

РУКОВОДСТВО ПО МОДЕЛИ ЕЗ.КЗ

Published by:

giz Deutsche Gesellschaft
für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Supported by:



Federal Ministry
for the Environment, Nature Conservation,
Nuclear Safety and Consumer Protection



INTERNATIONAL
CLIMATE
INITIATIVE

based on a decision of
the German Bundestag

Как предприятие, находящееся в федеральной собственности, GIZ поддерживает правительство Германии в достижении его целей в области международного сотрудничества для устойчивого развития.

Опубликовано:
Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Зарегистрированные офисы:
Бонн и Эшборн, Германия

Адрес:
Deutsche Gesellschaft für
Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH
Köthener Str. 2
10963, Berlin, Germany
T +49 61 96 79-0
F +49 61 96 79-11 15
E info@giz.de
I www.giz.de/en

Описание проекта:
Рекомендации по выработке политики для экономического развития,
устойчивого к изменению климата

Руководитель проекта:
Др. Себастьян Хомм
sebastian.homm@giz.de

Авторы:
Др. Анетт Гросманн, Франк Хохманн | Оснабрюк,

Редактор:
Дана Ермолёнок, Караганда

Перевод:
Дмитрий Калмыков, Караганда

Дизайн и верстка:
Альвира Ертаева, Астана

Источники фото:
©rexels

Данный отчет был разработан международными экспертами Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung (GWS) (Институт исследования экономических структур) в рамках глобальной программы IKI "Рекомендации по выработке политик для экономического развития, устойчивого к изменению климата" (CRED), реализуемой Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH (Германское общество по международному сотрудничеству) по поручению Федерального министерства окружающей среды, охраны природы, ядерной безопасности и защиты прав потребителей Германии (BMUV).

Содержание данного отчета является исключительной ответственностью авторов и никоим образом не может отражать официальное мнение глобальной программы GIZ.

От имени
Федеральное министерство окружающей среды, охраны природы,
ядерной безопасности и защиты прав потребителей Германии (BMUV)

Германия, 2025 год



РУКОВОДСТВО ПО МОДЕЛИ ЕЗ.KZ

ОБНОВЛЕНИЕ 2025 ГОДА

КОМАНДА

Др. Анетт Гроссманн, Фрэнк Хохманн (GWS)

Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung (GWS)
GmbH / Институт исследования экономических структур
Heinrichstr. 30

49080 Osnabrück (Germany)

T: +49 (541) 40933-180, E: grossmann@gws-os.com

T: +49 (541) 40933-130, E: hohmann@gws-os.com

GWS SPECIALISTS IN
EMPIRICAL ECONOMIC
RESEARCH

СОДЕРЖАНИЕ

[Как] Обновление данных для существующей переменной модели	1
[Как] Добавить новую переменную модели	2
[Как] Изменение регрессий	3
[Как] Изменить код модели (VBA)	4
[Как] Создать сценарий (или [Как] настроить переменные модели)	4
[Как] Оценить результаты одного сценария	6
[Как] Сравнить и оценить результаты двух сценариев	7
1 ВВЕДЕНИЕ	8
1.1 ЕЗ.kz – Инструмент для моделирования экономических последствий изменения климата и адаптации в Казахстане	10
1.2 Структура руководства по модели е3.kz	13
2 ФРЕЙМВОРК ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛЕЙ DIOM-X	14
2.1 Обзор	14
2.2 Этапы построения модели	15
2.3 Фреймворк модели	16
2.4 Листы MS Excel	17
2.4.1 DATASET/ Набор данных	17
2.4.2 RowColDesc	19
2.4.3 VALUES/ Значения	20
2.4.4 MODEL/ Модель	21
2.4.5 SCENARIO/ Сценарий	22
2.4.6 RESULTS/ Результаты	24
2.5 Среда программирования VBA	25
2.6 Модули	27
2.6.1 DATASET/ Набор данных	27
2.6.2 MODEL CORE/ Ядро модели	28
2.6.3 Модель	30

2.7 Регрессионный анализ с помощью "R"	32
3 ЕЗ.KZ – МОДЕЛЬ ЭКОНОМИКИ – ЭНЕРГИИ – ЭМИССИЙ ДЛЯ КАЗАХСТАНА	40
3.1 Структура папок е3.kz	41
3.2 Экономическая модель	42
3.2.1 Общий обзор	42
3.2.2 Набор данных	44
3.2.3 Реализация в DIOM-X	44
3.3 Расширение экономической модели на субнациональном уровне	50
3.3.1 Общий обзор	50
3.3.2 Набор данных	52
3.3.3 Реализация в DIOM-X	52
3.4 Энергетический модуль	55
3.4.1 Общий обзор	55
3.4.2 Набор данных	56
3.4.3 Реализация в DIOM-X	57
3.5 Модуль эмиссий	62
3.5.1 Общий обзор	62
3.5.2 Набор данных	62
3.5.3 Реализация в DIOM-X	63
4 СЦЕНАРНЫЙ АНАЛИЗ ИЛИ АНАЛИЗ «ЧТО, ЕСЛИ»	64
4.1 Общие положения	64
4.2 Сценарии изменения климата и адаптации	66
4.2.1 Набор данных	69
4.2.2 Реализация сценариев	74
4.2.3 Реализация региональных сценариев	80
4.2.4 Оценка результатов сценариев	81
Список литературы	90
Экскурс: IO-анализ	92
Приложения	95

Список рисунков

Рисунок: 1	Процесс CRED: Макроэкономическое моделирование для разработки политики на основе фактических данных	9
Рисунок: 2	Обзор модели E3.kz в MS Excel	12
Рисунок: 3	Рабочий лист Dataset	17
Рисунок: 4	Рабочий лист RowColDesc	19
Рисунок: 5	Рабочий лист Values	20
Рисунок: 6	Рабочий лист Model	21
Рисунок: 8	Рабочий лист Results	24
Рисунок: 9	Настройки Excel для разработчиков	25
Рисунок: 10	Лента Excel с активированными параметрами разработчика	26
Рисунок: 11	Отладка модели	26
Рисунок: 12	Модуль Dataset	27
Рисунок: 13	Алгоритм обработки модели (диаграмма Насси-Шнейдермана)	28
Рисунок: 14	Подпрограммы Calculate и HasConverged	31
Рисунок: 15	Рабочий лист Values	33
Рисунок: 16	Папка regs в структуре модели e3.kz	34
Рисунок: 17	"R" графический интерфейс пользователя	35
Рисунок: 18	Примеры регрессионных уравнений	36
Рисунок: 19	Обзор результатов статистических тестов с помощью функции summary()	37
Рисунок: 20	Вспомогательные функции в vbaLib.R	38
Рисунок: 21	Модуль Regressions	39
Рисунок: 22	Обзор модели E3.kz	40
Рисунок: 23	Структура папки e3.kz	41
Рисунок: 24	Упрощенная схема макроэконометрической модели ввода-вывода (IO)	43
Рисунок: 25	Подробная иллюстрация макроэконометрической модели ввода-вывода (IO)	45
Рисунок: 26	Субнациональное моделирование	51
Рисунок: 27	Подробная схема субнационального моделирования	53
Рисунок: 28	Энергетический модуль в общих чертах	56
Рисунок: 29	Подходы к прогнозированию элементов энергетического баланса	58
Рисунок: 30	Построение сценария	64
Рисунок: 31	Сравнение сценариев	66
Рисунок: 32	Четырёхэтапный подход к реализации изменения климата и адаптации в экономической модели	67
Рисунок: 33	Реализация ущерба от изменения климата в e3.kz	69
Рисунок: 34	Рабочая книга "ScenarioInput.xlsx"	75

Рисунок: 35	Шаблон для реализации сценариев воздействия опасных климатических явлений и затрат и выгод от мер по адаптации	76
Рисунок: 36	Рабочий лист "Засуха"	78
Рисунок: 37	Рабочий лист Scenario	79
Рисунок: 38	Запуск модели	79
Рисунок: 39	Инструмент оценки 4 Variables	82
Рисунок: 40	Инструмент оценки _Eval1ScenarioRegio_.xlsb	83
Рисунок: 41	Инструмент оценки _Compare2Scenarios_.xlsb	84
Рисунок: 42	Примеры сравнительной оценки двух сценариев	85
Рисунок: 43	Сценарий «Засуха» (SSP5-8.5): макроэкономические эффекты, 2025–2050 гг., в процентах	86
Рисунок: 44	Сценарий «Засуха» (SSP5-8.5): реальное производство по отраслям в 2050 году, отклонения от гипотетического сценария «Без засухи» (REF) в процентах (ось X) и млрд тенге (*)	87
Рисунок: 45	Сценарий «Засуха» (SSP5-8.5): занятость по отраслям в 2050 году, отклонения от гипотетического сценария "Без засухи" (REF) в тыс. человек	87
Рисунок: 46	Сценарий «Засуха» (SSP5-8.5): потребление энергии в 2050 году, отклонения от гипотетического сценария «Без засухи» (REF) в ktce (верхняя часть рисунка) и в процентах (нижняя часть рисунка)	88
Рисунок 47:	Сценарий «Засуха» (SSP5-8.5): выбросы CO ₂ в 2050 году, отклонения от гипотетического сценария «Без засухи» (REF) в тыс. тонн CO ₂ (верхняя часть рисунка) и в процентах (нижняя часть рисунка)	89
Рисунок 48:	Упрощенная межотраслевая таблица для Казахстана (2017 г.) по импорту (нижняя часть), внутреннему производству (средняя часть) и их совокупности (верхняя часть).	94

