметр *Интервал* без изменений.

3. **Завершите работу.** Нажмите OK, и LEAP запишет в переменную следующую функцию:

**Interp(2000, 14.3, 2001, 15.4, 2002, 15.9, 2003, 16.9, 2004, 18.2, 2005, 19, 2006, 19.7, 2007, 21, 2008, 21.6, 2009, 22.8, 2010, 23.9).**

Повторите этот процесс для всех других соединений ГФУ.

**Примечание:** Значения за годы, предшествующие базовому году, не отображаются ни в одном из графиков LEAP. Однако они все равно могут быть включены в выражения и удобно сохраняться в модели, если вы решите изменить базовый год на более ранний.

### 5.1.2 Метан и закись азота при использовании навоза

<sup>34</sup>В разделе "Использование навоза" с помощью повтора<sup>+</sup> добавьте две ветви, представляющие выбросы метана и закиси азота, обнаруженные в категории 3.A.2. В 2010 году 65 миллионов голов скота во Фридонии состояли в основном

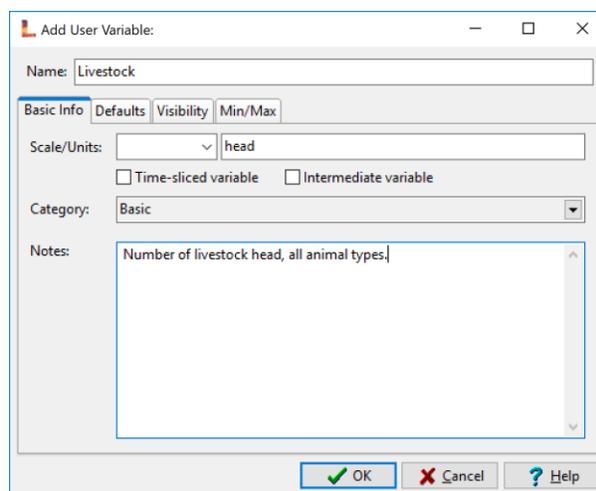
<sup>34</sup> Видеопросмотр этого раздела: <https://youtu.be/tHD3TifBhAk?t=653>

из домашней птицы, а также из смеси крупного рогатого скота, свиней и других животных. На фермах применялся целый ряд различных методов утилизации навоза. В среднем, навоз от этих животных выбрасывал 0,07 кг CH<sub>4</sub> и 0,1 кг zNO в год на каждую голову скота<sup>35</sup>.

В этом упражнении годовые выбросы каждого ПГ могут быть рассчитаны путем умножения количества скота на средний коэффициент выбросов. Если мы хотим выполнить это умножение в LEAP, мы можем создать специальную определяемую пользователем переменную для хранения нашего предположения об общем количестве скота. Для этого выполните следующие шаги. Существует множество различных вариантов конфигурации при настройке определяемых пользователем переменных. Если это не описано в шагах ниже, вы можете игнорировать эти дополнительные опции, оставив их в настройках по умолчанию.

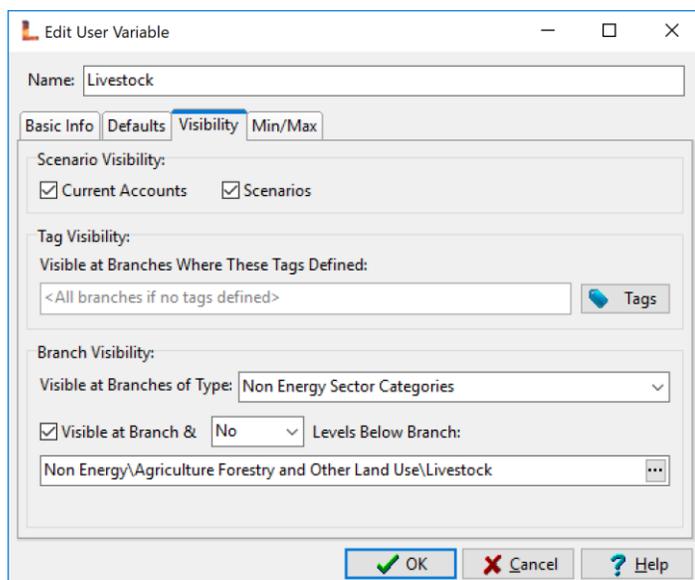
**1. Откройте Менеджер пользовательских переменных.** В главном меню выберите Анализ: Переменные пользователя. Используйте кнопку *Добавить* , чтобы добавить новую пользовательскую переменную.

**2. Настройте основную информацию для вашей переменной.** Дайте вашей переменной имя, например "Животноводство". На вкладке Основная информация введите название единицы измерения в поле *Шкала/Единицы* и введите краткое описание переменной в разделе *Примечания*. Пример экрана показан справа.



**3. Настройте видимость переменной.** На вкладке "Видимость" используйте раздел *"Видимость ветви"* для управления тем, где переменная появляется в дереве. Настройте экран так, чтобы переменная отображалась в ветвях типа *"Категории неэнергетического сектора"*, в ветви под названием "Неэнергетика\Сельское хозяйство\Лесное хозяйство и другие виды землепользования\Животноводство" и без ветвей под ней. После завершения работы ваш экран должен выглядеть следующим образом:

<sup>35</sup> Годовые выбросы метана и закиси азота сильно различаются у разных видов скота. Кроме того, способ переработки навоза (в анаэробном отстойнике, на сухом участке, пастбище и т.д.), климат и другие факторы влияют на годовое производство этих газов. Для упрощения данной работы мы приводим только средний коэффициент выбросов для навоза всех животных.



Нажмите ОК, а затем закройте окно User Variables Manager.

Теперь вы должны увидеть новую переменную **Livestock**, когда вы нажмете на ветвь Non Energy\Agriculture Forestry and Other Land Use\Livestock. Используйте ее для включения количества скота во Фридонии за базовый год.

Наконец, запишите выражение в каждую из ветвей "Эффект метана" и "Эффект закиси азота" для расчета общего объема годовых выбросов в текущих операциях.

***Подсказка:** умножьте средний коэффициент выбросов, представленный ранее, на количество скота, создав при необходимости ссылку на переменную **Livestock**. Например, переменная **Non Energy Effect Loading** для метана должна содержать следующее выражение:*

**0,07 \* Неэнергетика\Сельское хозяйство Лесное хозяйство и другие виды землепользования\Животноводство: Животноводство [голов]**

## 5.2 Базовый сценарий

<sup>36</sup> В базовый сценарий мы включим два простых предположения, которые связывают изменения в неэнергетических выбросах с ключевыми предположениями, которые мы уже создали.

Ожидается, что деятельность по охлаждению и кондиционированию воздуха будет увеличиваться с ростом доходов, а вместе с ними и выбросы ГФУ. Для

<sup>36</sup> Видеопросмотр этого раздела: <https://youtu.be/tHD3TifBhAk?t=1013>

всех выбросов ГФУ от охлаждения и кондиционирования воздуха введите выражение  $GrowthAs(KeyIncome)$  в переменную **нагрузки неэнергетического эффекта**.

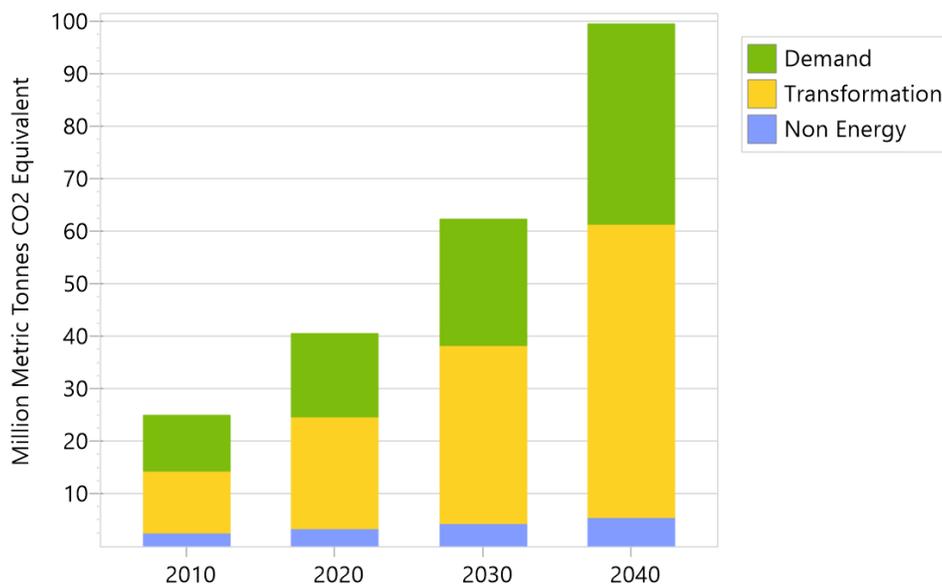
Если рацион питания фридонцев не изменится, то можно ожидать, что количество голов скота будет расти с той же скоростью, что и население страны. Используя переменную **Livestock**, введите выражение, аналогичное приведенному выше, которое увеличивает количество скота с той же скоростью, что и население.

## 5.2.1 Просмотр результатов

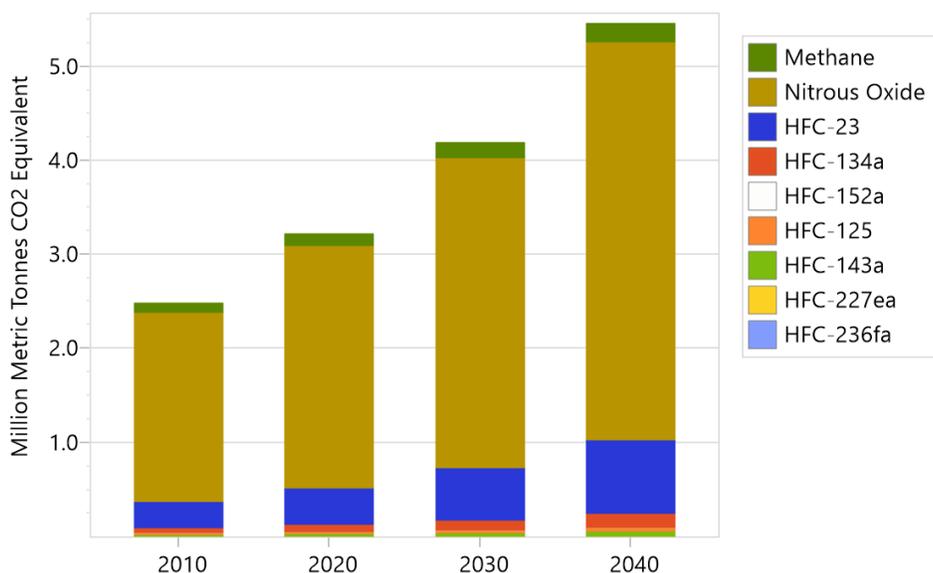


Переключитесь на **представление результатов** и изучите результат **"Окружающая среда": 100-летний ПГП: прямой (в месте выброса)**. Сравните свои результаты с показанными ниже.

### Столетний потенциал глобального потепления, базовый сценарий, все парниковые газы



### Столетний потенциал глобального потепления, базовый сценарий, только неэнергетические выбросы



**Совет:** чтобы увидеть версию Freedonia, соответствующую результатам, показанным здесь, сначала откройте стандартную область Freedonia в LEAP, затем используйте **Area: Revert to Version** и выберите версию 5.2.1.

### 5.3 Политический сценарий: Переваривание отходов животноводства для выработки электроэнергии

<sup>37</sup> Для создания источника натуральных удобрений и сокращения выбросов парниковых газов правительство Фридонии рассматривает проект строительства небольшой электростанции, которая использует биогаз, содержащий метан, для производства электроэнергии.

Сначала добавьте новый процесс в модуль "Выработка электроэнергии" под названием "Сбраживание отходов животноводства". Технические и стоимостные параметры для этой технологии приведены в таблице ниже (оставьте все остальные параметры на значениях по умолчанию). Обязательно введите их в разделе "Текущие операции".

Технические параметры	
Сырье Топливо	Биогаз
Правило диспетчера	FullCapacity
Эффективность процесса [%]	30
Максимальная доступность [%]	85
Параметры стоимости	
Капитальные затраты (\$/кВт)	5800
Переменные затраты на эксплуатацию и ремонт (\$/МВтч)	5
Фиксированные затраты на эксплуатацию и ремонт (\$/кВт)	150

Вам также потребуется включить набор коэффициентов выбросов для сжигания биогаза в генераторе. Используя ветви *Effect* под топливом процесса,  добавьте каждый из загрязняющих веществ из приведенной ниже таблицы.

Загрязняющее вещество	Коэффициент выбросов (кг/ТДж)
Диоксид углерода Биогенный	54600
Угарный газ	2.5
Метан	1
Нематановые летучие органические соединения	5.6
Оксиды азота	20
Оксид азота	0.1
Диоксид серы	4

<sup>37</sup> Видеопросмотр этого раздела: <https://youtu.be/tHD3TifBhAk?t=1312>

Перейдите в раздел **Сценарии** () , чтобы создать новый сценарий, который наследуется от базового сценария и называется "Переваривание отходов животноводства". Этот сценарий характеризуется двумя изменениями:

- Коммунальное предприятие во Фридонии построит биогазовый генератор в рамках пилотного проекта мощностью 30 МВт, который планируется завершить в 2021 году.
- На каждый гигаджоуль энергии, потребляемой биогазогенератором, ежегодно предотвращается 1,14 кг метана и 1,39 кг выбросов закиси азота в результате практики использования навоза.

*Подсказка: В новом сценарии скорректируйте базовые неэнергетические выбросы, вычтя предотвращенное количество, рассчитанное с помощью следующего выражения LEAP4F:* <sup>38</sup>

**BaselineValue - (Трансформация\Генерация  
электроэнергии\Процессы\Биогаз:Входы[ГДж] \* 1.14)**

### 5.3.1 Просмотр результатов

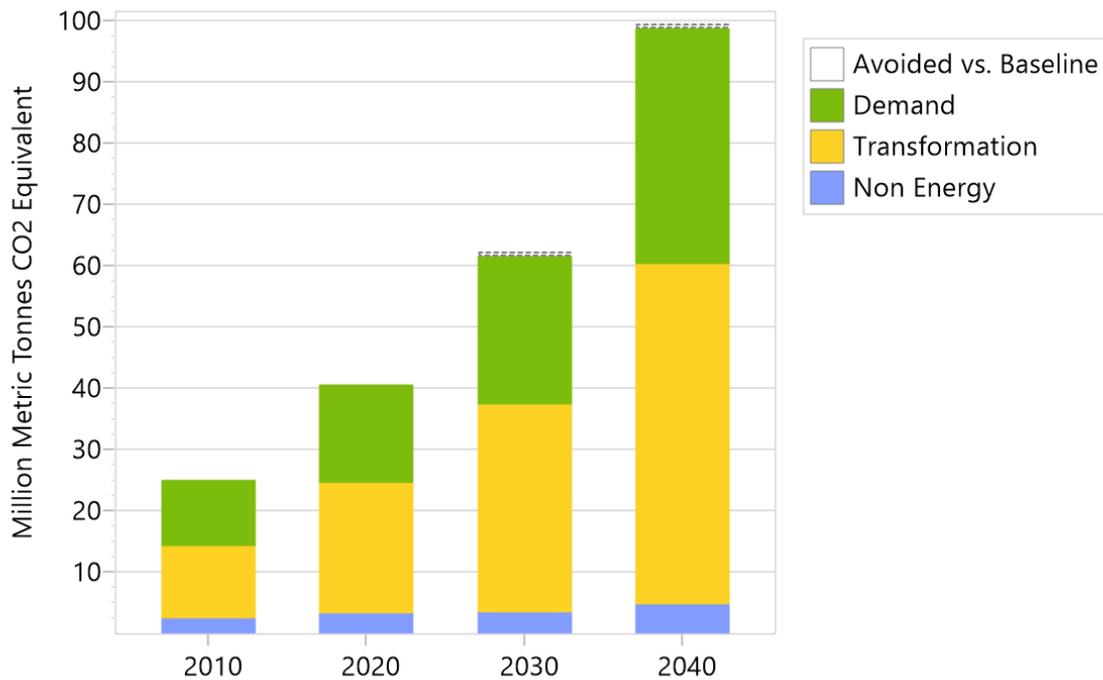


Если вы правильно настроили свою модель, вы должны иметь возможность использовать **представление результатов** LEAP для отображения выбросов от двух различных частей вашего дерева: сектора производства электроэнергии и категории уборки, хранения и использования навоза. Сокращение выбросов ПГ происходит как в энергетическом (поскольку биогаз используется для замещения других видов ископаемого топлива), так и в неэнергетическом секторах (поскольку производство и сжигание биогаза означает, что он не выбрасывается в воздух, и улучшает практику уборки, хранения и использования навоза).