Список таблиц

Таблица 1:	Типы корректировок (tweaks)	22
Таблица 2:	Набор данных для экономической модели	44
Таблица 3:	Набор данных для субнационального расширения экономической модели	52
Таблица 4:	Представленные источники энергии	55
Таблица 5:	Набор данных для энергетического модуля	56
Таблица 6:	Общее конечное потребление	60
Таблица 7:	Определение общего объема первичной энергии	61
Таблица 8:	Переменные модели, доступные для корректировки («tweakable»)	65
Таблица 9:	Вероятность возникновения по видам опасных климатических явлений и категориям интенсивности для SSP1-2.6, SSP2-4.5 и SSP5-8.5, 2024–2050 (фрагмент)	71
Таблица 10:	Неденежные убытки	72
Таблица 11:	Отдельные зарегистрированные монетарные убытки (млн. тенге)	73
Таблица 12:	Примеры последствий засухи	76

Приложения

Приложение 1:	Базовые процедуры модели для использования разработчиками модели	95
Приложение 2:	Классификация продукции в межотраслевой таблице Казахстана	96
Приложение 3:	Элементы конечного спроса и общий спрос в межотраслевой таблице Казахстана	98
Приложение 4:	Классификация секторов экономики	98
Приложение 5:	Классификация занятости по секторам экономики	100
Приложение 6:	Показатели национальных счетов	101
Приложение 7:	Компоненты ВВП (по методу расходов)	102
Приложение 8:	Структура населения	102
Приложение 9:	Упрощённая система национальных счетов (SNA)	103
Приложение 10:	Структура энергетического баланса	104
Приложение 11:	Мировые рыночные цены на энергоносители	105
Приложение 12:	Цены на энергоносители	106
Приложение 13:	Средние индексы цен на энергию по отраслям	106
Приложение 14:	Выбросы CO ₂ по секторам	107
Приложение 15:	Косвенные коэффициенты выбросов (имплицитные эмиссионные факторы)	107
Приложение 16:	Соответствие 19-классификации и 72-классификации секторов экономики	108
Приложение 17:	Соответствие 21-классификации и 72-классификации секторов экономики	110
Приложение 18:	Соответствие 72-классификации и 68-классификации секторов экономики	113
Приложение 19:	Уровень Уровень NUTS1 (регионы Казахстана)	116
Приложение 20:	Валовой региональный продукт по отраслям экономики	117

Список сокращений

CGE	Вычисляемое общее равновесие (Computable General Equilibrium)
CHP	Комбинированное производство тепла и электроэнергии (Combined Heat and Power)
CMIP	Проекты по межсравнению климатических моделей (Coupled Model Intercomparison Projects)
COMSTAT	Бюро национальной статистики Министерства национальной экономики Республики Казахстан
CRED	Экономическое развитие, устойчивое к воздействию изменения климата (Climate Resilient Economic Development)
CPA	Статистическая классификация продукции по видам деятельности (Classification of Products by Activity)
CORDEX	Скоординированный региональный эксперимент по региональному моделированию климата (Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment)
DIM	Модель воздействия стихийных бедствий (Disaster Impact Model)
DIOM-X	Динамическая модель ввода-вывода в Excel (Dynamic Input-Output Models in Excel)
EЗ	Экономика, энергетика, выбросы (Economy, Energy, Emissions)
GDP	Валовой внутренний продукт (Gross Domestic Product)
GIZ	Германское общество по международному сотрудничеству (Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit)
GRP	Валовой региональный продукт (Gross Regional Product)
GVA	Валовая добавленная стоимость (Gross Value Added)
GWS	Институт исследования экономических структур (Gesellschaft für wirtschaftliche Strukturfor-schung)
IAM	Модель комплексной оценки (Integrated Assessment Model)
IEA	Международное энергетическое агентство (International Energy Agency)
INFORUM	Межотраслевое прогнозирование при Университете Мэриленда (Interindustry Forecasting at the University of Maryland)
IO	Вход-выход (Input-Output)
IOT	Таблица входа-выхода (Input-Output Table)
MS Excel	Microsoft Excel
NACE	Классификация видов экономической деятельности ЕС (Nomenclature statistique des activi-tés économiques dans la Communauté européenne)
NPISH	Некоммерческие учреждения, обслуживающие домашние хозяйства (Non-profit Institutions Serving Households)
NUTS	Номенклатура территориальных статистических единиц (Nomenclature des unités territoriales statistiques)
OLS	Метод наименьших квадратов (Ordinary Least Squares)
SNA	Система национальных счетов (System of National Accounts)


SOCLIMPACT	Уменьшение масштаба климатических воздействий (DownScaling Climate Impacts)
SSP	Общие социально-экономические пути (Shared Socioeconomic Pathways)
ToPDAd	Разработка политики региональной адаптации с использованием инструментов (Tool-supported Policy Development for Regional Adaptation)
TPES	Общее предложение первичной энергии (Total Primary Energy Supply)
UN	Организация Объединённых Наций (United Nations)
UNFCCC	Рамочная конвенция ООН об изменении климата (United Nations Framework Convention on Climate Change)
VBA	Visual Basic для приложений (Visual Basic for Applications)

КАК...?


В этом разделе представлено краткое описание ключевых шагов, которые могут потребоваться при обновлении и модернизации модели e3.kz. Более подробно эти шаги рассмотрены в следующих разделах руководства по модели. Обязательные шаги обозначены синими стрелками, а необязательные (зависящие от контекста) – бирюзовыми.

ВСЕГДА ПОМНИТЕ: СОХРАНЯЙТЕ СВОИ ИЗМЕНЕНИЯ!

[Как] Обновление данных для существующей переменной модели

- 
1. Обновите запись *Lastdata* на листе *Dataset* для соответствующей переменной согласно последней доступной исторической точке данных
 2. Добавьте новые данные на лист *Values* для соответствующей переменной и соответствующего года
 3. Нажмите кнопку *Run* на листе *Model* и, наконец,
 4. Проверьте, отображается ли новая точка данных на листе *Results sheet*


[Как] Добавить новую переменную модели

- 
1. Добавьте уникальное имя переменной в конец списка на листе *Dataset*
ВАЖНО: соблюдайте правила именования
 2. Укажите **обязательные свойства** на листе *Dataset* (количество строк, столбцов и поле *Lastdata*)
 3. Добавьте **описательные свойства** на листе *Dataset*
 - а) Описание переменной (на английском), единицы измерения, дата последней редакции, источник данных
 - б) Для векторных (и матричных) переменных добавьте описание строк (и столбцов)
 - в) Если ещё нет, на листе *RowColDesc* добавьте описание строк/столбцов (на английском) и их индексы
 4. Нажмите кнопку *Generate*, чтобы обновить список переменных (*Dataset.bas*)
Импортируйте этот файл в VBA, выполнив следующие действия:
 1. В левой панели среды программирования VBA выберите модуль *Dataset*
 2. Щёлкните правой кнопкой и выберите *Remove Dataset*
 3. Снова щёлкните правой кнопкой, выберите *Import file* и загрузите файл *Dataset.bas* из папки, где сохранена рабочая книга *ез.kz*
 5. Добавьте соответствующие **исторические данные** на лист *Values* (если применимо)
 6. Как будет определяться переменная в будущем?
 1. Экзогенно → следующий шаг см. «Создать сценарий»
 2. Оценка → следующий шаг см. «Изменить регрессии»
 3. По определению → следующий шаг см. «Изменить код модели (VBA)»
 7. Нажмите кнопку *Run* на листе *Model* и, наконец,
 8. Проверьте лист *Results*, чтобы убедиться в получении ожидаемого результата.


[Как] Изменение регрессий

- 
1. Нажмите кнопку **Export data for regressions** на листе *Values*, чтобы сформировать файл **series.csv**.
 2. Откройте проект R, дважды щёлкнув по файлу **regs.Rproj** в каталоге *regs* модели.
 3. Запустите файл **allRegs.R** (Ctrl + Shift + Enter), чтобы *загрузить набор данных*.
 4. Выберите соответствующий файл регрессии, например **employment.R**.
Модифицируйте регрессии, выполнив:
 - а) Корректировку пределов (*subset* и *gr*) с учётом новых данных;
 - б) Корректировку спецификации уравнения регрессии.
 5. Запустите файл **allRegs.R** (Ctrl + Shift + Enter), чтобы обновить файл **Regression.bas**, включив *оценённые параметры и уравнения регрессий* в код модели (VBA).
 6. Импортируйте файл **Regression.bas** в VBA, выполнив следующие шаги:
 1. В левой панели среды программирования VBA выберите модуль *Regressions*.
 2. Щёлкните правой кнопкой мыши и выберите **Remove Regressions**.
 3. Снова щёлкните правой кнопкой, выберите **Import file** и укажите файл **Regressions.bas** из папки *regs*, где хранится рабочая книга *ез.kz*.
 7. Нажмите кнопку **Run** на листе *Model* и, наконец,
 8. Проверьте лист *Results*, чтобы убедиться в получении ожидаемого результата.


[Как] Изменить код модели (VBA)

- 
1. Откройте среду программирования VBA (Alt+F11)
 2. Дважды щёлкните нужный модуль
а) Model (экономическая модель)
b) Energy (модуль)
c) Emissions (модуль)
и введите свои уравнения
ВАЖНО: порядок уравнений имеет значение!
 3. Нажмите кнопку Run на листе *Model* и, наконец,
 4. Проверьте, отображается ли новая точка данных на листе *Results*.


[Как] Создать сценарий (или [Как] настроить переменные модели)

- 
1. Добавьте (или выберите) переменную модели, которую нужно скорректировать, на листе *Scenario*
ВАЖНО: не каждую переменную / не каждый элемент можно корректировать
 2. Укажите обязательную информацию на листе *Scenario* (количество строк, столбцов, тип корректировки и активация)
 3. При необходимости включите интерполяцию
 4. Введите значения для соответствующих лет
ВАЖНО: корректировка невозможна до значения *lastdata*
ПОДСКАЗКА: некоторые допущения требуют вспомогательных расчётов, которые следует выполнять в книге "*ScenarioInput.xlsx*"
 5. При необходимости (де)активируйте другие корректировки
 6. Нажмите кнопку *Run* на листе *Model* и, наконец,
 7. Проверьте лист *Results*, чтобы убедиться в получении ожидаемого результата

[Как] Оценить результаты одного сценария

- 
1. Нажмите кнопку **Run** на листе *Model*.
 2. После каждого запуска модели **полный набор данных** (исторический и прогнозный) **автоматически копируется на лист *Results***.
 3. **Оцените результаты**
ВАЖНО: результаты выводятся как абсолютные значения для одного сценария!
 - а) Подготовленный инструмент оценки на листе *"4 Variables"* позволяет выбрать до четырёх переменных (укажите имя переменной, строку и столбец в темно-сером поле).
→ Значения можно **отображать** в соответствующих единицах, как среднегодовые темпы роста или в виде индексных значений.
 - б) Пользователи модели могут создавать собственные представления данных на основе листа *Results*.

[Как] Сравнить и оценить результаты двух сценариев

- 
1. Откройте файл *Compare2Scenarios.xlsb* в папке *scenarios* (**ВАЖНО:** разрешите выполнение макросов).
 2. Нажмите кнопку «1. Step: Update List of Scenarios» на листе *SelectScenarios* (необходимо обновлять при расчёте новых сценариев).
 3. В левом окне выберите сценарий, который будет служить базовым (reference).
 4. В правом окне выберите сценарий, который будет альтернативным.
 5. При необходимости **расширьте** на листе *SelectScenarios* список переменных, которые нужно сравнить.
 6. Нажмите кнопку «2. Step: Read and COMPARE Results» (обновление требуется каждый раз после выбора новых сценариев).
 7. Проанализируйте результаты.
ВАЖНО: результаты выводятся как разницы между двумя сценариями по выбранным переменным модели!
 - а) Преднастроенные графики на листах **серого** цвета показывают различия за один год. Соответствующий год выбирается в **красном** поле на листе *SelectScenarios*.
 - б) Преднастроенные графики на листах **красного** цвета показывают различия за 2022–2050 гг.

1 ВВЕДЕНИЕ

Изменение климата ставит перед Казахстаном серьёзные вызовы. О его критической значимости для страны заявил Президент Республики Казахстан г-н Токаев в ходе общих прений 75-й сессии Генеральной Ассамблеи ООН: «Казахстан очень уязвим к различным последствиям изменения климата» (ГА ООН, 2020). Страна уже сталкивается с повышением температуры, изменением режима осадков, а также с более частыми, интенсивными и повторяющимися экстремальными погодными явлениями, такими как засухи и наводнения.

Изменение климата влияет не только на окружающую среду, но и ведёт к значительным экономическим потерям, затрагивает ключевые отрасли промышленности и создаёт угрозу для рабочих мест, национального богатства и качества жизни населения.

Адаптация к изменению климата направлена на минимизацию негативных последствий и максимальное использование возможных выгод. Существуют различные подходы к адаптации и оценке рисков для конкретных секторов экономики и типов климатических угроз. Однако макроэкономические последствия и межотраслевые эффекты изменения климата и адаптационных мер, выходящие за рамки анализа отдельных секторов, как правило, остаются неизвестными.

Между тем, понимание совокупных экономических последствий изменения климата и адаптационных мер в терминах влияния на ВВП, занятость и выбросы CO₂ имеет критическое значение для разработки климатоустойчивых стратегий экономического развития Казахстана. Экологически расширенные макроэкономические модели в сочетании со сценарным анализом предоставляют эффективные инструменты для поддержки политических решений в этой области.

Глобальная программа «Рекомендации по выработке политики для экономического развития, устойчивого к изменению климата» (CRED), продолженная в рамках фазы CREDII, оказывает поддержку профильным министерствам Казахстана, а также Грузии и Вьетнама в разработке стратегий и планов экономического развития с учётом климатических факторов. Основные направления работы включают:

- (1) Разработку методов и инструментов для моделирования экономических последствий изменения климата
- (2) Повышение потенциала через обучение и тренинги: поддержку ключевых исполнительных агентств и партнёров по реализации с целью формирования их самостоятельности в использовании макроэкономических моделей
- (3) Содействие ключевым исполнительным агентствам и заинтересованным сторонам в интеграции результатов моделирования в процессы разработки политики и планирования адаптации (включая запланированные продукты и мероприятия в рамках консультационной поддержки).

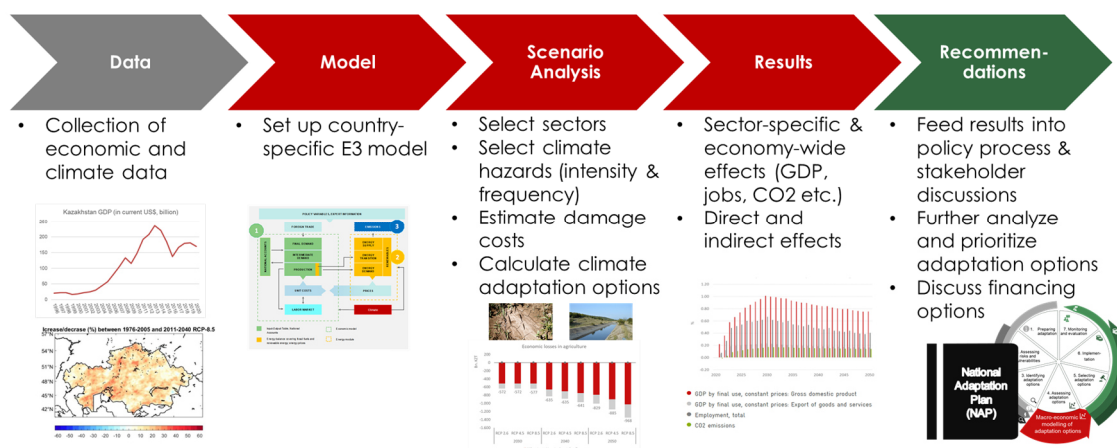


Рисунок: 1 Процесс CRED: Макроэкономическое моделирование для разработки политики на основе фактических данных

Источник: GIZ

Полученные макроэкономические результаты используются в обсуждениях с заинтересованными сторонами и в политических процессах (Dekens and Hammill 2021, GIZ 2025b) для поддержки принятия научно обоснованных решений в сфере адаптации.

Процесс сопровождался активным обменом мнениями с казахстанскими партнёрами и экспертами, а также сотрудничеством между Министерством национальной экономики Республики Казахстан (МНЭ), Институтом экономических исследований (ЕРИ), GWS и GIZ. Это сотрудничество привело к **разработке и практическому применению макроэконометрической модели e3.kz¹ для Казахстана.**

В период с ноября 2023 года по март 2024 года существующие модели ЕЗ, используемые в Грузии и Казахстане, были расширены, обновлены и адаптированы к новым сценариям изменения климата (SSP1-2.6, SSP2-4.5 и SSP5-8.5), а также к адаптационным мерам, основанным на более детальном анализе затрат и выгод. В этом процессе принимали участие национальные и международные эксперты, включая ЕРИ, AvantGarde Group, Berlin Economics и Earthfield Advisories.

Модель e3.kz помогает понять и количественно оценить макроэкономические последствия изменения климата и реализуемых адаптационных мер путём проведения сценарного анализа. Сценарии изменения климата и адаптации были разработаны на основе информации и данных о наиболее актуальных опасных климатических явлениях, их воздействии на ключевые отрасли, а также о подходящих вариантах адаптационных решений. Результаты модели e3.kz отражают не только прямые, но и косвенные и индуцированные макроэкономические последствия, в том числе влияние на ВВП, импорт, отраслевое производство и занятость в Казахстане, с учётом существующих экономических взаимосвязей. Моделирование сценариев изменения климата демонстрирует, какие последствия могут наступить **в условиях изменения климата** при отсутствии вмешательства, тем самым повышая осведомлённость в условиях неопределённости.

¹ Модели ЕЗ состоят из трёх взаимосвязанных частей: экономической модели (1), дополненной модулями энергии (2) и эмиссий (3). Аббревиатура kz указывает на Казахстан, для которого разработана эта модель.

Моделирование адаптационных сценариев, в свою очередь, помогает политикам определить те меры, которые являются наиболее эффективными и оказывают положительное влияние на экономику, занятость и окружающую среду (так называемые «беспронгрышные» варианты).

Однако, несмотря на важность финансово-экономических показателей при выборе наилучших адаптационных мер, необходимо учитывать и другие критерии, выходящие за рамки модели. Среди них – аспекты, связанные со здоровьем населения, а также экосистемные услуги, включая сохранение биоразнообразия и регулирование водного баланса. Только с учетом этих факторов можно получить всестороннюю оценку и сформулировать полноценную и устойчивую стратегию адаптации.

В рамках программ CRED I и CRED II были подготовлены казахстанские разработчики и пользователи моделей (в частности, специалисты из ERI). Для них данное обновлённое руководство по модели служит справочным материалом для последующих тренингов и дальнейшего применения модели. Дополнительно были подготовлены вспомогательные материалы в формате презентаций PowerPoint и записанных видеосессий, использованных в ходе обучающих мероприятий и коуч-сессий. Также были созданы сокращённые обучающие видеоролики по следующим темам:

1. Общее представление о структуре модели DIOM-X
2. Как настроить переменные модели
3. Как проводить сценарный анализ
4. Как оценивать результаты одного сценария
5. Как сравнивать и анализировать два сценария
6. Как обновить историческую базу данных
7. Как расширить базу данных модели
8. Как модифицировать регрессии
9. Как редактировать код модели (VBA)

Первые пять видеороликов ориентированы на пользователей и разработчиков моделей. Видеоролики с шестого по девятый особенно полезны для специалистов, занимающихся разработкой моделей.

1.1 e3.kz – Инструмент для моделирования экономических последствий изменения климата и адаптации в казахстане

Чтобы экономическая модель учитывала влияние изменения климата, она должна отражать не только прямые экономические последствия, вызванные климатическими воздействиями (и мерами адаптации), но и учитывать межотраслевые связи и цепочки поставок. Кроме того, такая модель должна количественно оценивать долгосрочное экономическое развитие (до 2050 года), чтобы продемонстрировать как текущие, так и будущие последствия изменения климата.