---

<sup>38</sup> При некоторых обстоятельствах LEAP позволит вам ссылаться на переменные типа "Результат" (переменные, которые вычисляются при переходе к **представлению результатов**) в ваших выражениях. Используйте переменную типа "Результат" под названием **Inputs** в своем расчете, который возвращает энергию, вводимую в процесс преобразования. При использовании переменных типа "Результат" всегда проверяйте, что LEAP использует переменную так, как вы ожидаете.

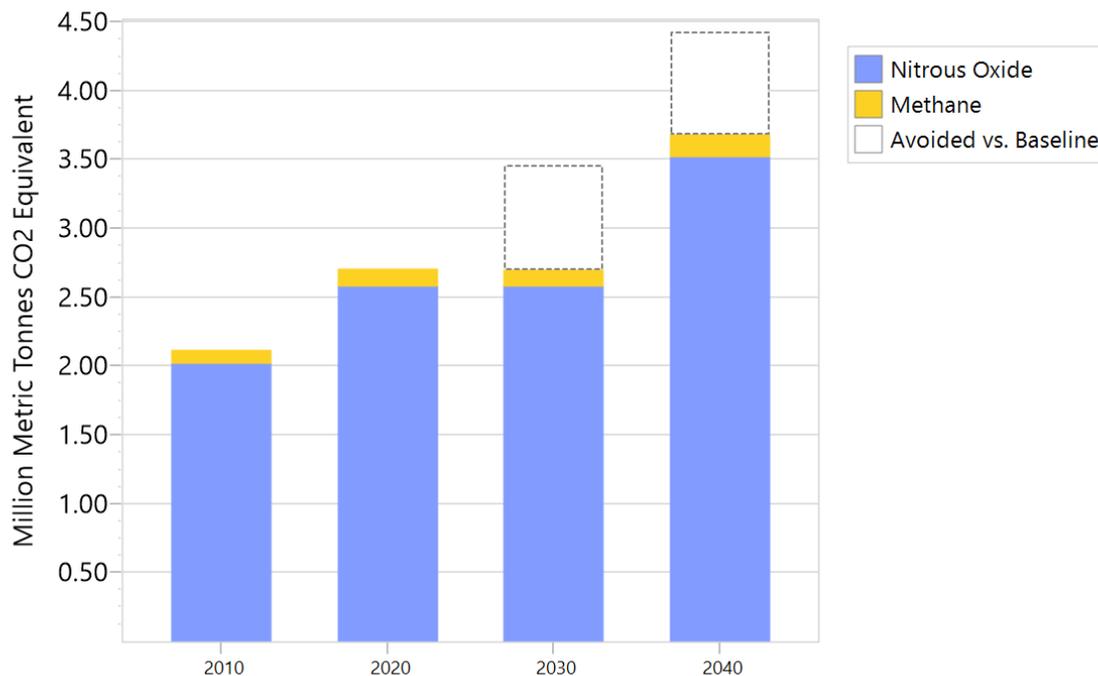
**Столетний потенциал глобального потепления, предотвращенные выбросы при сбраживании отходов животноводства по сравнению с базовым сценарием**



Примечание: Предотвращенные выбросы в 2040 году = 0,9 млн. тонн CO-эквивалента<sub>2</sub>.

Чтобы получить тот же график, что и выше, убедитесь, что вы находитесь на верхней ветви дерева. Здесь показаны общие предотвращенные выбросы по сравнению с базовым сценарием для всех секторов Фридонии. Как показано ниже, вы также можете изучить предотвращенные выбросы по каждому загрязняющему веществу, в частности, в секторе животноводства.

**Столетний потенциал глобального потепления, предотвращенные выбросы при сбраживании отходов животноводства по сравнению с базовым сценарием в секторе животноводства**



**Совет:** чтобы увидеть версию Freedonia, соответствующую результатам, показанным здесь, сначала откройте стандартную область Freedonia в LEAP, затем используйте **Area: Revert to Version** и выберите версию 5.3.1.

*Изучите дополнительные результаты в LEAP и постарайтесь ответить на следующие вопросы:*

- 1. В каких секторах происходит сокращение выбросов по сценарию сбраживания отходов животноводства?*
- 2. Каково снижение выбросов каждого загрязняющего вещества в 2030 и 2040 годах, в тысячах метрических тонн CO2-эквивалента?*
- 3. В каких еще случаях, по вашему мнению, может быть полезно использовать определяемые пользователем переменные?*

## 6 Исследование транспорта

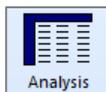
В этом упражнении вы будете использовать функции транспортного анализа LEAP для построения ряда сценариев, в которых рассматриваются различные политики в отношении легковых автомобилей и спортивных внедорожников (SUV). Внедорожники - это вид крупных энергоемких транспортных средств, популярность которых приводит к быстрому росту потребления топлива и выбросов парниковых газов, особенно в США.

Сначала вы будете использовать LEAP для построения инвентаризации текущих операций использования топлива и отдельных выбросов от этих транспортных средств. Затем вы создадите **базовый** сценарий, который прогнозирует использование топлива и выбросы в будущем при условии отсутствия новых мер по сокращению использования топлива и выбросов. Наконец, вы создадите и сравните ряд сценариев, в которых рассматриваются меры, направленные на сокращение использования топлива и выбросов.

Как и в других упражнениях, вы начнете с создания новой области, а затем отредактируете **Настройки** исследования.

Выберите пункт меню Область: Новая область или нажмите кнопку **Новая**  на главной панели инструментов. Назовите новую область "Transportia" (или любое другое название, которое вам нравится). Отметьте радиокнопку для создания области из данных по умолчанию и нажмите ОК.

### 6.1 Параметры и структура



Перейдите на вкладку Scope & Scale на экране **Settings** и убедитесь, что установлен флажок только в поле Energy Sector Effect. В данном исследовании не будут использоваться данные по трансформации, затратам или ресурсам.

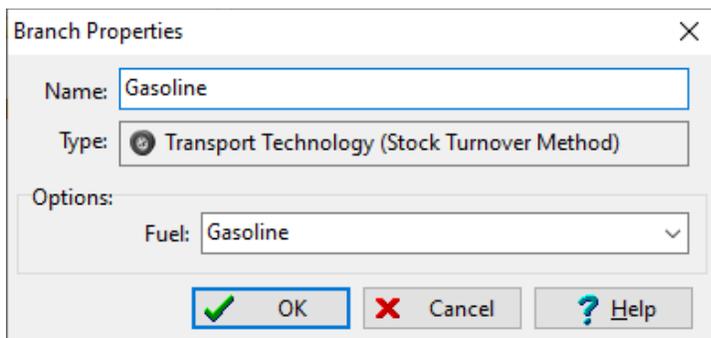
- На вкладке Годы введите 2010 год в качестве *базового года*, 2011 год в качестве *первого сценарного года* и 2030 год в качестве *конечного года*.
- На вкладке Расчеты убедитесь, что флажок *Данные о продажах и запасах сверху вниз* установлен.

Теперь вы готовы ввести структуру дерева. Сначала вы создадите две основные категории, одну для "Автомобилей" и одну для "Спортивно-утилитарных автомобилей" (SUV). Чтобы добавить каждую из них, нажмите кнопку *Добавить* (+) над деревом и создайте каждую как ветвь категории (📁).

В каждой категории создайте подкатегории для обычных автомобилей с двигателем внутреннего сгорания (ДВС) и одну для нового типа "гибридно-электрических автомобилей" (см. врезку).

В каждой из категорий обычных двигателей внутреннего сгорания вы рассмотрите две альтернативные технологии, "Бензин" и "Дизель", поэтому создайте две технологии.

При добавлении этих технологий убедитесь, что вы создаете их как ветви *Транспортной технологии (Метод оборачиваемости запасов)* (🔧), и выберите правильное топливо для каждой из них, как показано ниже. В каждой из категорий гибридов вы будете рассматривать только бензиновые автомобили.



Ваша завершенная древовидная структура должна выглядеть примерно так:

### Гибридно-электрические транспортные средства

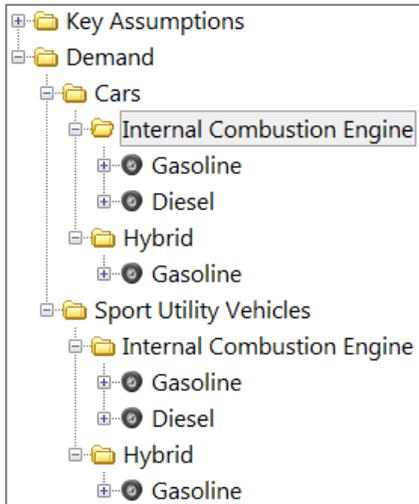
Гибридные автомобили сочетают небольшой двигатель внутреннего сгорания с электродвигателем и аккумулятором для снижения расхода топлива и выбросов выхлопных газов. Энергия, теряемая при торможении, улавливается и возвращается в аккумулятор в процессе, называемом "рекуперативным торможением".

В отличие от электромобилей, гибриды имеют то преимущество, что их не нужно "подключать" к электросети. Гибридные двигатели работают более эффективно и производят меньше загрязнений, чем обычные двигатели внутреннего сгорания.

Гибриды должны иметь конкурентоспособную цену, если учесть все расходы за весь срок службы автомобиля. Это связано с тем, что любая надбавка к стоимости, скорее всего, будет компенсирована экономией топлива.

Сочетая бензин с электричеством, гибриды будут иметь такой же или больший запас хода, чем традиционные двигатели внутреннего сгорания. Гибриды обладают аналогичными характеристиками по сравнению с обычными автомобилями с двигателем внутреннего сгорания.





## 6.2 Данные по текущим операциям

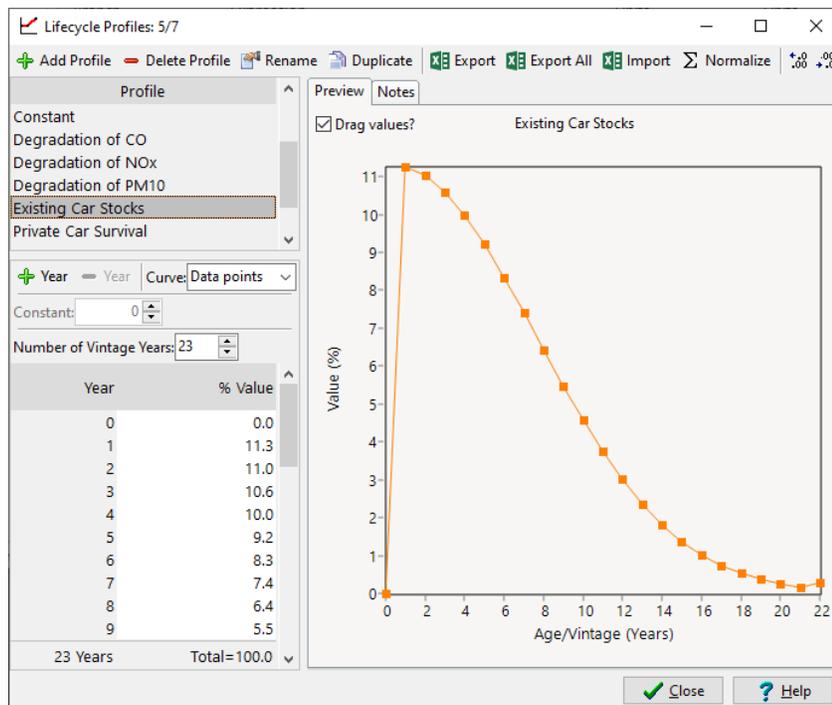
Теперь вы готовы ввести данные следующего базового года (Текущие операции) для анализа:

- В базовом году (2010) на дорогах было 6 миллионов легковых автомобилей и 4 миллиона внедорожников, не включая новые автомобили, проданные в этом году. Введите эти данные в переменную **Stock** в ветви Demand.
- Существующий парк легковых автомобилей и внедорожников состоит из автомобилей разного возраста (vintages). Процентная доля каждого из этих возрастов приведена в таблице справа.

Age (Years)	% of Stock
0	0.00
1	11.26
2	11.04
3	10.60
4	9.99
5	9.22
6	8.34
7	7.40
8	6.43
9	5.48
10	4.58
11	3.75
12	3.01
13	2.37
14	1.82
15	1.38
16	1.02
17	0.74
18	0.53
19	0.37
20	0.25
21	0.17
22	0.27

***Подсказка:** Создайте новый профиль жизненного цикла под названием "Существующие запасы автомобилей", чтобы представить распределение выпусков в рамках запасов базового года. Доступ к экрану Профили жизненного цикла осуществляется через меню Общие. Сначала добавьте профиль, затем введите данные, показанные справа. На рисунке ниже показано, как эта информация будет выглядеть после ввода на экране профиля жизненного цикла. Вернувшись в **Analysis View**, перейдите на вкладку **Stock share** для каждой технологической отрасли и в колонке Stock Vintage Profile выберите профиль "Existing Car Stocks".*

**Важно:** Обратите внимание, что LEAP требует, чтобы все профили марочных запасов содержали ноль автомобилей возрастом ноль лет. Это связано с тем, что данные, которые вы вводите для запасов базового года, не должны включать новые автомобили, проданные в базовом году. Эти автомобили указываются с помощью переменной **Sales**.



- В базовом году было продано 0,8 миллиона легковых автомобилей и 0,5 миллиона внедорожников. Введите эти данные в переменную **Sales** в ветви Demand. По мере старения этих и других автомобилей они будут постепенно выводиться из парка транспортных средств (сниматься с производства). Профиль выживания, описывающий это выбытие автомобилей, может быть представлен экспоненциальной функцией следующего вида:

$$S_t = S_{t-1} \cdot e^{-0.02t}$$

где  $S_t$  доля выживших автомобилей в возрасте  $t$  (в годах).