Существует три основных типа макроэкономических моделей, классифицируемых в зависимости от лежащей в их основе философии и понимания экономических взаимодействий: модели вычисляемого общего равновесия (CGE), статические модели ввода-вывода/ затрат-выпуска (IO – Input-Output), и макроэконометрические (или динамические) модели затрат-выпуска (согласно Máñez et al., 2016). Объединение климатических и экономических моделей формирует

комплексные оценочные модели (IAM) и модели оценки воздействия стихийных бедствий (DIM) (см. Lehr et al., 2020).

Для Казахстана наиболее подходящим является макроэконометрический (динамический) подход в сочетании со сценарным анализом – он позволяет анализировать общеэкономические последствия изменения климата и адаптационных мер². В отличие от статических моделей, которые ограничиваются сравнением ситуаций до и после изменений (сравнительный статистический анализ), динамическая модель IO оперирует во временной перспективе и учитывает процессы экономического роста и структурной трансформации.

Международный опыт, а также практическая работа GWS в аналогичных проектах, таких как SOCLIMPACT³ и ToPDad⁴, подтверждают, что данный подход соответствует требованиям и может быть успешно реализован (Aaheim et al., 2015; Lehr et al., 2016, 2018, 2020).

Кроме того, модели ввода-вывода (IO) уже используются в партнёрской организации ERI, что создаёт дополнительные предпосылки для эффективной реализации. Поскольку Казахстан находится в процессе перехода к «зелёной экономике», динамическая модель IO была расширена до модели ЕЗ (экономика – энергия – эмиссии), что позволяет учитывать взаимосвязи между мерами адаптации, смягчения последствий изменения климата и достижением целей, предусмотренных Определяемым на национальном уровне вкладом (ОНУВ).

Подход к моделированию, ключевые требования и набор необходимых данных были совместно определены и согласованы с казахстанскими партнёрами и экспертами (включая ERI, Жасыл Даму, Талап, Бюро национальной статистики) в ходе очных и дистанционных встреч в 2020 году.

Требования к данным и техническому уровню модели были намеренно сохранены на умеренном уровне для обеспечения устойчивости и практической применимости модели, что также способствует её дальнейшему использованию и передаче казахстанским партнёрам. В то же время, модель остаётся гибкой, расширяемой и допускает интеграцию экспертного вклада.

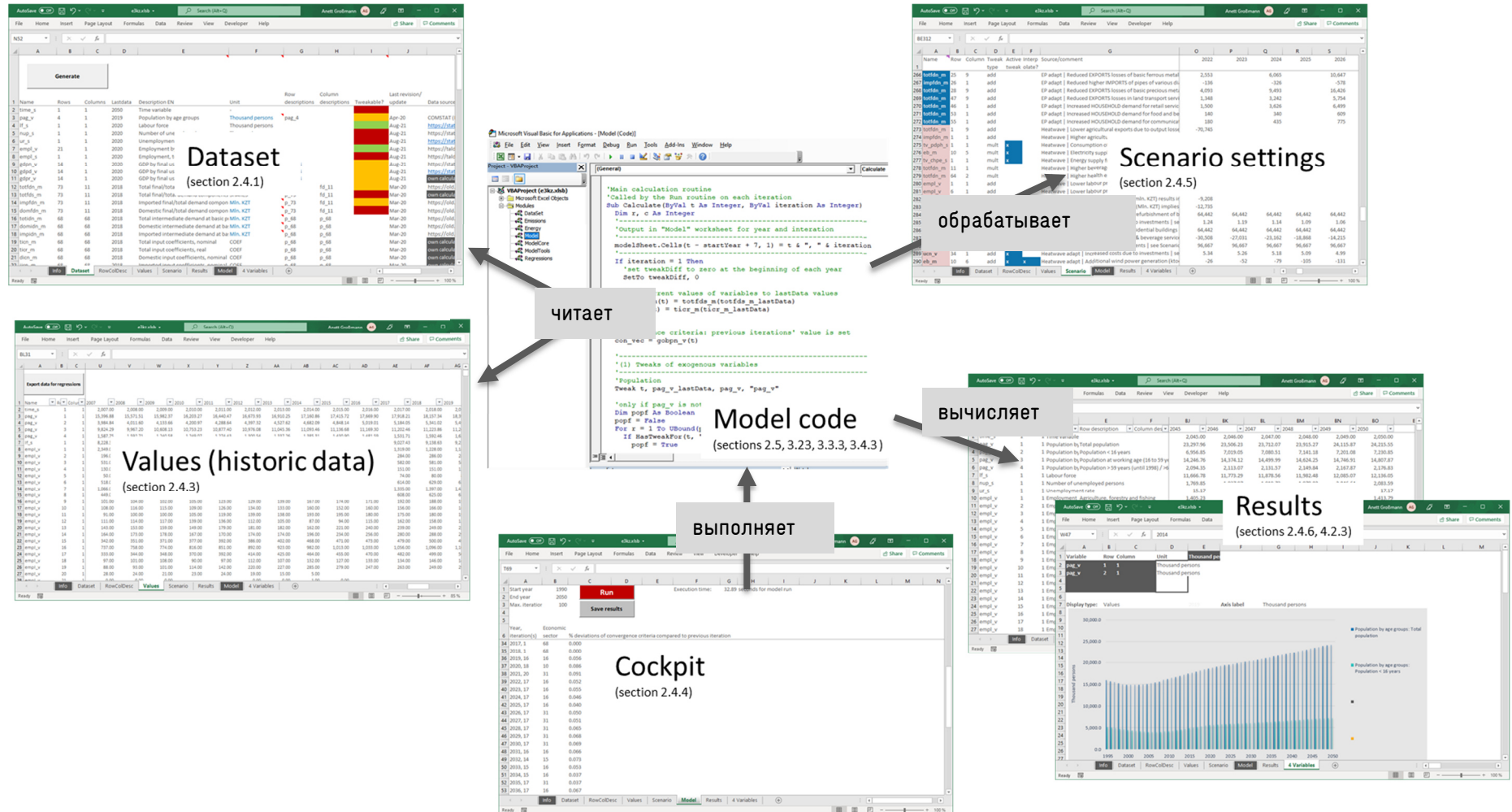
Модель e3.kz полностью разработана в Microsoft (MS) Excel с использованием фреймворка DIOM-X для построения моделей. Фреймворк основан на встроенном языке программирования Excel Visual Basic for Applications (VBA) и был разработан для создания динамических моделей ввода-вывода в Excel (Großmann и Hohmann 2019). Код фреймворка модели DIOM-X и сопроводительная документация являются ранее созданными разработками GWS. Они предоставляются на безвозмездной основе с неисключительными правами только партнерам проекта и участникам обучения. Их использование допускается в рамках «добросовестного использования» для эксплуатации, сопровождения и расширения модели ЕЗ, но не для создания аналогичных и/или коммерческих продуктов.

Полная база данных модели, её уравнения, настройки сценариев и результаты расчётов содержатся в одной Excel-книге, что обеспечивает прозрачность, удобство редактирования и расширения всех компонентов модели (см. рисунок 2, соответствующие разделы руководства указаны в скобках).

² Подробное описание этих воздействий см. в GIZ (2021).

³ <https://soclimpact.net/>

⁴ <http://www.topdad.eu/>



1.2 Структура Руководства по модели e3.kz

Данное руководство содержит подробное описание модели e3.kz и предназначено для её разработчиков и пользователей. Оно призвано способствовать активному и самостоятельному использованию модели в практической работе.

В главе 2 представлено подробное техническое описание модели. В разделе 2.2 изложены основные этапы построения модели, на которых базируется структура и дизайн системы построения модели DIOM-X (раздел 2.3). В разделе 2.4 описывается файл Microsoft (MS) Excel, содержащий модель e3.kz, включая её различные рабочие листы и функциональные возможности. В разделе 2.5 рассмотрена среда программирования VBA, а в разделе 2.6 - отдельные модули модели.

Помимо Microsoft Excel, для проведения регрессионного анализа используется программное обеспечение R. В разделе 2.7 представлена информация о взаимодействии между Excel и R, включая порядок обмена данными и уравнениями регрессий.

Глава 3 посвящена описанию трёх взаимосвязанных компонентов модели - экономики, энергетики и эмиссий. В разделе 3.1 приводится общий обзор подхода к построению модели e3.kz для Казахстана. В последующих разделах 3.2 - 3.5 подробно объясняются структура, используемые наборы данных и реализация каждой из трёх компонент в системе DIOM-X.

В заключительной главе 4 даётся введение в сценарный анализ с использованием модели e3.kz. Описываются цели анализа типа "что, если", требования к данным и порядок внедрения сценариев адаптации к изменению климата в структуру модели.

К руководству прилагается Excel-файл e3kz.xlsm, содержащий код фреймворка модели, полный набор данных, все уравнения (включая регрессионные), а также результаты моделирования. Модель e3.kz является результатом сотрудничества консультантов GWS Анетт Гроссмани и Франка Хохманна и Института экономических исследований (ERI, Астана, Казахстан).

Мы также выражаем благодарность сотрудникам GIZ в Казахстане Даниле Ермоленко и Альвире Ертаевой, а также переводчице Игорю Бауэру и Мадине Камашевой за постоянную поддержку процесса наращивания потенциала.

Если у вас возникнут вопросы и/или комментарии, пожалуйста, свяжитесь с нами по электронной почте:

grossmann@gws-os.com по вопросам моделирования, изменения климата и адаптации

hohmann@gws-os.com по вопросам системы построения моделей DIOM-X

2 ФРЕЙМВОРК ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛЕЙ DIOM-X

2.1 Обзор

Сегодня существует множество языков программирования, каждый из которых был разработан для решения определённых задач или улучшения конкретных характеристик других языков. В принципе, практически любой из них может быть использован для построения экологически расширенной экономической модели (ЕЗ модели), хотя каждый язык имеет свои преимущества и ограничения.

MS Excel, как типичное приложение для работы с электронными таблицами, чаще всего используется для выполнения статических аналитических задач, отображая взаимосвязи между переменными с помощью формул и связей между ячейками. Однако такой подход не подходит для полноценного моделирования ЕЗ, поскольку сложные взаимозависимости не могут быть эффективно выражены исключительно через формулы в ячейках.

Именно поэтому фреймворк DIOM-X основан на языке программирования VBA, встроенном в MS Excel. Ядром модели ЕЗ является система уравнений, описывающих различные экономические и экологические взаимосвязи. Из-за большого количества переменных и уравнений такая система не может быть решена в явном виде и требует применения итерационного алгоритма.

Большинство пользователей Excel не используют VBA, хотя он входит в состав пакета MS Office. Использование Excel в качестве фреймворка для моделей ввода-вывода (IO) остаётся привлекательным по нескольким причинам:

- MS Excel установлен на большинстве рабочих компьютеров;
- Статистические данные часто доступны в формате Excel;
- Существующие навыки работы с Excel можно использовать при работе с моделью;
- Данные (исторические и прогнозные), сценарии и код модели могут храниться и распространяться как единое целое - в виде рабочей книги Excel;
- Скорость выполнения VBA-кода достаточна для решения моделей ЕЗ среднего размера (от 10 секунд до одной минуты на моделирование).

Любая модель по определению является упрощением реальности. Модель ЕЗ отражает ключевые взаимосвязи внутри экономики и между её секторами, однако опускает детали, не относящиеся к основной теме анализа. Чтобы корректно использовать и интерпретировать модель, разработчики и пользователи должны понимать, какие допущения и упрощения в неё заложены.

Некоторые модели называют «чёрным ящиком», поскольку исходные данные, допущения и уравнения не являются доступными для внешних пользователей. Применяемый здесь подход решает эту проблему: он сохраняет все данные, структуру и программный код в одной Excel-книге, что позволяет изучать, проверять и при необходимости расширять все аспекты модели – то есть реализует принцип «белого ящика».

Фреймворк DIOM-X поддерживает итеративный процесс построения модели, включающий четыре основных этапа (см. раздел 2.2). Основная архитектура фреймворка описана в разделе 2.3.

Система рабочих листов (раздел 2.4) представляет собой визуальный интерфейс модели и обеспечивает взаимодействие пользователя с её основными функциями – такими как загрузка данных, настройка сценариев, выполнение модели и т. д.

В разделе 2.6 рассматриваются ключевые возможности среды VBA. Код модели, включая структуру фреймворка и уравнения, организован в отдельные программные единицы, называемые модулями (раздел 2.7), которые встраиваются в программную среду VBA.

Поскольку функциональные возможности Excel в области регрессионного анализа ограничены, для этой цели дополнительно используется программа R. В разделе 2.7 объясняется, как выполнять регрессионный анализ в среде R и как интегрировать полученные уравнения и коэффициенты в код модели VBA.

2.2 Этапы построения модели

Хотя модели ЕЗ могут существенно различаться по исследовательской направленности и степени детализации, они имеют единый базовый цикл разработки:

1. Управление базой данных
2. Регрессионный анализ
3. Реализация модели
4. Сценарный анализ

(1) Управление базой данных: Основа любой количественной модели – это данные, собранные из различных источников, которые необходимо привести к единому формату перед использованием в модели. Это включает присвоение имён переменным, указание метаданных (например, единиц измерения), а также согласование структуры данных (например, размещение лет по столбцам). DIOM-X предоставляет соответствующие шаблоны и процедуры обработки данных (см. раздел 2.4).

(2) Регрессионный анализ: Наличие исторических данных – важнейшее условие для проведения регрессионного анализа, который используется в эконометрических моделях для оценки параметров поведенческих уравнений. Вместо заимствования эластичностей из литературы, взаимосвязи между переменными, известные из экономической теории, проверяются на основе фактических данных. Функциональность MS Excel в этой области ограничена по сравнению со специализированными инструментами, такими как EViews или R. Для облегчения обмена данными DIOM-X предусматривает экспорт данных в форматы, совместимые с популярными эконометрическими и статистическими программами (см. разделы 2.4.3 и 2.7).

(3) Реализация модели: Главная задача этого этапа – построение структуры модели путём объединения всех уравнений. Большинство уравнений, включая регрессионные и определяющие, взаимосвязаны. Левосторонняя переменная (LHS) одного уравнения может быть правосторонней переменной (RHS) в другом. Одна из ключевых проблем на этом этапе – наличие RHS-переменных, которые ещё не определены, что может вызывать математические ошибки (например, деление на ноль). Чтобы минимизировать такие ошибки, фреймворк DIOM-X сохраняет значения переменных постоянными на прогнозный период, если не задана иная спецификация. Также используется параметр *lastdata*, указывающий последний год с доступными историческими данными, что предотвращает случайную перезапись. Среда программирования VBA предоставляет встроенные

средства отладки – проверку во время выполнения и пошаговый режим исполнения для выявления и устранения ошибок.

(4) Сценарный анализ: Фреймворк DIOM-X предлагает удобный инструмент для проведения сценарного анализа. Пользователи могут задавать набор количественных допущений, которые автоматически подставляются в модель при расчётах. Предположения могут различаться по временному горизонту, величинам и типу (например, темпы роста или замещение стоимости). После выполнения сценария система автоматически копирует полный массив данных (как исторических, так и прогнозных) на рабочий лист «*Results*» для дальнейшего анализа (см. раздел 2.4.6).

Чем сложнее модель, тем менее вероятно, что эти шаги можно выполнить строго последовательно. На практике они реализуются итеративно, поскольку на разных этапах могут выявляться ошибки или недостающие данные, требующие возврата к предыдущим шагам.

Фреймворк DIOM-X активно поддерживает такой итеративный подход, обеспечивая логическую структуру и чёткое разделение различных видов информации.

2.3 ФРЕЙМВОРК МОДЕЛИ

Хотя количественные модели могут значительно различаться по уровню детализации и составу используемых данных, с технической точки зрения они имеют много общих черт: данные должны быть загружены, переменные – подписаны, допущения – введены в модель, система уравнений – многократно решена до достижения заданного критерия сходимости, а результаты – сохранены и проанализированы. Система моделирования DIOM-X учитывает эти общие элементы и реализует их в удобной, независимой от конкретной модели системе, основанной на сочетании визуальных и невизуальных компонентов.

Визуальные компоненты предназначены для взаимодействия как с разработчиками, так и с пользователями модели: они обеспечивают управление базой данных, запуск модели, настройку сценариев и визуализацию результатов моделирования. Вся необходимая информация предоставляется в виде набора рабочих листов, описанных в следующем разделе 2.4. Эти компоненты не требуют навыков программирования, поэтому пользователи с базовыми знаниями работы в MS Excel могут выполнять расчёты, вводить данные и оценивать сценарии. Однако для корректной интерпретации результатов необходимо понимание основных структурных элементов модели.

Невизуальные компоненты связаны с программной частью модели. Фреймворк включает автоматизированные, независимые от содержания модели процедуры для проведения сценарного анализа, а также набор вспомогательных функций, не предусмотренных в стандартном Excel, в частности, для упрощения работы с системой уравнений и матричной алгеброй. Код фреймворка модели отделён от кода конкретной модели и организован в виде отдельных программных блоков, называемых модулями (см. раздел 2.6).

Рабочая книга MS Excel служит единым контейнером как для визуальных, так и для невизуальных компонентов, обеспечивая удобный и компактный доступ ко всем элементам модели и необходимой информации.

2.4 Листы MS Excel

2.4.1 DATASET/ Набор данных

Ядром любой количественной модели является набор данных, формируемый из ряда переменных модели. Фреймворк DIOM-X предоставляет рабочий лист *Dataset* в качестве шаблона для сбора и ведения этих переменных (см. рисунок 3).

Каждая переменная описывается набором свойств. Некоторые из них являются обязательными для функционирования модели (основные свойства, например, имя переменной). Дополнительные свойства содержат метainформацию, которая не используется непосредственно в коде модели, но способствует лучшему пониманию и сопровождению набора данных.

1	Name	Rows	Columns	Lastdata	Description EN	Unit	Row descriptions	Column descriptions	Tweakable?	Last revision/update	Data source
2	time_s	1	1	2050	Time variable	-			green	Apr-20	COMSTAT
3	pag_v	4	1	2019	Population by age groups	Thousand persons	pag_4		orange	Aug-21	https://stat.gov.kz/official
4	lf_s	1	1	2020	Labour force	Thousand persons			orange	Aug-21	https://stat.gov.kz/official
5	nup_s	1	1	2020	Number of unemployed persons	Thousand persons			orange	Aug-21	https://stat.gov.kz/official
6	ur_s	1	1	2020	Unemployment rate	Percent			orange	Aug-21	https://stat.gov.kz/official
7	empl_v	21	1	2020	Employment by economic activities	Thousand persons	e_21		orange	Aug-21	https://taldau.stat.gov.kz
8	empl_s	1	1	2020	Employment, total	Thousand persons			orange	Aug-21	https://taldau.stat.gov.kz
9	gdpn_v	14	1	2020	GDP by final use, current prices	Mln. KZT	gdp_14		orange	Aug-21	https://stat.gov.kz/official
10	gdpd_v	14	1	2020	GDP by final use, deflator (2015=100)	INDEX (2015=100)	gdp_14		orange	Aug-21	https://stat.gov.kz/official
11	gdp_v	14	1	2020	GDP by final use, constant prices	Mln. KZT ₂₀₁₅	gdp_14		orange	Aug-21	own calculations
12	totfdn_m	73	11	2018	Total final/total demand components	Mln. KZT	p_73	fd_11	orange	Mar-20	https://old.stat.gov.kz/g
13	totfdm_m	73	11	2018	Total final/total demand components	SHARES	p_73	fd_11	orange	Mar-20	own calculations
14	impofdn_m	73	11	2018	Imported final/total demand compon	Mln. KZT	p_73	fd_11	orange	Mar-20	https://old.stat.gov.kz/g

Рисунок: 3 Рабочий лист *Dataset*

Источник: Собственная иллюстрация.