**Совет:** Создайте еще один профиль жизненного цикла под названием "Выживание частных автомобилей", чтобы представить процент выживания автомобилей по мере их старения. Сначала добавьте профиль, затем создайте экспоненциальную кривую с постоянным параметром  $-0,02$ . Вернувшись в **Analysis View**, перейдите на вкладку **Sales share** для каждой технологической отрасли и в колонке Survival Profile выберите профиль "Private Car Survival".

- Среди автомобилей с двигателем внутреннего сгорания и внедорожников 2% продаж и 2% парка базового года составляют дизельные автомобили. Остальная часть приходится на бензиновые автомобили.
- 0,05% парка автомобилей базового года составляют гибридные автомобили. 0,5% автомобилей, проданных в базовом году, были гибридами.

- Предполагается, что все новые автомобили и новые внедорожники проезжают 15 000 миль в первый год эксплуатации. По мере увеличения возраста автомобилей на них проезжают меньше. Это снижение пробега может быть представлено экспоненциальной функцией, аналогичной приведенной выше, а также с постоянным параметром -0,002. Создайте новый профиль жизненного цикла и свяжите его с колонкой профиля деградации под переменной "Пробег" для каждой технологии.
  - Экономия топлива различных типов автомобилей в базовом году показана в следующей таблице. Предполагается, что экономия топлива остается неизменной по мере увеличения возраста автомобиля.
- |      | Gasoline ICE | Diesel ICE | Gasoline Hybrid |
|------|--------------|------------|-----------------|
| Cars | 25           | 28         | 40              |
| SUVs | 15           | 17         | 23              |
- В настоящее время гибридные внедорожники отсутствуют. Переменные Stock share и Sales share для внедорожников должны быть установлены на 0 в Current Accounts.

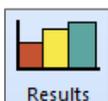
### 6.3 Базовый сценарий

Теперь вы готовы к созданию базового сценария (BAS), который прогнозирует использование топлива в будущем при условии отсутствия новых мер по сокращению использования топлива и выбросов.

Перейдите на экран **Сценарии** (S) и нажмите кнопку *Добавить* (+), чтобы добавить новый сценарий под названием Базовая линия (BAS). Затем введите следующие данные:

- Ожидается, что продажи автомобилей удвоятся и достигнут 2 млн. автомобилей/год в 2030. Однако весь этот рост ожидается в сегменте рынка SUV. Ежегодные продажи легковых автомобилей останутся на уровне 0,8 млн/год в 2030 году, в то время как ежегодные продажи внедорожников более чем удвоятся, достигнув 1,2 млн в 2030.
- Проникновение гибридов на рынок остается неизменным в базовом сценарии. Гибридные внедорожники не вводятся.
- В отсутствие новых стандартов топливная экономичность всех автомобилей в будущем останется неизменной.

### 6.4 Базовые результаты



Теперь вы готовы к просмотру базовых результатов по продажам, запасам, пробегу и расходу топлива. Проверьте свои результаты по каждой из следующих категорий за годы 2010, 2020, и 2030.

**Продажи устройств (тыс. автомобилей)**      **Запасы устройств (тыс. автомобилей)**

Branch	2010	2020	2030
Cars	800	800	800
Internal Combustion Engine	796	796	796
Gasoline	780	780	780
Diesel	16	16	16
Hybrid	4	4	4
Gasoline	4	4	4
Sport Utility Vehicles	500	850	1,200
Internal Combustion Engine	500	850	1,200
Gasoline	490	833	1,176
Diesel	10	17	24
Hybrid	-	-	-
Gasoline	-	-	-
Total	1,300	1,650	2,000

Branch	2010	2020	2030
Cars	6,800	7,051	7,123
Internal Combustion Engine	6,793	7,020	7,088
Gasoline	6,657	6,879	6,946
Diesel	136	140	142
Hybrid	7	32	35
Gasoline	7	32	35
Sport Utility Vehicles	4,500	6,082	9,075
Internal Combustion Engine	4,500	6,082	9,075
Gasoline	4,410	5,960	8,893
Diesel	90	122	181
Hybrid	-	-	-
Gasoline	-	-	-
Total	11,300	13,133	16,198

### Пробег автомобилей (млрд. автомиль)

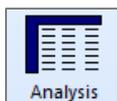
Branch	2010	2020	2030
Cars	96.8	101.0	101.9
Internal Combustion Engine	96.7	100.5	101.4
Gasoline	94.8	98.5	99.4
Diesel	1.9	2.0	2.0
Hybrid	0.1	0.5	0.5
Gasoline	0.1	0.5	0.5
Sport Utility Vehicles	64.1	87.8	131.0
Internal Combustion Engine	64.1	87.8	131.0
Gasoline	62.8	86.1	128.4
Diesel	1.3	1.8	2.6
Hybrid	-	-	-
Gasoline	-	-	-
Total	160.9	188.8	232.9

### Потребность в энергии (млн. галлонов бензина экв.)

Branch	2010	2020	2030
Cars	3,864	4,024	4,060
Internal Combustion Engine	3,862	4,013	4,048
Gasoline	3,792	3,941	3,975
Diesel	69	72	72
Hybrid	3	12	13
Gasoline	3	12	13
Sport Utility Vehicles	4,261	5,840	8,711
Internal Combustion Engine	4,261	5,840	8,711
Gasoline	4,186	5,737	8,557
Diesel	75	103	154
Hybrid	-	-	-
Gasoline	-	-	-
Total	8,125	9,865	12,772

*Подсказка: если ваши результаты отличаются от приведенных выше более чем на несколько процентов, сначала проверьте и, если необходимо, отладьте данные текущих операций. Прежде чем пытаться отладить будущие значения, сначала устраните возможность ошибок в данных Текущих операций.*

## 6.5 Коэффициенты выбросов



Далее вы введете данные о нагрузке на окружающую среду, описывающие некоторые загрязнения, связанные с изучаемыми вами автомобилями. Чтобы свести ввод данных к минимуму, в этом коротком упражнении вы рассмотрите только четыре загрязнителя: парниковый газ,

диоксид углерода (CO<sub>2</sub>) и три загрязнителя, способствующих местному загрязнению воздуха: Оксиды азота (NO<sub>x</sub>), монооксид углерода (CO) и твердые частицы размером менее 10 микрон (PM<sub>10</sub>).

Выбросы CO<sub>2</sub> от транспортных средств зависят только от типа используемого топлива и эффективности (топливной экономичности) транспортного средства. Поэтому они могут быть определены в терминах выбросов на единицу потребленной энергии. В качестве единиц измерения используются фунты CO<sub>2</sub> на MMBTU потребленного топлива.

Местные загрязнители воздуха гораздо больше зависят от типа технологии контроля, используемой в автомобиле, а также, как правило, регулируются правительством на определенных уровнях. По этой причине данные коэффициенты выбросов обычно указываются в расчете на пройденную автомобилем милю. В качестве единиц измерения используются граммы загрязняющих веществ на одну пройденную автомобилем милю. Поскольку выбросы этих загрязняющих веществ в значительной степени зависят от работы каталитического нейтрализатора или другой технологии контроля, используемой в автомобиле, можно также ожидать, что по мере старения автомобиля они будут значительно увеличиваться в расчете на автомобильную милю. По этой причине, в дополнение к указанию коэффициентов выбросов для новых автомобилей, вам также необходимо указать коэффициенты деградации для каждого загрязняющего вещества, которые определяют, как увеличиваются выбросы по мере старения автомобилей.

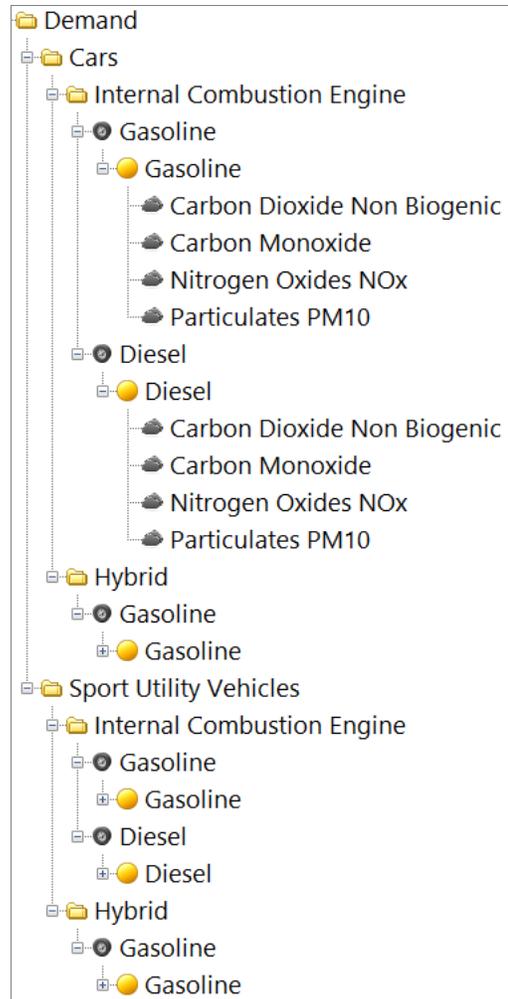
Правительство Транспартии постоянно пересматривает и совершенствует свои правила по выбросам вредных веществ в атмосферу автомобилями, основываясь на рекомендациях Агентства по охране окружающей среды. Начиная с 2000, нормы выбросов для новых автомобилей неоднократно ужесточались. В следующей таблице показано, как изменились средние коэффициенты выбросов для каждого типа новых автомобилей с 2000 тех пор.

Car	Pollutant	Units	2000	2005	2014	New Standard?
Gasoline	CO <sub>2</sub>	lbs/MMBTU	159.50			
	CO	g/veh-mile	6.20	5.30	3.50	1.70
	NO <sub>x</sub>	g/veh-mile	0.44	0.35	0.04	0.03
	PM <sub>10</sub>	g/veh-mile	0.40	0.30	0.20	0.05
Diesel	CO <sub>2</sub>	lbs/MMBTU	161.00			
	CO	g/veh-mile	1.05	0.54	0.20	
	NO <sub>x</sub>	g/veh-mile	0.60	0.27	0.08	
	PM <sub>10</sub>	g/veh-mile	1.50	1.50	0.50	0.20

Данные о выбросах от гибридных автомобилей пока отсутствуют. Однако, поскольку они регулируются так же, как и обычные бензиновые автомобили с двигателем внутреннего сгорания, предполагается, что они имеют те же коэффициенты выбросов, что и автомобили этого типа.

Один набор стандартов должен вступить в силу для автомобилей, произведенных в 2014, Правительство также рассматривает возможность введения нового набора правил по выбросам, с предлагаемыми новыми коэффициентами выбросов, перечисленными в последней колонке. Этот предлагаемый набор правил еще не утвержден, и поэтому дата, когда он вступит в силу и повлияет на новые выпускаемые автомобили, еще не определена.

Чтобы ввести вышеуказанные данные в LEAP, сначала необходимо создать серию ветвей *эффектов* (☼) под каждым из видов топлива (☀) под вашими технологиями (⚙). Используйте кнопку *Добавить* (+), чтобы добавить эффекты CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub> и PM<sub>10</sub>. После завершения работы ваша древовидная структура должна выглядеть так, как показано справа.



Важно установить правильные единицы измерения для каждого загрязняющего вещества. Для CO<sub>2</sub> установите *метод* "На единицу потребленной энергии", а затем выберите единицы измерения *Фунт на миллион BTU*. Для других загрязняющих веществ выберите тип "На единицу пройденного пути", а затем выберите единицы измерения: *Грамм на автомобильную милю*.

Поскольку приведенные выше данные представляют стандарты выбросов, которые вступили в силу, регулируя производство новых автомобилей в определенном году, вам необходимо ввести данные для 2000, 2005 и 2014, используя ступенчатую функцию. Поскольку год введения нового стандарта еще не определен, вы можете указать этот год с помощью ключевого допущения под названием "New Reg Year". Установите значение этой переменной на 2050 год, чтобы новые стандарты, по сути, не использовались в расчетах начального сценария.

Так, например, вы можете составить выражение для представления выбросов CO от бензиновых автомобилей следующим образом:

**Step(2000, 6.2, 2005, 5.3, 1204, 3.5, Key\New Reg Year, 1.7)**

*Подсказка: Чтобы избежать ввода вышеуказанной шаговой функции в каждой ветви технологии, вы можете создать ключевые допущения для*

каждого набора коэффициентов выбросов и связать их с каждой технологией.

Наконец, для трех местных загрязнителей воздуха вам также необходимо указать, как коэффициенты выбросов увеличиваются с течением времени, по мере старения каждой модели автомобилей на дороге. Для этого вам снова нужно перейти в раздел Общие: Профили жизненного цикла и создать три именованных профиля для представления деградации CO, NO<sub>x</sub> и PM<sub>10</sub>. Деградация каждого из них может быть представлена экспоненциальной кривой со следующими постоянными параметрами: 0,006 для CO, 0,008 для NO<sub>x</sub> и 0,005 для PM<sub>10</sub>. Вернувшись в **Analysis View**, перейдите на вкладку **New Device Environmental Loading** для каждой технологической ветви и в колонке *Final Degradation Profile* выберите соответствующие профили.

Выбросы углекислого газа (CO<sub>2</sub>) зависят только от количества топлива, сожженного в автомобиле. Поэтому можно использовать один постоянный коэффициент выбросов, и кривая деградации не требуется. Следовательно, для коэффициентов выбросов CO<sub>2</sub> оставьте *профиль деградации* постоянным.

## 6.6 Базовые выбросы



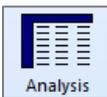
Прогнозирование выбросов на будущее просто для базового сценария, поскольку этот сценарий предполагает отсутствие новых мер по сокращению выбросов. Проверьте результаты выбросов для годов 2010, 2020, и 2030 года по следующей таблице.

Pollutant Emissions	2010	2020	2030
CO <sub>2</sub> (millions of tonnes)	70	85	110
CO (thousands of tonnes)	1079	884	931
NO <sub>x</sub> (thousands of tonnes)	82	36	14
PM <sub>10</sub> (thousands of tonnes)	68	52	54

## 6.7 Сценарии политики

Теперь вы готовы к рассмотрению ряда сценариев политики. Вы начнете с рассмотрения ряда различных мер по отдельности, а затем объедините их в различные комбинации комплексных сценариев.

### 6.7.1 Улучшенная экономия топлива (IFE)



Первая политика, рассматриваемая правительством, заключается в введении более строгих стандартов экономии топлива для обычных (т.е. не гибридных) бензиновых и дизельных автомобилей с двигателем внутреннего сгорания. Предлагаемый новый стандарт потребует от новых легковых автомобилей и внедорожников увеличить экономию топлива на 5% в 2015 году, на 10% в 2020 году и на 20% в 2025 году (все значения по отношению к экономии топлива базового года).