Четыре основных свойства переменной модели включают следующее:

Name (Имя): Каждая переменная модели должна иметь уникальное имя. Это имя используется для обращения к переменной в коде модели (например, при присвоении данных или выполнении вычислений). При наличии сотен, а иногда и тысяч переменных, различать их становится затруднительно без четкой системы именования, основанной на наборе правил. Ниже приведены рекомендации по такой системе:

- использовать только строчные буквы в именах переменных
- использовать первую букву каждого (английского) существительного или ключевого слова, описывающего переменную, например: *total final demand components at basic prices* → *tfdbpn*. Если переменная состоит из одного-двух слов, старайтесь использовать четыре символа, например: *Employment* → *empl*
- добавлять один символ, указывающий на ценовую категорию или доли (если применимо):

n — номинальные значения, напр. *Tfdbpn*

d — дефлятор

r — реальные значения

s — доли, напр. *tfdbps*

- добавлять суффикс, указывающий на тип переменной (см. свойства *Rows* и *Columns* ниже):

_v — вектор, напр. *empl_v*

_m — матрица, напр. *eb_m*

_s — скаляр, напр. *lf_s*

Rows / Columns (Строки / Столбцы): Фреймворк различает три типа временных рядов. Простой временной ряд содержит одно значение на каждый год (например, численность рабочей силы). Для данных, доступных по видам экономической деятельности, фреймворк позволяет объединить информацию в одну переменную, содержащую несколько значений в год (например, занятость по секторам экономики).

Простой временной ряд с одним значением на год имеет только одну строку и один столбец. Если переменная содержит данные по секторам, значения обычно размещаются в нескольких строках (вектор), то есть значение свойства *Rows* больше единицы, а *Columns* равно единице (например, занятость по видам деятельности).

Для переменных, описывающих взаимосвязи (например, энергетический баланс или таблицу ввода-вывода), и количество *строк*, и количество *столбцов* больше единицы – такая переменная считается *матрицей*.

В коде модели к элементам многомерных переменных обращаются с помощью индексов, представленных в виде целых чисел.

Такой подход не только позволяет значительно сократить общее количество переменных, но и упрощает программирование системы уравнений. Фреймворк включает в себя набор процедур для выполнения векторной и матричной алгебры, что облегчает структуру и реализацию модельного кода (см. Приложение 1 для списка процедур).

Lastdata (Последний год данных): Данные количественной модели включают как исторические, так и прогнозные значения. Свойство *lastdata* указывает последний год, за который доступны исторические данные. Эта информация используется фреймворком для защиты исторических данных от случайной перезаписи.

Остальные столбцы рабочего листа *Dataset* содержат метainформацию, помогающую дополнительно описать переменную. Разработчики модели могут быть склонны не заполнять эти поля, поскольку они не используются непосредственно в расчётном модуле. Однако с учётом того, что в построении модели часто участвуют несколько человек, а сопровождение модели может продолжаться в течение многих лет, настоятельно рекомендуется указывать следующую дополнительную информацию для каждой переменной:

Description (Описание): Это поле содержит краткое описание переменной. Пользователь может выбрать язык отображения в ячейке E1: EN английский или KZ казахский. Предварительным условием для переключения языка является наличие описания переменных на обоих языках в скрытом листе *Translation*. После выполнения команды *Run*, лист *Results* отобразит информацию на выбранном языке.

Unit (Единица измерения): Это поле указывает, в каких единицах выражены данные. Такая информация особенно важна для корректного определения и проверки преобразований единиц измерения в коде модели.

Row / Column Description (Описание строк / столбцов): Эти поля содержат названия списков строк и столбцов для переменных, которые содержат более одного значения на год (векторы и матрицы). Подробная информация хранится на листе *RowColDesc* (см. следующий раздел).

Last revision (Дата последнего обновления): Это поле должно использоваться для фиксации даты последней проверки или обновления переменной. Такая информация важна для сопровождения модели.

Data Source (Источник данных): Это поле указывает, откуда поступают данные по данной переменной. Источником может быть как внешняя организация, так и сама модель, если значения вычисляются внутри неё.

Кнопка *Generate* соединяет набор данных с кодом модели (подробнее см. в разделе 2.6.1).

2.4.2 RowColDesc

Этот рабочий лист (см. рисунок 4) содержит описания для многомерных переменных модели (временных рядов *векторов* и *матриц*).

Row_Col_Desc	Number	Code	Description EN
1			
2	1		Total population
3	2		Population < 16 years
4	3		Population at working age (16 to 59 years (until 1998) / 16 to 62 years (1999-))
5	4		Population > 59 years (until 1998) / >63 years (1999-))
6	1		Agriculture, forestry and fishing
7	2		Mining and quarrying
8	3		Manufacturing
9	4		Electricity, gas, steam and air conditioning supply
10	5		Water supply; sewerage, waste management and remediation activities
11	6		Construction
12	7		Wholesale and retail trade; repair of motor vehicles and motorcycles
13	8		Transportation and storage
14	9		Accommodation and food service activities
15	10		Information and communication

Рисунок: 4 Рабочий лист *RowColDesc*

Источник: Собственная иллюстрация.

Row_Col_Desc: Этот столбец содержит название списка или группы компонентов. Как уже упоминалось, это имя используется в качестве ссылки на рабочем листе **Dataset** (см. предыдущий раздел).

Number (Номер): Значение в этом поле служит индексом для различных строк (и столбцов) многомерной переменной.

Code (Код): Если для элемента имеется статистический код, его можно указать здесь – например, код элемента по системе национальных счетов (СНС).

Description (Описание): Это поле содержит текстовое описание элемента. В столбце E указывается описание на английском языке, а в скрытом столбце D казахский перевод. После нажатия кнопки *Run* лист *Results* отобразит описание на выбранном языке.

Фреймворк использует эту информацию для аннотирования результатов моделирования на листе *Results* (см. раздел 2.4.6). Благодаря этому разработчикам и пользователям модели не нужно запоминать имена переменных и компоненты многомерных структур. Кроме того, наличие всей необходимой информации в одном рабочем листе существенно упрощает создание пользовательских представлений и дашбордов.

2.4.3 VALUES/ Значения

Рабочий лист *Values* содержит исторические данные, привязанные к переменным набора данных (см. рисунок 5). Все данные, которые должны обрабатываться моделью, обязательно размещаются на этом листе.

Добавление данных может осуществляться различными способами в зависимости от структуры исходных источников и уровня подготовки разработчика модели:

- вставка данных методом копирования и вставки
- связывание ячеек с исходными источниками данных (расположенными в папке *data*, см. раздел 3.1)
- импорт данных через автоматизированные процедуры предварительной обработки на VBA или других языках программирования

			2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
1	Name	Row Column														
2	time_s	1 1	2,008.00	2,009.00	2,010.00	2,011.00	2,012.00	2,013.00	2,014.00	2,015.00	2,016.00	2,017.00	2,018.00	2,019.00	2,020.00	2,021.00
3	pag_v	1 1	15,571.51	15,982.37	16,203.27	16,440.47	16,673.93	16,910.25	17,160.86	17,415.72	17,669.90	17,918.21	18,157.34	18,395.57		
4	pag_v	2 1	4,011.60	4,133.66	4,200.97	4,288.64	4,397.32	4,527.62	4,682.09	4,848.14	5,019.01	5,184.05	5,341.02	5,492.98		
5	pag_v	3 1	9,967.20	10,608.13	10,753.23	10,877.40	10,976.08	11,045.36	11,093.46	11,136.68	11,169.30	11,202.46	11,223.86	11,248.93		
6	pag_v	4 1	1,592.71	1,240.58	1,249.07	1,274.43	1,300.54	1,337.26	1,385.31	1,430.90	1,481.59	1,531.71	1,592.46	1,653.65		
7	lf_s	1 1	8,415.00	8,457.90	8,610.70	8,774.60	8,981.93	9,041.34	8,961.97	8,887.56	8,998.84	9,027.43	9,138.63	0.00		
8	empl_v	1 1	2,336.00	2,293.00	2,295.00	2,196.00	2,173.00	2,074.00	1,605.00	1,363.00	1,386.00	1,319.00	1,228.00	1,185.00		
9	empl_v	2 1	197.00	196.00	194.00	207.00	225.00	249.00	295.00	284.00	278.00	284.00	286.00	280.00		
10	empl_v	3 1	540.00	543.00	566.00	542.00	543.00	548.00	536.00	553.00	568.00	582.00	581.00	584.00		
11	empl_v	4 1	132.00	131.00	132.00	147.00	158.00	162.00	173.00	165.00	161.00	151.00	151.00	150.00		
12	empl_v	5 1	51.00	52.00	57.00	65.00	77.00	80.00	86.00	82.00	80.00	74.00	80.00	81.00		
13	empl_v	6 1	549.00	551.00	570.00	614.00	645.00	660.00	678.00	689.00	679.00	614.00	629.00	636.00		
14	empl_v	7 1	1,145.00	1,166.00	1,224.00	1,234.00	1,201.00	1,257.00	1,248.00	1,261.00	1,306.00	1,335.00	1,397.00	1,431.00		
15	empl_v	8 1	478.00	476.00	512.00	546.00	571.00	569.00	585.00	619.00	619.00	608.00	625.00	638.00		
16	empl_v	9 1	104.00	102.00	105.00	123.00	129.00	139.00	167.00	174.00	171.00	192.00	188.00	197.00		
17	empl_v	10 1	116.00	115.00	109.00	126.00	134.00	133.00	160.00	152.00	160.00	156.00	166.00	162.00		
18	empl_v	11 1	100.00	100.00	105.00	119.00	139.00	138.00	193.00	195.00	180.00	175.00	180.00	190.00		
19	empl_v	12 1	114.00	117.00	139.00	136.00	112.00	105.00	87.00	94.00	115.00	162.00	158.00	154.00		
20	empl_v	13 1	153.00	159.00	149.00	179.00	181.00	182.00	162.00	221.00	240.00	239.00	249.00	256.00		
21	empl_v	14 1	173.00	178.00	167.00	170.00	174.00	174.00	196.00	234.00	256.00	280.00	288.00	292.00		
22	empl_v	15 1	351.00	371.00	377.00	392.00	386.00	402.00	468.00	471.00	473.00	479.00	500.00	495.00		

Рисунок: 5 Рабочий лист *Values*

Источник: Собственная иллюстрация.

Структура данных одинакова как для простых временных рядов, так и для временных рядов векторов и матриц. В первом столбце (*Name*) указывается имя переменной. В следующих двух столбцах необходимо задать индексы строки (*Row*) и столбца (*Column*). В остальных столбцах указываются значения переменной по соответствующим годам. Фреймворк модели автоматически считывает весь набор данных в начале симуляции и присваивает значения соответствующим переменным.

Исторические данные являются основой второго этапа процесса построения модели – регрессионного анализа. Поскольку возможности MS Excel для выполнения регрессионного анализа ограничены, фреймворк по запросу экспортирует исторические данные в формате CSV при нажатии кнопки *Export data for regressions*. В этом формате имена переменных располагаются по столбцам, а годы по строкам. Такой формат может быть импортирован не только в R, но и в большинство других статистических программ. Подробности о работе с R приведены в разделе 2.7.

Переменные, которые рассчитываются эндогенно в рамках модели, не обязаны быть включены в лист *Values*.

2.4.4 MODEL/ Модель

Этот рабочий лист предназначен для запуска модели (см. рисунок 6). Выполнение модели инициируется нажатием кнопки *Run*, после чего система: считывает исторические данные, обрабатывает параметры сценария, заданные на листе *Scenario* (см. раздел 2.4.5 и главу 4), и решает систему уравнений в пределах заданного временного интервала. Подробное описание алгоритма, управляющего выполнением модели, представлено в разделе 2.6, посвящённом программной реализации модели.

The screenshot shows the 'Model' worksheet in Excel. At the top, there is a red 'Run' button and a 'Save results' button. Below these, a table displays the results of the model's convergence criteria. The table has three columns: 'Year, iteration(s)', 'Economic sector', and '% deviations of convergence criteria compared to previous iteration'. The data rows show iterations from 1 to 53, with years ranging from 2017 to 2036. The percentage deviations are consistently low, indicating convergence.

Year, iteration(s)	Economic sector	% deviations of convergence criteria compared to previous iteration
2017, 1	68	0.000
2018, 1	68	0.000
2019, 15	16	0.094
2020, 11	58	0.078
2021, 11	16	0.069
2022, 13	16	0.082
2023, 11	16	0.092
2024, 12	19	0.077
2025, 12	17	0.071
2026, 12	17	0.073
2027, 12	17	0.067
2028, 12	17	0.075
2029, 12	17	0.072
2030, 12	17	0.073
2031, 12	58	0.071
2032, 12	17	0.076
2033, 12	58	0.082
2034, 12	58	0.096
2035, 12	58	0.092
2036, 12	58	0.091

Рисунок: 6 Рабочий лист *Model*

Источник: Собственная иллюстрация.

Настройку выполнения модели можно уточнить путём изменения начального и конечного годов симуляции, а также максимального количества итераций в год. Изменять временной диапазон расчёта рекомендуется только опытным разработчикам моделей после предварительного тестирования устойчивости модели при различных временных интервалах. Если модель не достигает сходимости, увеличение максимального числа итераций в год может способствовать решению проблемы. Однако корректно настроенная модель, как правило, достигает сходимости менее чем за двадцать итераций в год. Существенно большее количество итераций, как правило, указывает на наличие неустранённых проблем в структуре или реализации модели.

Во время выполнения модели, начиная с ячейки B7, отображается экономический сектор с наибольшим отклонением (или последний элемент вектора *gobpn_v*, используемого в качестве критерия сходимости) по сравнению с предыдущей итерацией для соответствующего года (см. рисунок 6). При возникновении проблем сходимости рекомендуется в первую очередь проверить именно этот сектор, чтобы выявить причины неустойчивости.

Пользователям модели следует иметь в виду, что результаты расчёта перезаписываются при каждом запуске модели. Чтобы сохранить результаты последнего запуска отдельно, можно воспользоваться кнопкой *Save results* (см. рисунок 6).

2.4.5 SCENARIO/ Сценарий

На листе *Scenario* пользователи модели задают допущения, которые должны быть учтены при выполнении расчётов. Допущение представляет собой одно или несколько числовых значений, описывающих определённую политику, меру или событие (например, стихийное бедствие). Допущения могут охватывать определённый временной период, быть однократными или повторяющимися. Сценарий – это комбинация одного или нескольких допущений.

Формирование, применение и сравнение сценариев – ключевая функция ЕЗ-модели, построенной на базе DIOM-X, и не требует навыков программирования.

Фреймворк DIOM-X предлагает четыре типа корректировок (*tweaks*), которые можно использовать как для построения простых, так и для сложных сценариев:

Таблица: 1 Типы корректировок (*tweaks*)

Тип твика	Функционирование твика	Пример
Gr	Последнее значение прогнозируется с учетом заданного среднегодового темпа роста в %	Последнее значение модели в году t : 100 корректировка <i>gr</i> в $t+1$: → результат в $t+1$: 103
add	Заданное значение прибавляется к рассчитанному моделью значению	Значение модели: 100, корректировка <i>add</i> : 30 → результат: 130
mult	Рассчитанное значение умножается на заданный коэффициент	Значение модели: 100, корректировка <i>mult</i> : 1.5 → результат: 150
repl	Рассчитанное значение заменяется заданным значением.	Значение модели: 100, корректировка <i>repl</i> : 110 → результат: 110

Источник: Собственная иллюстрация

Корректировки (*tweaks*) могут применяться как к простым временным рядам, так и к отдельным элементам временных рядов векторов и матриц (см. рисунок 7).

Name	Row	Column	Tweak type	Active	Interp	Source/comment	2022	2023	2024	2025	2026
totfdn_m	1	9	add			Drought Lower agricultural exports due to output losses (-70,745				-88,113
impfdn_m	1	1	add			Drought Higher agricultural imports to compensate lower	518,795				646,161
eb_m	10	5	mult			Drought Electricity supply from hydro power limited by...	0.80				0.80
tv_chpe_s	1	1	mult			Drought Energy supply from CHP limited by...% see Sce	0.96				0.96
totfdn_m	43	5	add			Drought adapt I Investment in reconstruction of canals, re	117,500.00	15,666.67	15,666.67	15,666.67	15,666.67
totfdn_m	43	5	add			Drought adapt I Investment in reconstruction of canals, re	74,000.00	74,000.00	74,000.00	74,000.00	74,000.00
totfdn_m	33	5	add			Drought adapt I Investment in drip irrigation (Mln. KZT)	3,469.40	3,469.40	3,469.40	3,469.40	3,469.40

Рисунок 7: Рабочий лист *Scenario*

Источник: Собственная иллюстрация.

Чтобы применить корректировку к определённой переменной, необходимо указать следующую информацию:

Name (Имя): имя переменной, к которой применяется корректировка. Переменная должна уже входить в состав набора данных.

Row и Column (Строка и Столбец): индексы строки и столбца элемента, подлежащего корректировке. Для простых временных рядов оба значения должны быть равны 1.

Tweak type (Тип корректировки): один из четырёх типов корректировок, представленных в таблице 1.

Active tweak (Активность): указывает, активна ли корректировка (значение **x**) или нет (пусто). Эта настройка позволяет гибко формулировать и тестировать сложные сценарии, комбинируя различные корректировки.

Interpolate (Интерполяция): при установке флага (значение **x**) фреймворк автоматически интерполирует значения между двумя непоследовательными годами, что значительно сокращает объём ручного ввода данных.

Оставшиеся столбцы содержат годы и соответствующие значения корректировок.

При необходимости можно комбинировать разные типы корректировок для одной и той же переменной. Например, задать темп роста на определённый период, а затем заменить значения в последующие годы с помощью корректировки типа *replace*.

Содержимое листа *Scenario* обрабатывается фреймворком автоматически при запуске модели: если для переменной задана корректировка, указанные значения заменяют или корректируют результаты, рассчитанные моделью.

Разработчики и пользователи модели должны учитывать, что из-за высокой степени взаимозависимости в системе уравнений полный эффект одной корректировки не всегда очевиден. Поэтому настоятельно рекомендуется сначала тестировать и анализировать отдельные допущения, а уже затем переходить к более сложным комбинациям. Также важно помнить, что нереалистичные

допущения, как правило, приводят к нереалистичным результатам, поскольку модель не проверяет их правдоподобность.

Кроме того, необходимо учитывать, что не ко всем переменным набора данных могут применяться корректировки. Цветовая маркировка в листах *Dataset* (см. раздел 2.4.1) и *RowColDesc* (см. раздел 2.4.2) указывает возможность применения корректировок: зелёный – корректировка возможна; оранжевый – частично возможна; красный - корректировка невозможна (см. также раздел 4.1)

Код модели должен содержать так называемые якоря (*anchors*) для переменных, к которым могут применяться корректировки. Эти якоря задаются разработчиком модели (см. раздел 2.6.3). Корректировки без соответствующих якорей игнорируются и не оказывают никакого воздействия на расчёты.