Для моделирования этой политики сначала перейдите на экран "**Сценарии**" (  ), а затем создайте новый сценарий под базовым сценарием под названием "Улучшенная экономия топлива". Чтобы сократить ввод данных, вы можете создать новое Ключевое допущение для представления вышеуказанных улучшений. Например, вы можете создать переменную под названием "Целевая экономика", установить ее текущее значение 1.0, а затем в сценарии "Улучшенная экономия топлива" указать ее будущие значения с помощью следующего выражения:

**Step(2015, 1.05,2020 , 1.1,2025 , 1.2)**

Затем перейдите на вкладку "**Экономия топлива**" для каждого соответствующего типа автомобиля и введите следующее выражение для сценария "Улучшенная экономия топлива":

**BaselineValue \* Key\Target Экономика**

Это приведет к тому, что будущая экономия топлива будет рассчитываться как произведение базовой и целевой экономии топлива. Помните, что вы можете перетащить переменную Target Economy из Key Assumptions.

### **6.7.2 Увеличение проникновения на рынок гибридно-электрических автомобилей (НУВ)**

Вторая рассматриваемая политика заключается в увеличении проникновения на рынок гибридно-электрических автомобилей. Это, вероятно, будет сделано с помощью ряда налоговых стимулов и субсидий для потребителей и производителей. Ожидается, что с помощью этих стимулов гибриды смогут увеличить свое проникновение на рынок так, что к 2030 50 % рынка легковых автомобилей и внедорожников будут занимать гибриды.

Ожидается, что экономичность гибридных автомобилей будет улучшаться по мере развития технологии. Гибридные бензиновые автомобили достигнут экономии топлива в 60 MPG к 2030, а гибридные внедорожники - 35 MPG.

Создайте новый сценарий под названием "Гибриды" и введите функцию *Interp*, чтобы указать, как будущие продажи легковых автомобилей и внедорожников будут разделены между обычными ДВС и гибридами.

### **6.7.3 Увеличение проникновения на рынок дизельных автомобилей и внедорожников (DSL)**

В связи с их более высокой эффективностью и преимуществами в отношении выбросов парниковых газов, правительство также рассматривает политику по увеличению проникновения на рынок дизельных автомобилей и внедорожников. Однако неясно, оправданы ли эти преимущества, учитывая, что дизельные автомобили имеют более высокие выбросы местных загрязнителей воздуха, особенно твердых частиц. Ожидается, что с помощью различных стимулов дизельные автомобили смогут увеличить свое проникновение на рынок до 30% от рынка обычных ДВС к 2030.

Создайте новый сценарий под названием "Дизель" и введите функцию *Interp*, чтобы указать, как будущие продажи автомобилей с ДВС и внедорожников будут распределены между дизельными и бензиновыми автомобилями.

#### 6.7.4 Новые стандарты выбросов из выхлопных труб (TAIL)

Как отмечалось выше в разделе 6.5 Правительство также рассматривает возможность введения нового, более строгого стандарта выбросов выхлопных газов. Правительство хочет выяснить, какие преимущества по снижению выбросов даст введение этого нового стандарта 2020, как в качестве самостоятельной политики, так и в качестве части более широкого пакета мер по снижению загрязнения и борьбе с изменением климата.

*Подсказка: Создайте новый сценарий под названием "Tailpipe Standard", затем просто отредактируйте значение ключевого допущения под названием "New Reg Year", которое вы создали ранее для этого нового сценария. Эта переменная представляет собой дату введения нового стандарта на выхлопные газы. Измените ее на 2020.*

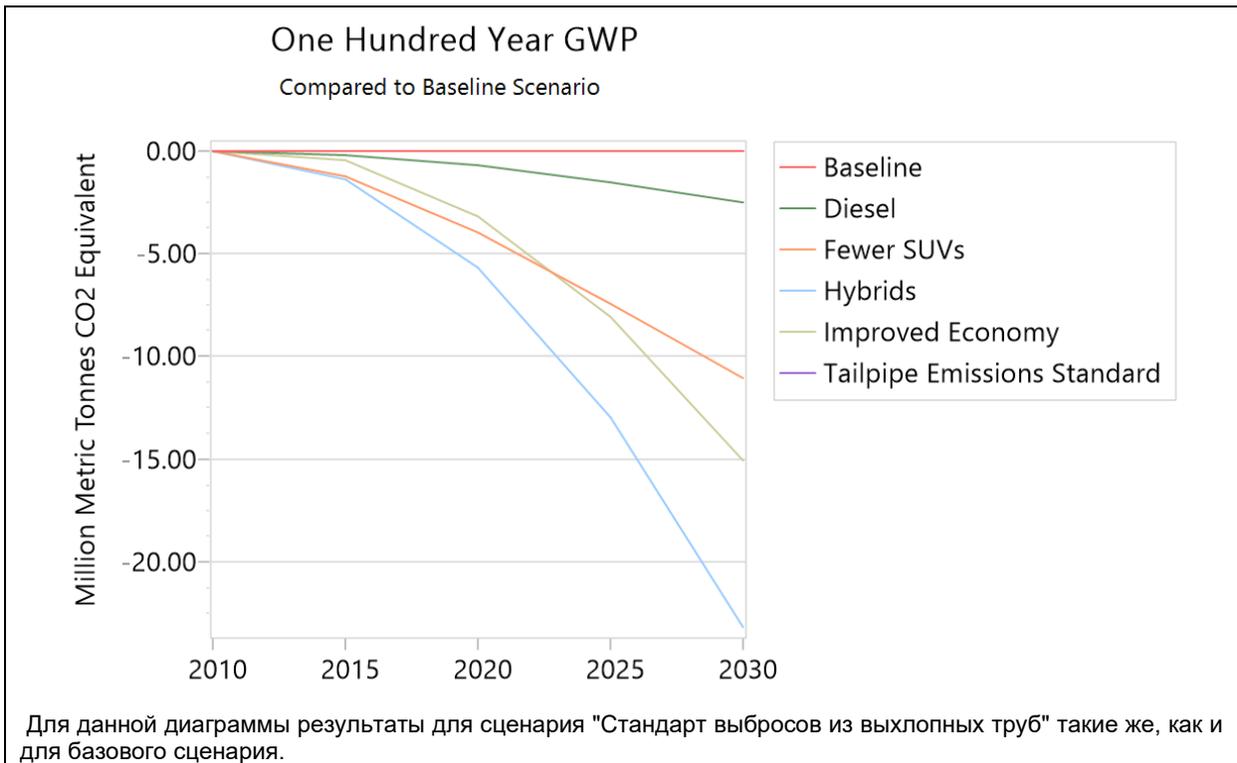
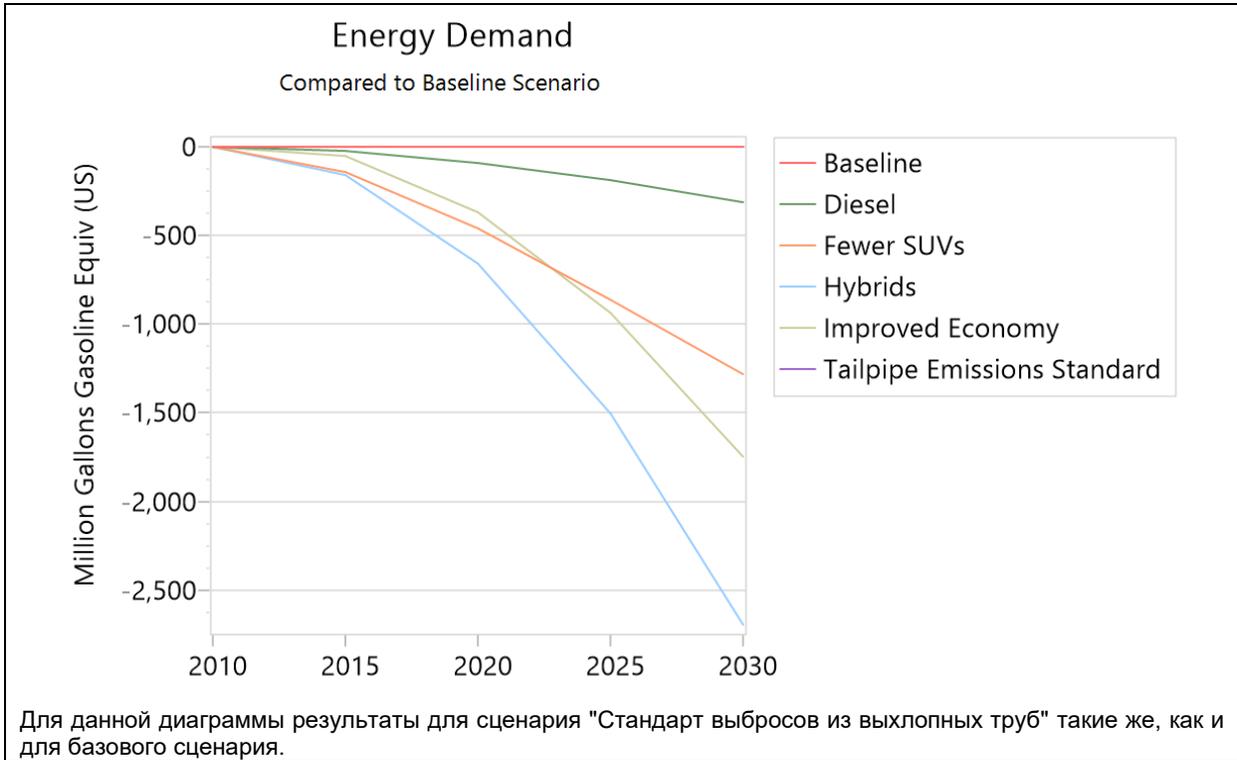
#### 6.7.5 Продвижение легковых автомобилей над внедорожниками (CAR)

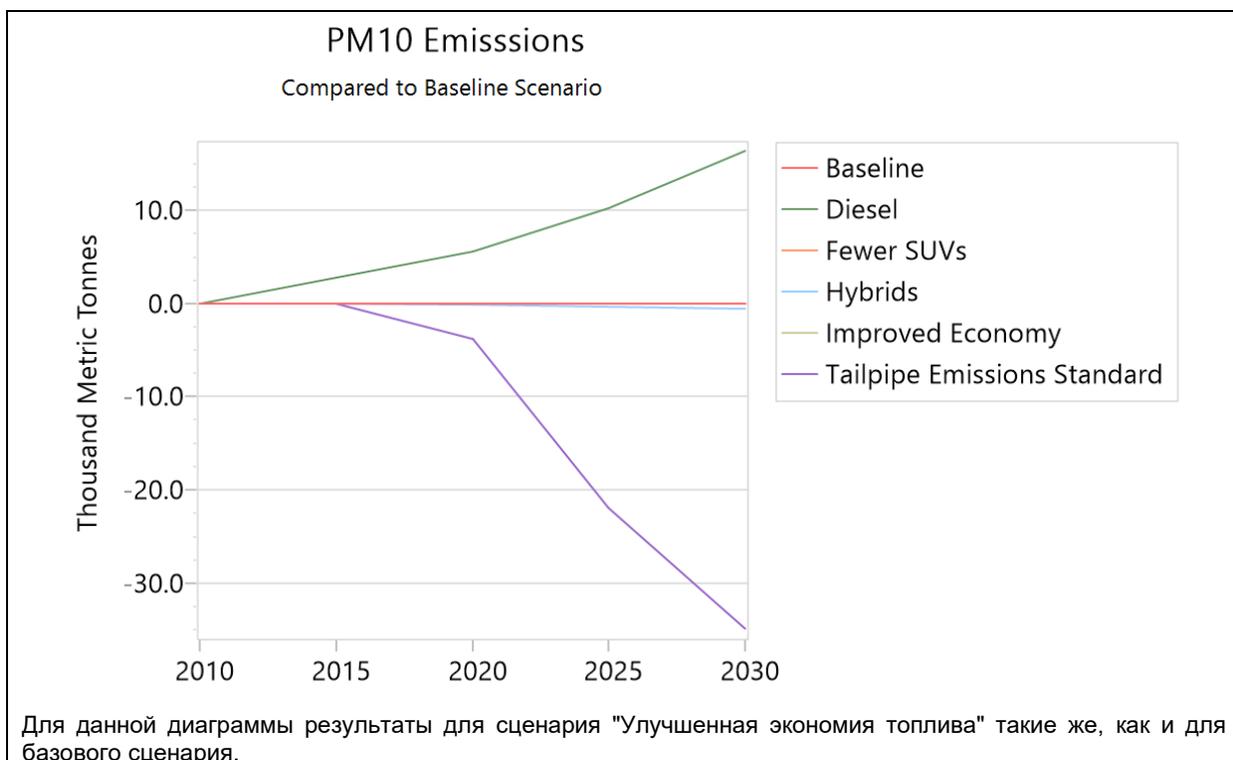
Правительство также рассматривает ряд мер, направленных на то, чтобы отбить у потребителей желание приобретать большие и топливонеэффективные внедорожники. Используя ряд мер, таких как налоги на топливо или углерод и страхование автотранспорта на основе веса автомобиля или экономии топлива, ожидается, что ежегодные продажи внедорожников могут быть сокращены до автомобилей 700,000 к 2030 году, а продажи легковых автомобилей увеличатся до 1 300 000 автомобилей.

### 6.8 Результаты



Теперь вы готовы просмотреть результаты своих сценариев. Сравните полученные результаты с графиками на следующих страницах.





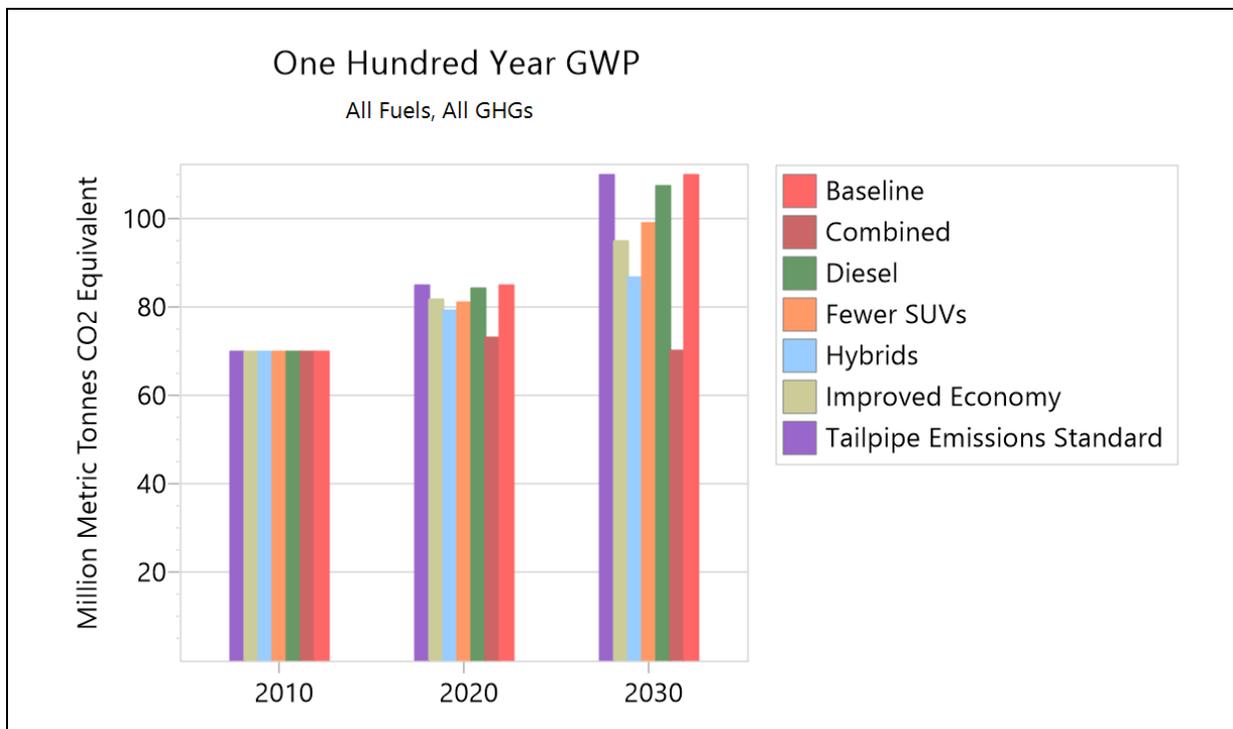
Обратите внимание, что некоторые сценарии приводят к экологическим компромиссам. В частности, обратите внимание, что увеличение использования дизельных автомобилей приводит к снижению выбросов CO<sub>2</sub>, но к значительному увеличению выбросов PM<sub>10</sub>. Возможно, вы также захотите проверить результаты для NO<sub>x</sub>.

Вы можете попробовать создать свои собственные комбинации сценариев. Начните с комбинации следующих сценариев:

- Улучшенные стандарты топливной эффективности для обычных бензиновых автомобилей.
- Введение нового стандарта по выбросам из выхлопных труб.
- Увеличение проникновения на рынок гибридно-электрических автомобилей.
- Продвижение легковых автомобилей по сравнению с внедорожниками.

Перейдите на экран **Сценарии** (S) и создайте новый сценарий под названием "Комбинированный", который наследуется от сценария Базовый. На вкладке "Наследование" нажмите на кнопку "Добавить" (+), чтобы добавить каждый из вышеуказанных сценариев в область, обозначенную как "Дополнительные сценарии". Вам не нужно вводить новые данные для этого сценария, так как он автоматически унаследует выражения ввода данных, использованные в каждом из сценариев, от которых он наследуется.

Теперь сравните результаты для этого нового комбинированного сценария с отдельными политическими сценариями и с базовым сценарием.



**Совет:** чтобы увидеть результаты, совпадающие с показанными здесь, сначала откройте стандартную область "Transport Exercise" в LEAP, затем используйте **Area: Revert to Version** и выберите версию "Transport Exercise Complete".

*Изучите дополнительные результаты в LEAP и постарайтесь ответить на следующие вопросы:*

1. *В сценарии "Комбинированный", каковы предотвращенные выбросы (по сравнению с базовым уровнем) в 2030 году, которые являются результатом снижения потребления бензина?*
2. *Какие дополнительные меры могут быть приняты для дальнейшего снижения выбросов от транспортного сектора?*
3. *Как меры по смягчению последствий в транспортном секторе влияют на выбросы в других секторах, расположенных выше по течению? Что нужно сделать, чтобы учесть их в модели?*

## 7 Выработка электроэнергии с наименьшими затратами

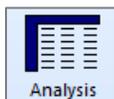
В этом простом упражнении вы будете использовать функции оптимизации LEAP для изучения ряда различных технологий для производства электроэнергии. Вы сравните затраты на производство электроэнергии, включая капитальные затраты, затраты на эксплуатацию, техническое обслуживание и топливо для этих технологий, а также проведете анализ чувствительности для изучения того, какие варианты являются самыми дешевыми, если включить или исключить внешние затраты на загрязнение местного воздуха. Затем вы изучите последствия введения ограничения на выбросы CO<sub>2</sub> - как это изменит набор выбранных технологий и как это повлияет на общую стоимость сценария.

Это упражнение также покажет вам, как импортировать в LEAP данные о почасовой электрической нагрузке за год, чтобы описать, как изменяется потребность в электроэнергии в зависимости от сезона и времени суток.

*Обратите внимание, что данное упражнение является сильно упрощенным представлением электрогенерирующей системы, и представленные значения данных не претендуют на реалистичность. Пожалуйста, не приводите и не используйте данные, показанные в этом упражнении, в реальных исследованиях.*

 **Примечание:** для выполнения этого упражнения требуется *Microsoft Excel*, а также *LEAP*.

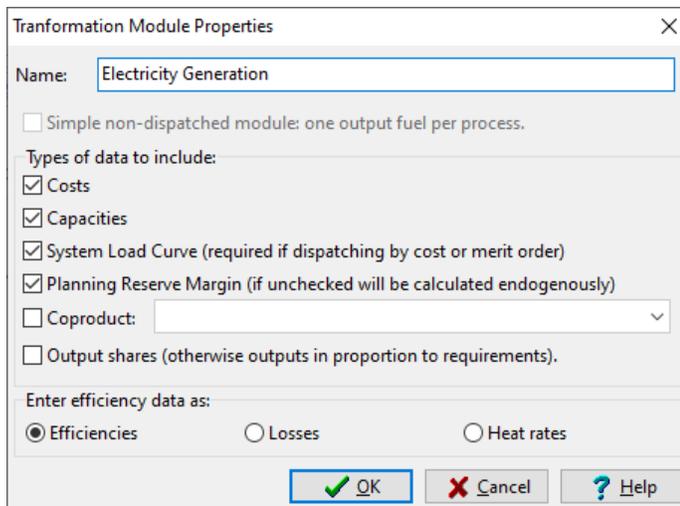
### 7.1 Ввод данных по выработке электроэнергии



Начните с открытия области LEAP "Упражнение по оптимизации", нажав Область: Открыть, а затем щелкните Область: Вернуть к версии, выбрав "Optimization Exercise Start". Этот набор данных уже частично завершен.

В ветви "Спрос" одна ветвь определяет, что спрос на электроэнергию растет от нуля в базовом году (2010) до 200 тыс. ГВтч в конечном году (2020). Эта информация вводится в переменную **Total Energy** одной ветви *Technology with Total Energy* (  ) в сценарии Current Accounts. В этом простом упражнении во всех сценариях будут использоваться одни и те же предположения о спросе на энергию.

Теперь посмотрите на ветви дерева трансформации. Вы увидите единственный модуль, описывающий потери при передаче и распределении электроэнергии. Здесь мы создали простой модуль трансформации, содержащий простое предположение о 10% потерь электроэнергии. Предполагается, что это значение остается неизменным во все годы и во всех сценариях. Ваша первая задача по вводу данных - создать новый модуль, который будет использоваться для описания различных возможных технологий производства электроэнергии.



Начните с добавления нового модуля трансформации под названием "Генерация электроэнергии" и установите его свойства, чтобы включить затраты, мощности, кривую нагрузки системы и резервную маржу планирования. Данные по эффективности должны быть настроены на прямой ввод (в виде процентных значений эффективности). Убедитесь, что новый модуль появился ниже модуля "Передача и распределение" в структуре ветвей дерева.

После создания модуля можно приступить к вводу основных данных, описывающих его различные технологии. Введите все следующие данные для сценария "Текущие операции". Установите маржу резерва планирования на 25% и убедитесь, что модуль имеет электричество в качестве единственного выходного топлива.

Вы можете оставить свойства по умолчанию для выходного топлива без изменений. Для этого выходного топлива не следует вводить данные для целей импорта и экспорта.

Далее вы можете указать набор технологий производства электроэнергии, которые будут оцениваться. Создайте каждую из них как отдельный процесс в модуле Electricity Generation и сделайте это во время редактирования сценария Current Accounts. В следующей таблице приведены данные, необходимые для определения этих процессов.

Process	Feedstock	Efficiency (%)	Max Availability (%)	Capacity Credit (%)	Capital Cost (Thousand \$/MW)	Fixed O&M (Thousand \$/MW)	Variable O&M (\$/MWh)	Fuel Costs	Lifetime (yrs)
NGCC	Natural Gas	45	85	100	1900	10	3	\$7/MMBTU	30
Wind	Wind	100	30	20	2300	20	4	n/a	25
Coal	Coal Bituminous	35	90	100	2200	40	3	\$100/Tonne	30
Hydro	Hydro	100	60	50	9000	30	5	n/a	40

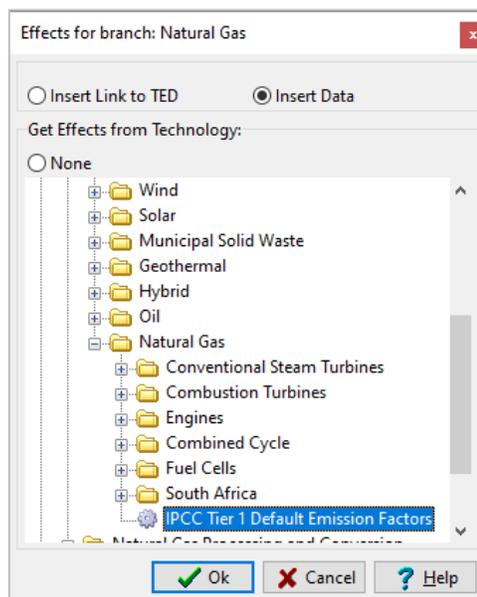
Большинство данных в этой таблице необходимо ввести для различных переменных, определенных для каждого процесса. Затраты на топливо для сырья должны быть указаны в ветвях дерева Ресурсы. Введите стоимость топлива природного газа и угля в переменные **Indigenous Cost** и **Import Cost** (в ветвях Resources\Primary). Убедитесь, что эти переменные стоимости правильно указаны в переменной **Fuel Cost (Стоимость топлива)** для каждого вида топлива-сырья электростанции, как вы это делали в разделе 4.3.7.

Чтобы энергетические балансы были рассчитаны правильно, убедитесь, что вы указали очень большие запасы природного газа и каменного угля и очень большое наличие ветровой и гидроэнергии. В разделе Текущие операции введите *Неограниченное количество* ГДж в качестве **запасов базового года** для этих видов топлива в ветви Ресурсы\Основные. Введите такое же значение для доступности ветровой и гидроэнергии в переменной **Yield**.

В дополнение к данным, приведенным в таблице выше, убедитесь, что переменная **"Процентная ставка"** равна ставке дисконтирования модели, равной 5%. Убедитесь, что все переменные **Exogenous Capacity** установлены на ноль. Наконец, установите **правило диспетчеризации** на *RunningCost*.

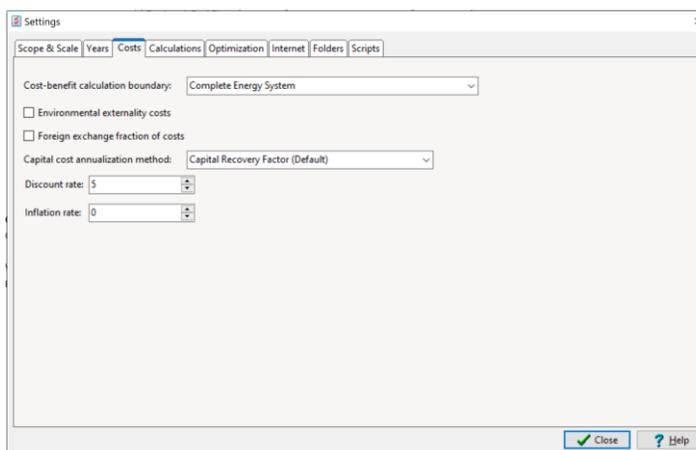
В этом простом упражнении мы не пытаемся представить фактические исторические модели диспетчеризации, и поэтому мы не будем использовать переменную **Historical Production**, чтобы сообщить LEAP, сколько каждого процесса необходимо диспетчеризировать. Вместо этого мы будем использовать оптимизационные расчеты LEAP для расчета значений мощности процесса, соответствующих минимизации затрат при удовлетворении спроса. Установка **первого года моделирования** на дату, равную или предшествующую базовому году исследования, позволяет LEAP игнорировать переменную **"Историческое производство"**. Для этого вы можете ввести выражение *BaseYear* в параметр **First Simulation Year** для всех процессов.

Прежде чем оставить ветви процессов, убедитесь, что вы определили набор коэффициентов выбросов для каждого процесса. Используя методы, которые вы впервые применили в упражнении 1.5, добавьте коэффициенты выбросов IPCC уровня 1 для угольных электростанций и электростанций NGCC (на природном газе). Щелкните правой кнопкой мыши каждую соответствующую ветвь топлива-сырья (те, что отмечены значком 🟡), а затем выберите опцию *Добавить множественные эффекты* (🌿). В результате появится окно, показанное справа. Выберите соответствующие коэффициенты выбросов, хранящиеся в базе данных TED.



Наконец, перейдите на вкладку Стоимость в разделе **Настройки** (показано ниже). Здесь вам нужно будет установить несколько параметров, которые будут использоваться для расчета результатов затрат. Убедитесь, что на этом экране установлены следующие параметры:

- *Граница расчета затрат и выгод* должна быть установлена на "Полная энергетическая система".
- *Затраты на экологические последствия* могут быть изначально отключены. Кроме того, в данном упражнении не используются затраты на обмен валюты, поэтому их также можно не учитывать.
- Установите *ставку дисконтирования* на 5%
- *Метод ежегодного учета капитальных затрат* должен быть установлен на "Коэффициент восстановления капитала (по умолчанию)". Этот метод необходим при использовании оптимизации.



## 7.2 Создание форм нагрузки путем импорта данных о почасовой нагрузке

Далее вы создадите набор данных, описывающих, как изменяется нагрузка на электрогенерацию в разные сезоны и время суток. Вариации электрической нагрузки важны для определения того, какое сочетание электростанций базовой или пиковой нагрузки следует строить и эксплуатировать.

Создание и использование этой формы нагрузки в LEAP - это четырехэтапный процесс.

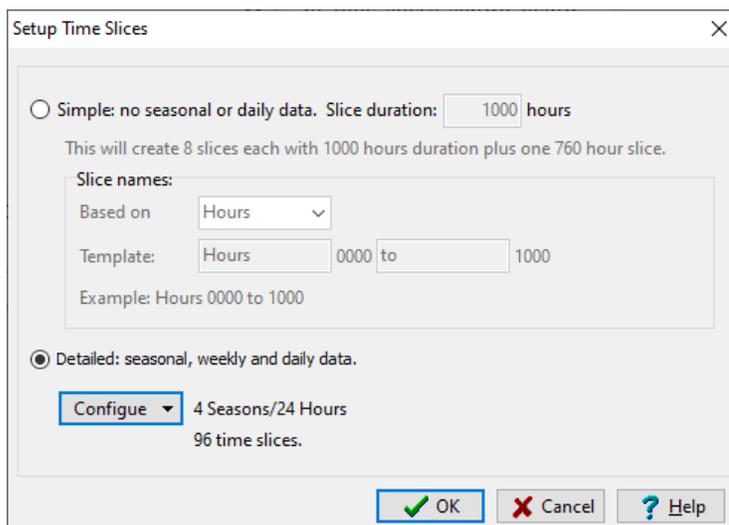
1. **Временные срезы:** Сначала необходимо указать набор временных срезов, на которые будет разделен каждый год. В данном примере мы разделим каждый год на четыре сезона, а каждый день - на 24 часа.

2.  **Электронная таблица почасовых данных:** Во-вторых, вы выберете набор predetermined почасовых данных, которые описывают, как изменялась электрическая нагрузка в течение всех 8760 часов одного года. Эти почасовые данные predetermined и хранятся в отдельной электронной таблице Microsoft Excel, предоставленной вам.
3. **Годовая форма:** В-третьих, вы будете использовать экран LEAP "Формы года" для импорта почасовых данных, содержащихся в электронной таблице, и автоматического сопоставления их с временными срезами, которые вы создали.
4. **System Energy Load Shape:** Наконец, вы будете использовать эту только что созданную форму нагрузки в своем наборе данных LEAP, присвоив ее переменной **System Energy Load Shape** в вашем анализе.

Давайте подробно рассмотрим каждый из этих шагов.

1. **Временные срезы:**

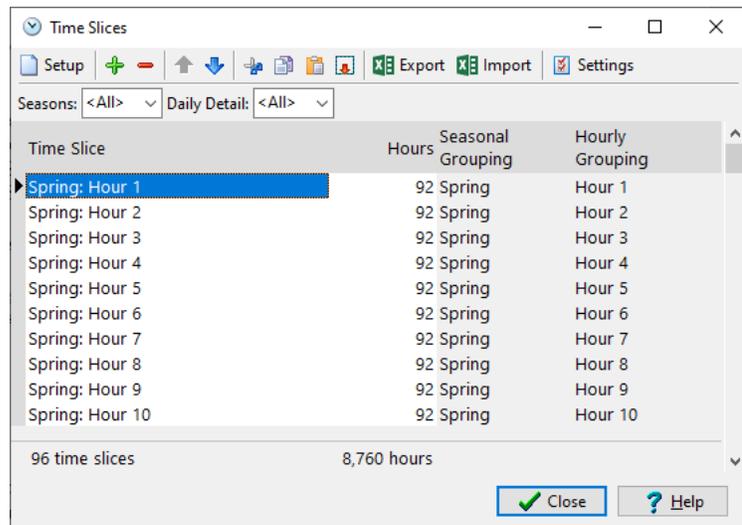
Сначала создадим подробный набор временных срезов. Перейдите на экран General: Time Slices и нажмите кнопку панели инструментов Setup (📄). Выберите **Детальный**, а затем настройте срезы, включающие четыре сезона и 24 почасовых среза. В этом упражнении мы не будем использовать срезы по дням недели/выходным.



После нажатия кнопки OK LEAP создаст подробный набор временных срезов, показанных справа. Каждый срез будет включать данные, описывающие количество часов. Теперь вы можете вернуться на главный экран.

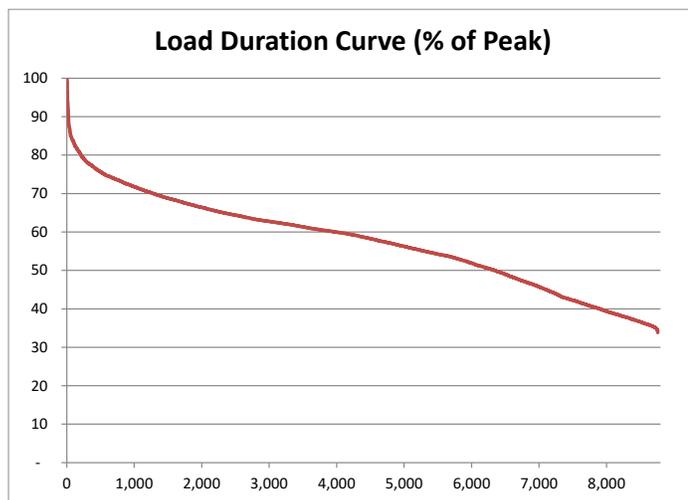
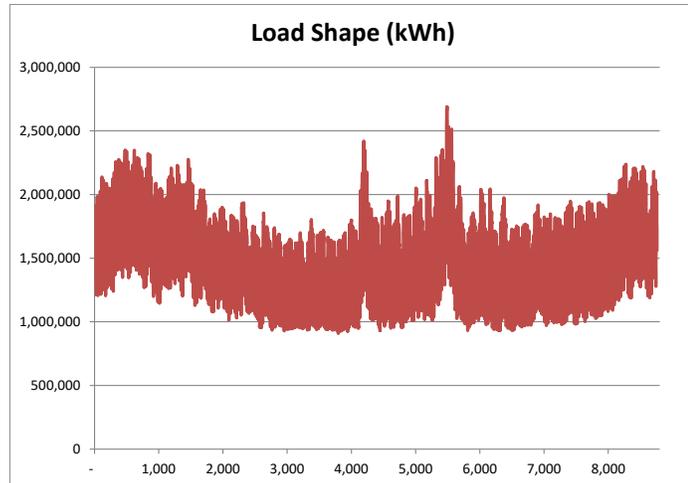
2.  **Почасовые данные электронной таблицы:** Затем откройте копию Microsoft Excel и загрузите

электронную таблицу **Sample Load Shape.xlsx**, которая находится в папке Optimization exercise area.



Time Slice	Hours	Seasonal Grouping	Hourly Grouping
Spring: Hour 1	92	Spring	Hour 1
Spring: Hour 2	92	Spring	Hour 2
Spring: Hour 3	92	Spring	Hour 3
Spring: Hour 4	92	Spring	Hour 4
Spring: Hour 5	92	Spring	Hour 5
Spring: Hour 6	92	Spring	Hour 6
Spring: Hour 7	92	Spring	Hour 7
Spring: Hour 8	92	Spring	Hour 8
Spring: Hour 9	92	Spring	Hour 9
Spring: Hour 10	92	Spring	Hour 10

Обратите внимание, что эта электронная таблица содержит почасовые данные за все 8760 часов одного года, с первого часа 1 января <sup>st</sup> до последнего часа 31<sup>st</sup> декабря. В столбце "Час" (столбец A) перечислены пронумерованные часы от 1 до 8760, а в столбце "кВт/ч" (столбец B) перечислены соответствующие потребности в электроэнергии. Эти значения нанесены на график "Форма нагрузки" в электронной таблице (показан здесь). Обратите внимание на большие колебания как между сезонами, так и между разными временами суток и днями недели.

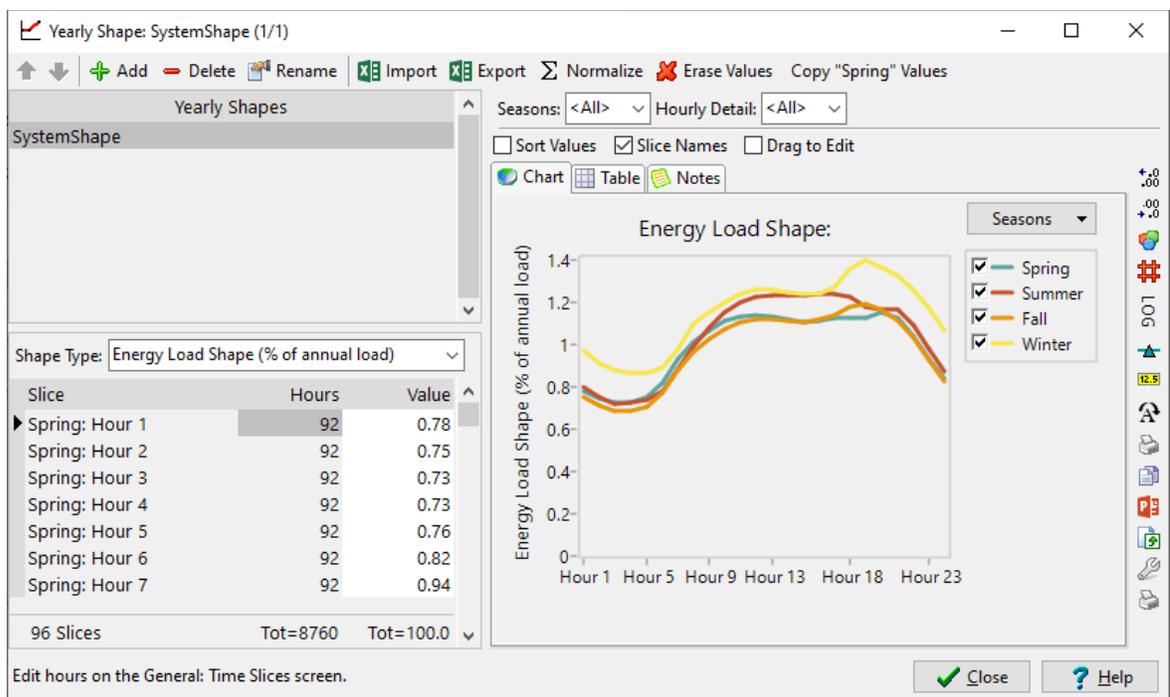


В колонках C, D и E эти же данные были реорганизованы путем сортировки значений от высоких к низким и нормализации их в процентах по отношению к годовому пиковому значению для получения стандартной кривой продолжительности нагрузки, которая показывает, как изменяется спрос от часа с самым высоким спросом до часа с самым низким. Эта кривая продолжительности нагрузки также показана здесь. Обратите внимание, что в результате сортировки кривая продолжительности нагрузки теряет любую информацию о сезонах, днях недели или времени суток.

3. **Годовая форма:** Теперь вам предстоит импортировать эти почасовые данные в LEAP. Держа Excel открытым, перейдите в раздел Общие: **Yearly Shapes** и выберите на панели инструментов опцию *Import*  *Hourly Shape*. Появится диалоговое окно, как показано здесь. Настройте его на импорт значений как "Форма энергетической нагрузки (% от годовой нагрузки)",

поскольку этот тип формы нагрузки требуется при использовании оптимизации в LEAP. Выберите диапазон Excel с именем "kWh" в качестве диапазона импорта: этот диапазон содержит значения kWh в столбце В электронной таблицы. Наконец, не забудьте ввести имя для новой годовой формы. Мы предлагаем вам назвать ее "SystemShape".

Когда вы нажмете кнопку ОК, LEAP импортирует все почасовые значения в электронную таблицу и автоматически сопоставит эти значения с временными срезами, которые вы указали в шаге 1 выше. В результате получится годовая форма, которая должна выглядеть так, как показано ниже. Обратите внимание, что на этом снимке экрана мы использовали опции графика, чтобы организовать график таким образом, чтобы он показывал значения, отсортированные от высокого к низкому.

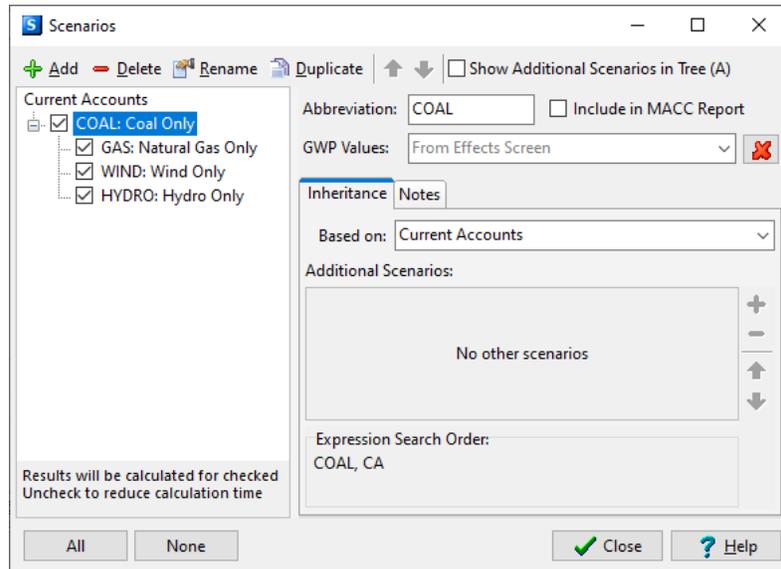


4. **System Energy Load Shape:** Последний шаг в использовании этих данных требует, чтобы вы назначили эту вновь созданную форму нагрузки переменной **System Energy Load Shape**. Выйдите из экрана "**Формы за год**", а затем в **Analysis View** найдите ветвь Transformation\Electric Generation. В разделе Текущие операции введите следующее выражение для переменной **System Energy Load Shape**:

**YearlyShape(SystemShape)**

### 7.3 Сценарии моделирования для изучения характеристик технологии

Теперь вы готовы к изучению затрат и выбросов, связанных с различными технологиями. Прежде чем исследовать сценарий наименьших затрат с помощью функций оптимизации LEAP, давайте сначала создадим несколько очень простых сценариев, каждый из которых рассматривает только одну технологию генерации.



Перейдите на экран "**Сценарии**" (S) и создайте первый сценарий под названием "Только уголь", который наследуется от данных по текущим операциям. Затем создайте еще три сценария, каждый из которых напрямую наследуется от сценария "Уголь". Назовите их: "Только природный газ", "Только ветер" и "Только гидроэнергия". После их создания экран "**Сценарии**" будет выглядеть так, как показано выше. Примечание: для минимизации ввода данных важно, чтобы три дополнительных сценария напрямую наследовались от сценария "Только уголь".

После создания этих четырех сценариев вернитесь на главный экран и выберите переменную **Endogenous Capacity** для сценария Coal Only. Используйте кнопку **Добавить** (+) в правой части этого экрана, чтобы добавить процесс "Уголь" в этот список и введите значение 100 МВт для *выражения Размер добавления* для этой переменной.

Это говорит LEAP, что в данном сценарии LEAP должен автоматически добавлять угольные мощности, когда это необходимо. В стандартных **симуляционных** расчетах LEAP вы сами должны указать LEAP, *какие* типы электростанций добавить, хотя LEAP будет решать, *когда* их добавить. Позже, когда мы перейдем к использованию оптимизационных расчетов LEAP, вы увидите, что LEAP будет решать оба этих вопроса: *какие* процессы добавить и *когда* их добавить.

Повторите этот же процесс для трех других сценариев: Только природный газ, Только ветер и Только гидроэнергия. В каждом случае добавьте только один процесс, соответствующий данному сценарию, используя 100 МВт в качестве *выражения размера добавления*.

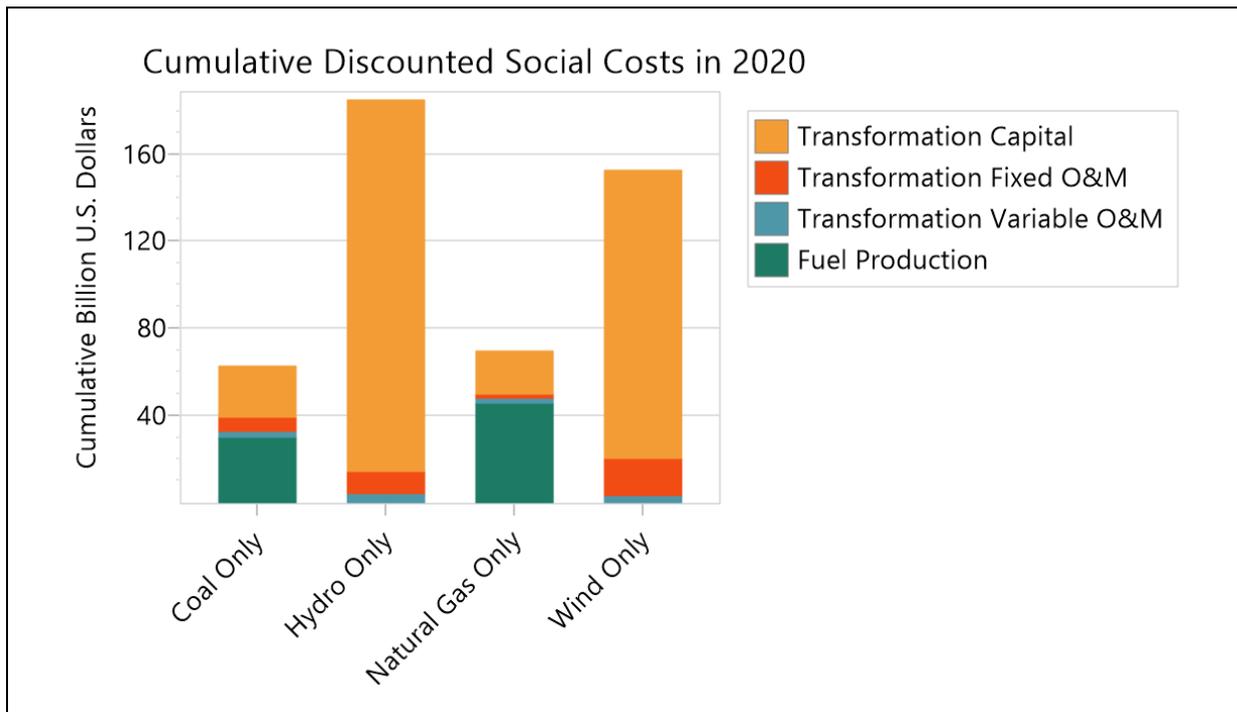
### 7.3.1 Результаты

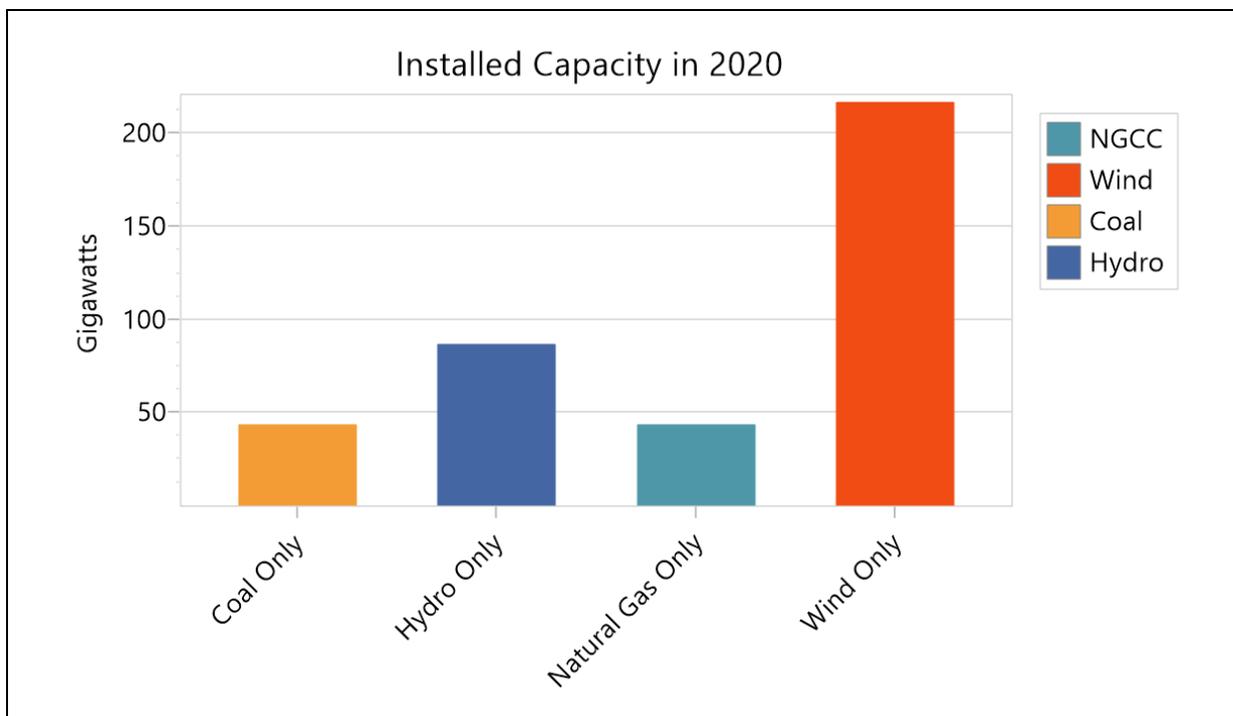


Теперь вы готовы увидеть некоторые результаты для этих сценариев. Перейдите к **представлению результатов** и создайте два различных графика следующим образом:

1. **Социальные издержки:** Сначала создайте график, сравнивающий общие кумулятивные дисконтированные социальные затраты в 2020 году (в верхней ветви области) для каждого сценария. Убедитесь, что вы настроили график таким образом, чтобы на оси X отображались *все сценарии*, а в легенде - *все категории социальных затрат*. Сохраните этот график как избранную диаграмму под названием "Затраты по сценариям".
2. **Мощность:** Далее создайте диаграмму, показывающую общую установленную мощность в 2020 году по каждому сценарию. Сохраните эту диаграмму как избранную диаграмму под названием "Мощность по сценариям".

Эти два графика должны выглядеть так, как показано ниже:

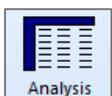




Используйте LEAP для анализа результатов и попытайтесь ответить на следующие вопросы:

1. Почему уголь является самым дешевым вариантом?
2. Почему LEAP включает большие мощности для сценариев "Только ветер" и "Только гидро", если спрос на электроэнергию одинаков во всех сценариях?

## 7.4 Включение значений экстерналий



На результаты, полученные вами выше, влияет тот факт, что до сих пор мы игнорировали важнейший фактор: затраты на ущерб, связанный с загрязнением окружающей среды при сжигании ископаемого топлива. Эти затраты часто игнорируются, потому что они не монетизируются напрямую в большинстве энергетических систем. Однако они представляют собой реальные затраты и вызывают реальные экономические последствия, такие как ущерб здоровью людей и урожаю.

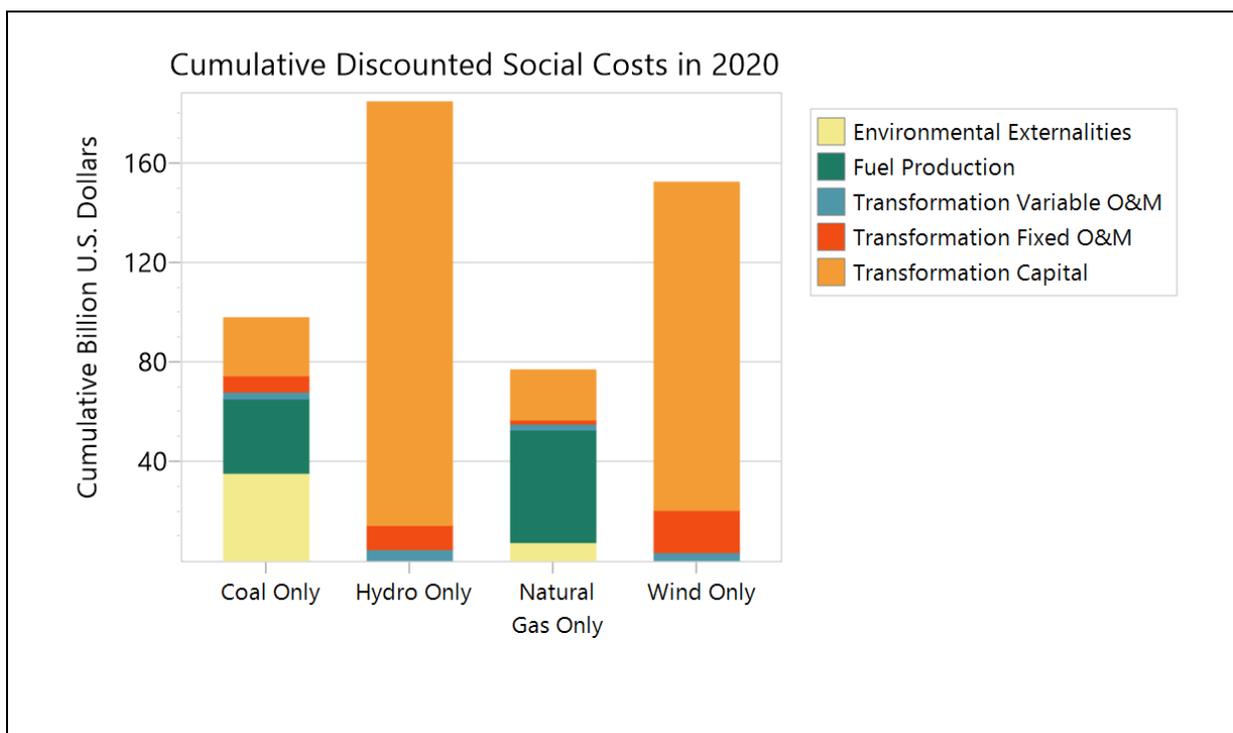
Далее вы введете данные, описывающие эти внешние затраты. Вернитесь на вкладку "**Калькуляция затрат**" на экране "**Настройки**" и убедитесь, что флажок "**Затраты на экологические экстерналии**" установлен. Теперь вернитесь к **представлению анализа** и под ветвью верхнего уровня "**Эффекты**" в дереве добавьте две новые ветви для эффектов оксидов азота (NO<sub>x</sub>) и диоксида серы (SO<sub>2</sub>).

Externality	
Pollutant	Value (\$/kg)
NO <sub>x</sub>	7
SO <sub>2</sub>	2

Теперь в переменной "**Стоимость экстерналий**" введите значения экстерналий, приведенные в таблице выше, в \$/кг. Введите эти данные для сценария "Текущие операции", чтобы эти значения внешних факторов использовались во всех сценариях.



Теперь снова выберите **Вид результатов**. После того, как LEAP пересчитает свои результаты, покажите избранный результат "Затраты по сценарию". Вы должны увидеть график, подобный приведенному ниже. Обратите внимание, что LEAP теперь рассчитал новый набор затрат, соответствующий затратам на внешние факторы.



*Используйте LEAP для анализа результатов и попытайтесь ответить на следующие вопросы:*

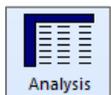
- 1. Как изменились результаты и почему?*
- 2. Почему внешние эффекты так сильно различаются между разными типами растений?*
- 3. Какие еще важные виды внешних эффектов мы проигнорировали в этих расчетах?*

## 7.5 Использование оптимизации для определения наименее затратного сценария

Теперь вы готовы опробовать возможности оптимизации LEAP. Это позволит LEAP автоматически решать, какая комбинация электростанций удовлетворит спрос с наименьшими затратами.

Сначала посетите вкладку "Оптимизация" на экране "**Настройки**" и убедитесь, что оптимизация правильно установлена в LEAP. Убедитесь также, что "Enable Emission Constraints" включена.

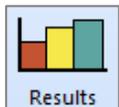
Теперь создайте новый сценарий, в котором вы сможете использовать эти функции оптимизации. Перейдите на экран "**Сценарии**" и создайте новый сценарий под названием "Оптимизация", который наследуется непосредственно от "Текущих операций".



Вернитесь на главный экран в режиме просмотра анализа и выберите сценарий Оптимизация. Вам нужно установить только простую настройку для использования оптимизации, поскольку вы уже ввели все основные данные, необходимые для расчетов оптимизации. LEAP автоматически будет использовать те же данные, которые вы уже ввели в расчеты моделирования.

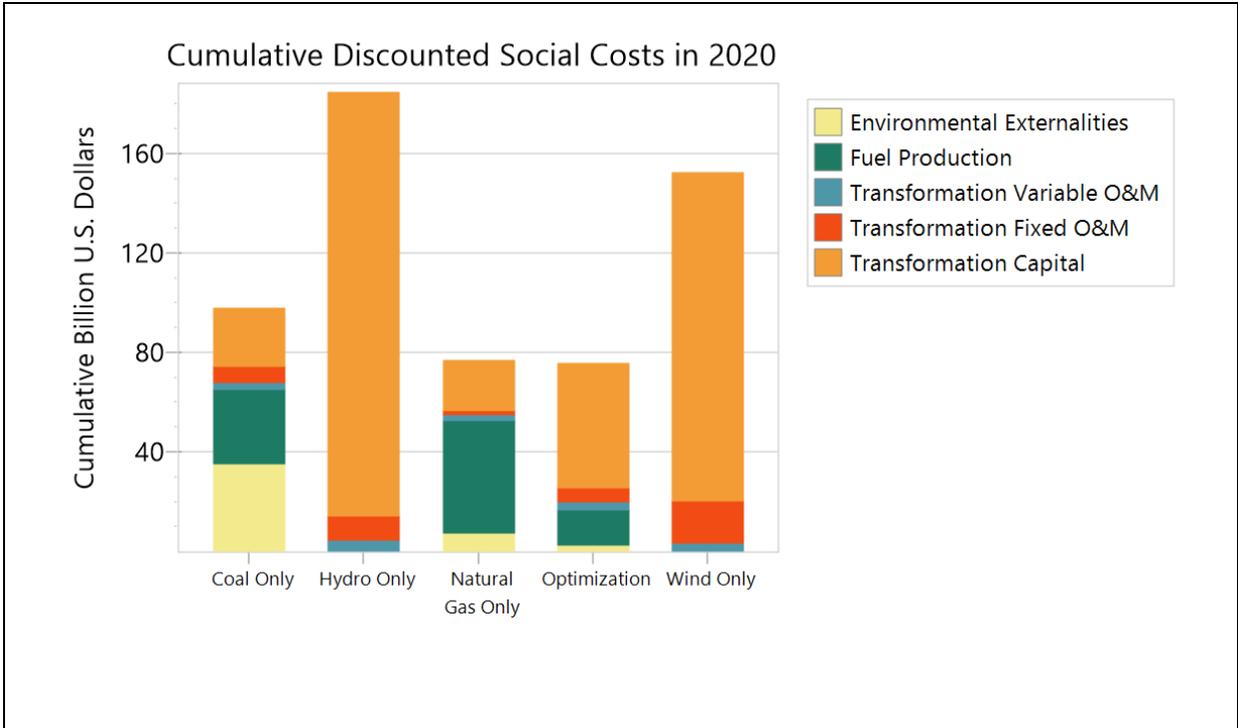
Выберите ветвь Transformation\Electric Generation и затем выберите переменную **Optimize**. Измените ее значение с **Нет** на **Да**. Если вы не видите эту переменную, проверьте, что в данный момент вы редактируете сценарий Оптимизация (эта переменная не появляется в Текущих операциях).

Обратите внимание, что вам не нужно устанавливать **правило диспетчеризации** для этого сценария, поскольку LEAP будет использовать оптимизационные расчеты, чтобы решить, сколько диспетчеризировать каждый процесс. Таким образом, **правило диспетчеризации** скрыто для всех сценариев, использующих оптимизацию. Это все, что вам нужно сделать!



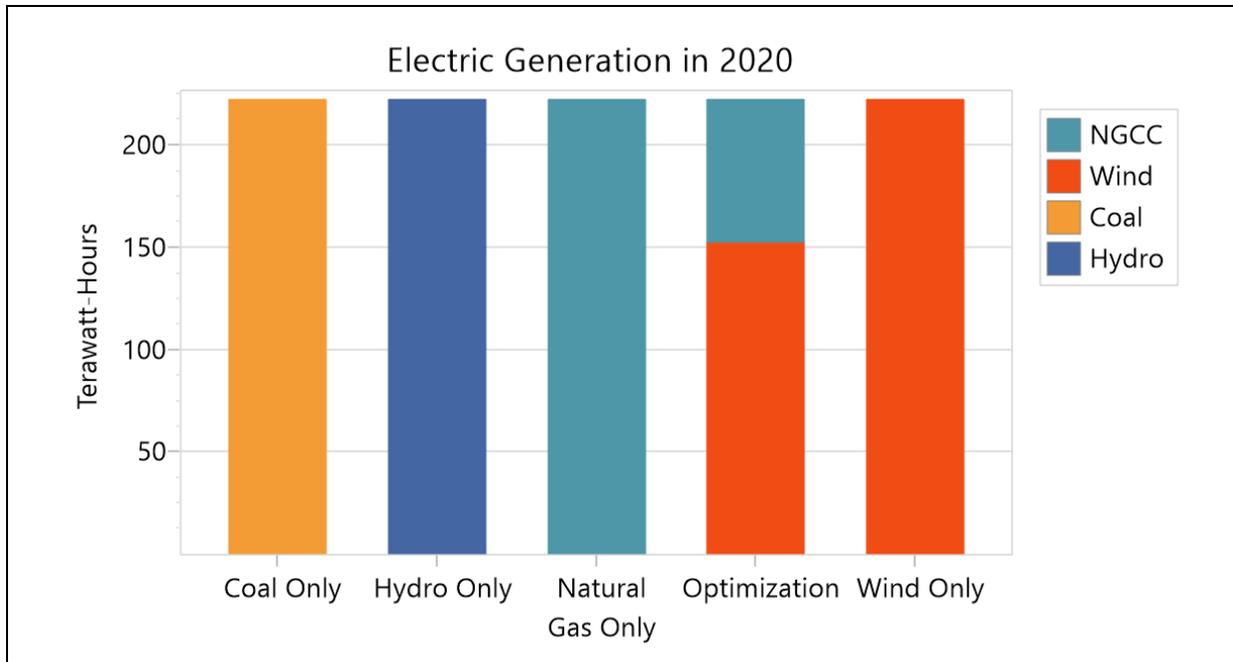
Теперь снова выберите **Вид результатов**. LEAP снова пересчитает свои результаты. Вы можете заметить, что во время расчетов LEAP будет делать паузы, во время которых будет запускаться оптимизационная модель OSeMOSYS, которая используется для расчета сценария оптимизации.

После завершения расчетов вы можете снова показать избранный результат Затраты по сценариям. Вы должны увидеть график, подобный показанному ниже. Обратите внимание, что LEAP теперь создал результаты для этого нового сценария оптимизации. Вы должны увидеть, что общие социальные затраты немного дешевле, чем даже самый дешевый из других сценариев, которые вы создали ранее.





Чтобы понять, как это возможно, давайте рассмотрим еще один график, показывающий **трансформацию: Выход продукции по выходному топливу** по процессам для каждого сценария в 2020 году.



Обратите внимание, что в отличие от других однотехнологических сценариев моделирования, в оптимизационном сценарии LEAP выбрал сочетание электростанций. Поскольку форма нагрузки, которую мы ввели ранее, варьируется в зависимости от сезона и времени суток, будут некоторые периоды, когда существует очень высокий пиковый спрос. Эти периоды благоприятствуют электростанциям, которые относительно дешевы в строительстве, но дороги в эксплуатации (NGCC). Периоды базовой нагрузки благоприятствуют электростанциям, которые являются более капиталоемкими, но имеют низкие эксплуатационные расходы (например, ветровые).

*Используйте LEAP для анализа результатов и попытайтесь ответить на следующий вопрос:*

- *Как изменится оптимальное расширение энергосистемы, если не учитывать стоимость внешних эффектов?*

## 7.6 Использование ограничений для определения предельной концентрации CO<sub>2</sub>

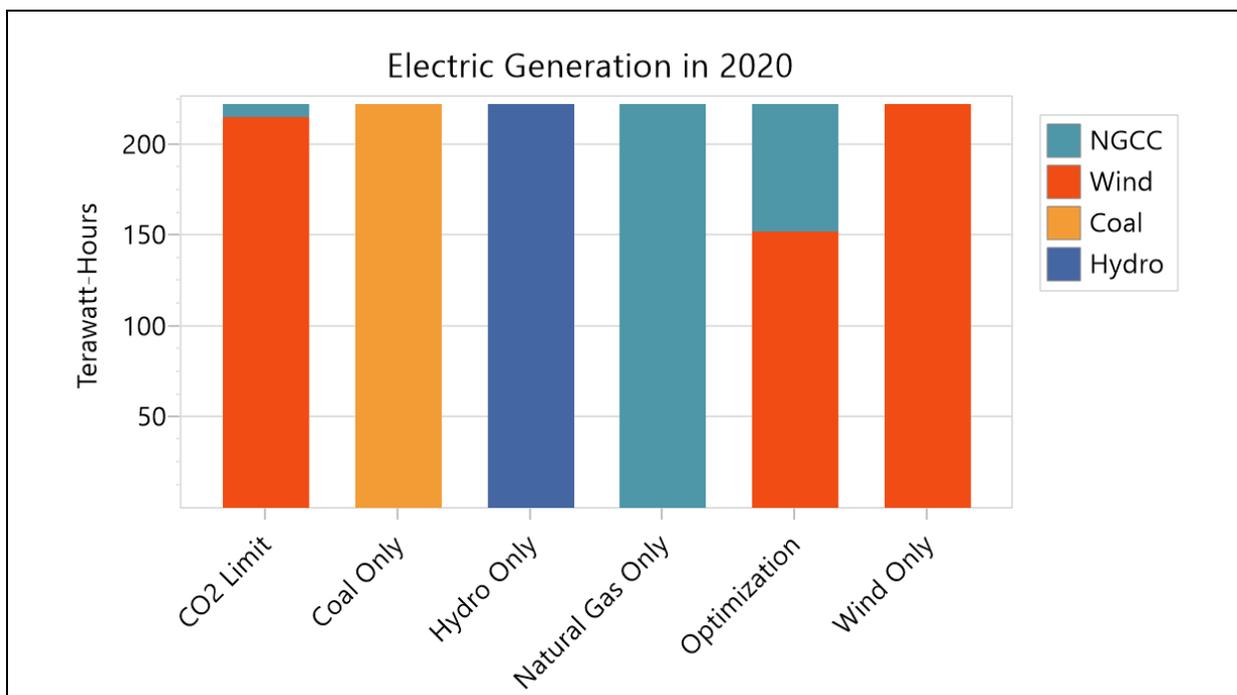
В следующем упражнении вы создадите дополнительный сценарий, который рассмотрит, как изменится выбор технологий с наименьшими затратами, если на систему будет наложен максимальный уровень выбросов CO<sub>2</sub>.

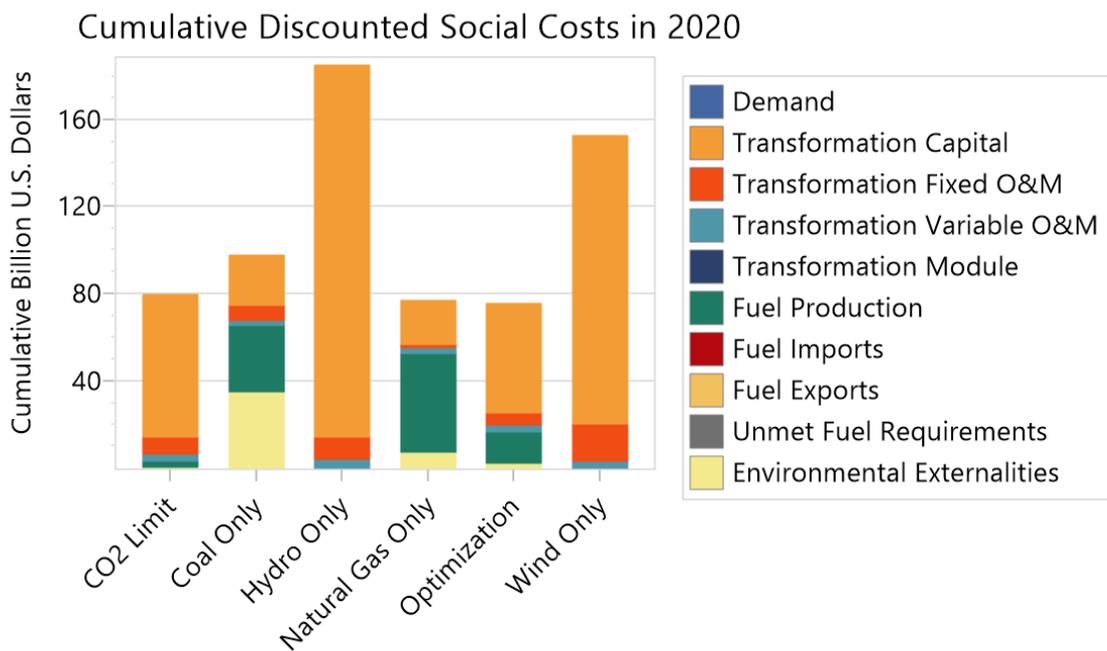
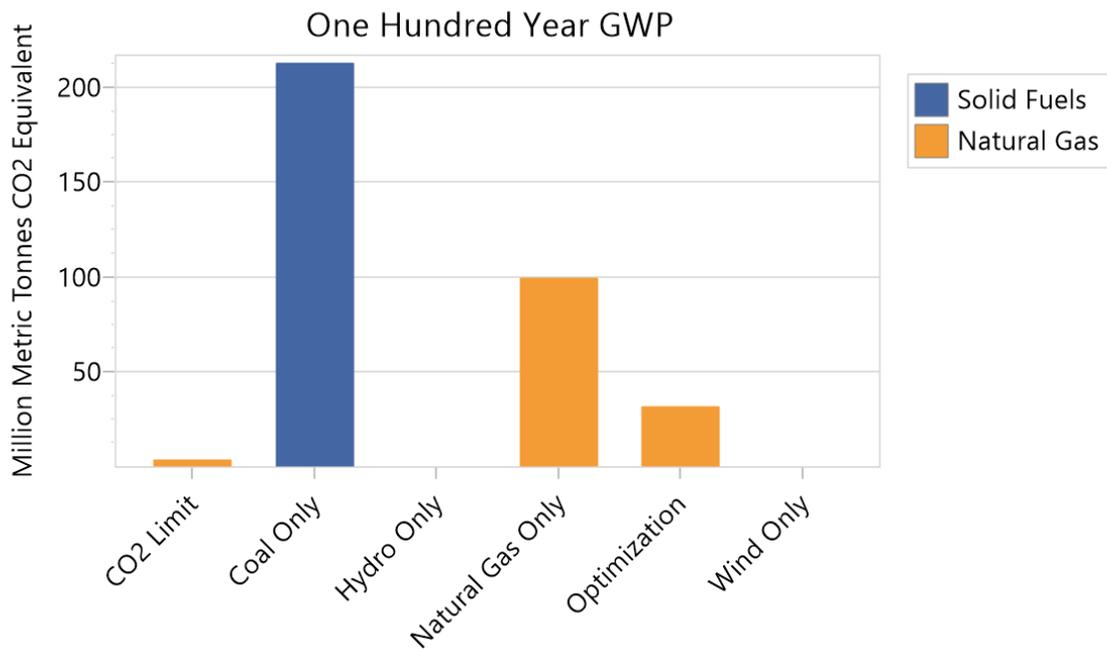
Чтобы создать ограничение на выбросы, сначала вернитесь на вкладку Оптимизация на экране **Настройки** и убедитесь, что флажок *Включить ограничения на выбросы* установлен.

Теперь вернитесь на главный экран и добавьте новый эффект в ветке "Эффекты" для диоксида углерода. Для текущих операций и всех существующих сценариев не требуется никаких ограничений, поэтому просто оставьте *неограниченное* выражение по умолчанию в переменной **Annual Emission Constraint**.

Затем перейдите на экран **"Сценарии"** и создайте новый сценарий под названием "CO2 Limit", который наследуется от сценария "Оптимизация". Вернитесь на главный экран и для этого сценария введите значение в миллион<sup>3</sup> метрических тонн в переменной **"Ежегодное ограничение выбросов"** для диоксида углерода.

Наконец, снова выберите **"Просмотр результатов"** и просмотрите результаты по выработке электроэнергии, общим выбросам парниковых газов и общим социальным затратам. Вы должны увидеть графики, подобные приведенным ниже.





**Совет:** чтобы увидеть результаты, совпадающие с показанными здесь, сначала откройте стандартную область "Optimization Exercise" в LEAP, затем используйте **Area: Revert to Version** и выберите версию "Optimization Exercise Complete".

*Используйте LEAP для анализа результатов и попытайтесь ответить на следующие вопросы:*

- 1. Какое влияние оказывает ограничение выбросов на мощность электроэнергии, включенной в систему?*
- 2. Как это изменит профиль оптимальной установленной мощности?*
- 3. Оказывает ли это влияние на диспетчеризацию электроэнергии?*

## **7.7 Использование собственных данных**

Теперь вернитесь и пересмотрите капитальные, эксплуатационные и топливные затраты, использованные в этом упражнении, а также технические параметры, включая срок службы, эффективность, максимальную готовность и кредит мощности.

Имейте в виду, что значения, используемые в этом упражнении, являются только примерными: они не обязательно должны быть реалистичными (и, конечно, вы не должны использовать их в реальном исследовании!).

- Как эти значения соотносятся с затратами на производство электроэнергии в вашей стране?
- Попробуйте заменить капитальные затраты и затраты на топливо, использованные в этом упражнении, своими собственными данными (если они доступны). Как изменится оптимальное сочетание электростанций?
- Наконец, подумайте, какие из этих переменных могут измениться в будущем. Например, вы можете подумать о том, что многие возобновляемые технологии, такие как солнечная и ветровая энергия, в последние десятилетия значительно подешевели, в то время как цены на ископаемое топливо (особенно нефть) в целом росли. Попробуйте ввести несколько выражений роста, чтобы описать эти тенденции. Какое влияние эти изменения оказывают на оптимальное сочетание электростанций?

Данная публикация стала возможна благодаря поддержке американского народа через Агентство США по международному развитию (USAID). Содержание данной публикации является исключительной ответственностью компании Tetra Tech ES, Inc. и не обязательно отражает точку зрения USAID или правительства США.