В целом, корректировке подлежат только экзогенные переменные или переменные, определяемые через поведенческие уравнения.

Практическое использование механизма корректировок при построении сценариев подробно рассматривается в главе 4: *Сценарный анализ ("что, если")*.

2.4.6 results/ Результаты

В конце каждого запуска модели фреймворк автоматически копирует полный набор данных — как исторических, так и прогнозных — на рабочий лист *Results* (см. рисунок 8).

AutoSave

File Home Insert Formulas Data Review View Developer Help

Search

Anett Großmann

Share Comments

BS73

	A	B	C	D	E	F	BI	BJ	BK	BL	BM	BN	BO	BP
1	Name	Row	Column	Variable desc	Row descripti	Column descri	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050	
2	time_s	1	1	Time variable			2,044.00	2,045.00	2,046.00	2,047.00	2,048.00	2,049.00	2,050.00	
3	pag_v	1	1	Population by Total population			23,087.63	23,297.96	23,506.23	23,712.07	23,915.27	24,115.87	24,215.55	
4	pag_v	2	1	Population by Population < 16 years			6,894.05	6,956.85	7,019.05	7,080.51	7,141.18	7,201.08	7,230.85	
5	pag_v	3	1	Population by Population at working age (15-64)			14,118.14	14,246.76	14,374.12	14,499.99	14,624.25	14,746.91	14,807.87	
6	pag_v	4	1	Population by Population > 59 years (until 1990)			2,075.44	2,094.35	2,113.07	2,131.57	2,149.84	2,167.87	2,176.83	
7	lf_s	1	1	Labour force			11,559.21	11,666.78	11,773.29	11,878.56	11,982.48	12,085.07	12,136.05	
8	nup_s	1	1	Number of unemployed persons			1,510.38	1,562.28	1,603.43	1,705.05	1,710.72	1,759.67	1,769.26	
9	ur_s	1	1	Unemployment rate			13.07	13.39	13.62	14.35	14.28	14.56	14.58	
10	empl_v	1	1	Employment Agriculture, forestry and fish			634.20	619.75	609.34	552.62	591.75	579.08	569.91	
11	empl_v	2	1	Employment Mining and quarrying			261.48	260.34	259.40	258.50	257.28	256.29	255.12	
12	empl_v	3	1	Employment Manufacturing			700.94	705.66	708.02	715.31	718.09	722.14	722.04	
13	empl_v	4	1	Employment Electricity, gas, steam and ai			169.70	170.42	170.65	171.67	172.25	172.86	172.70	
14	empl_v	5	1	Employment Water supply; sewerage, wa			91.13	91.52	91.74	92.31	92.60	92.95	92.96	
15	empl_v	6	1	Employment Construction			745.10	748.11	752.05	752.77	755.93	758.83	762.52	
16	empl_v	7	1	Employment Wholesale and retail trade; r			1,671.84	1,681.52	1,685.78	1,700.70	1,708.35	1,717.17	1,716.66	
17	empl_v	8	1	Employment Transportation and storage			708.01	710.87	711.69	716.63	718.85	721.47	720.54	
18	empl_v	9	1	Employment Accommodation and food se			244.73	247.40	249.91	253.10	255.23	257.76	258.68	
19	empl_v	10	1	Employment Information and communica			221.63	223.87	226.09	228.39	230.30	232.43	233.63	
20	empl_v	11	1	Employment Financial and insurance activ			223.36	225.22	224.78	229.22	230.45	232.18	230.50	

InfoDatasetRowColDescValuesScenarioModelResults4 Variables

Рисунок: 7 Рабочий лист Results

Источник: Собственная иллюстрация.

Структура данного листа в целом соответствует оформлению листа *Values*. В дополнение к значениям переменных, для каждой из них и её компонентов отображаются также описания строк и столбцов.

Важно помнить, что этот лист автоматически перезаписывается при каждом новом запуске модели. Основная причина заключается в том, что с увеличением количества рассчитанных сценариев значительно возрастают как объём файла, так и время, необходимое для сохранения и загрузки

данных. Сохранение необходимых результатов расчётов в отдельном месте остаётся задачей пользователя – для этого предусмотрена кнопка *Save results* на листе *Model* (см. раздел 2.4.4).

Пользователи и разработчики модели используют лист *Results* для оценки сценариев – как при анализе отдельных переменных в рамках одного сценария, так и при сравнении переменных между различными сценариями (см. раздел 4.2.4). Поскольку все данные одного сценария сосредоточены на одном листе, функции MS Excel по построению таблиц и графиков могут использоваться напрямую, без необходимости владения навыками программирования или углублённого знания Excel. Продвинутые пользователи могут при необходимости разрабатывать собственные инструменты для анализа сценариев. Один из таких примеров, связанный со сравнением сценариев, рассматривается в главе 4 в рамках анализа сценариев изменения климата.

2.5 Среда программирования VBA

Средой программирования VBA, входящей в состав пакета MS Office, большинство обычных пользователей, как правило, не пользуется. Поэтому Microsoft по умолчанию не отображает её в главной ленте меню. Активировать её можно двумя способами: нажатием клавиш **Alt+F11** или через ручную настройку меню: **Файл / Параметры / Настроить ленту**.

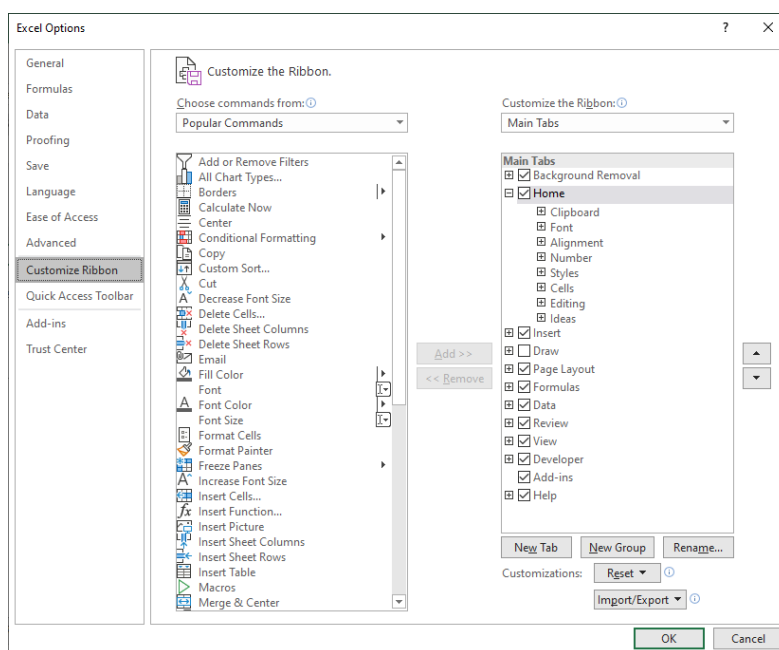


Рисунок: 8 Настройки Excel для разработчиков

Источник: Собственная иллюстрация.

Чтобы включить параметры разработчика, необходимо установить флажок *Разработчик (Developer)* в правой части окна настроек (см. рисунок 9). После этого в главной ленте меню становятся доступны скрытые ранее вкладки для разработчиков (см. рисунок 10).

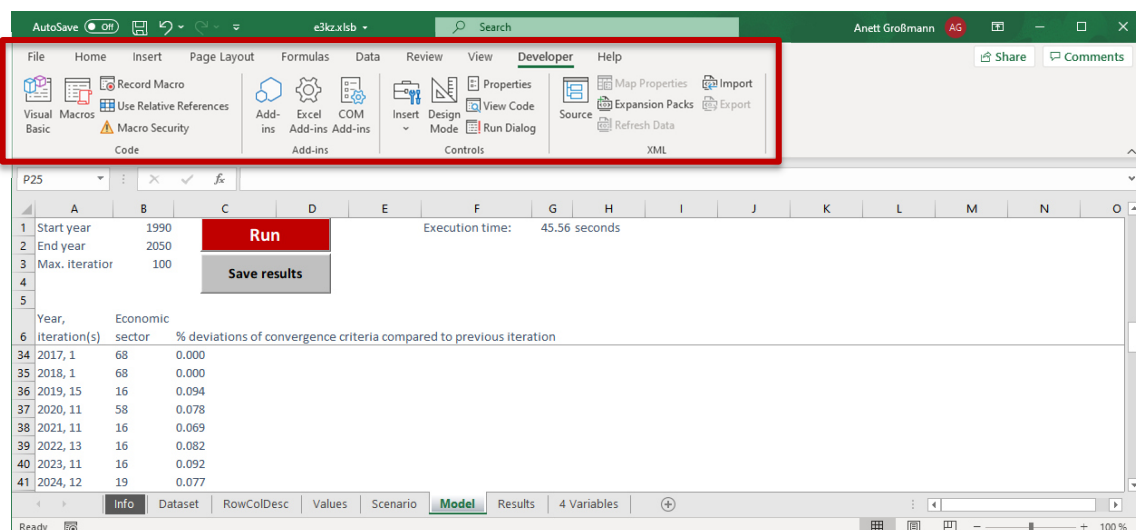


Рисунок: 9 Лента Excel с активированными параметрами разработчика

Источник: Собственная иллюстрация.

Открытие среды программирования осуществляется нажатием кнопки *Visual Basic* либо с помощью комбинации клавиш **Alt+F11** (см. рисунок 11).

Подробное описание среды программирования выходит за рамки данного документа. Разработчикам, не знакомым с VBA, рекомендуется обратиться к множеству доступных онлайн-ресурсов и учебников, представленных на разных языках и уровнях сложности.

Одной из наиболее полезных функций среды является интегрированный отладчик, который позволяет приостанавливать выполнение модели на любой строке кода. После остановки можно просматривать весь набор данных и внутренние переменные (например, переменные циклов), что значительно упрощает поиск и устранение ошибок. Разработчикам рекомендуется ознакомиться с возможностями меню *Debug*.

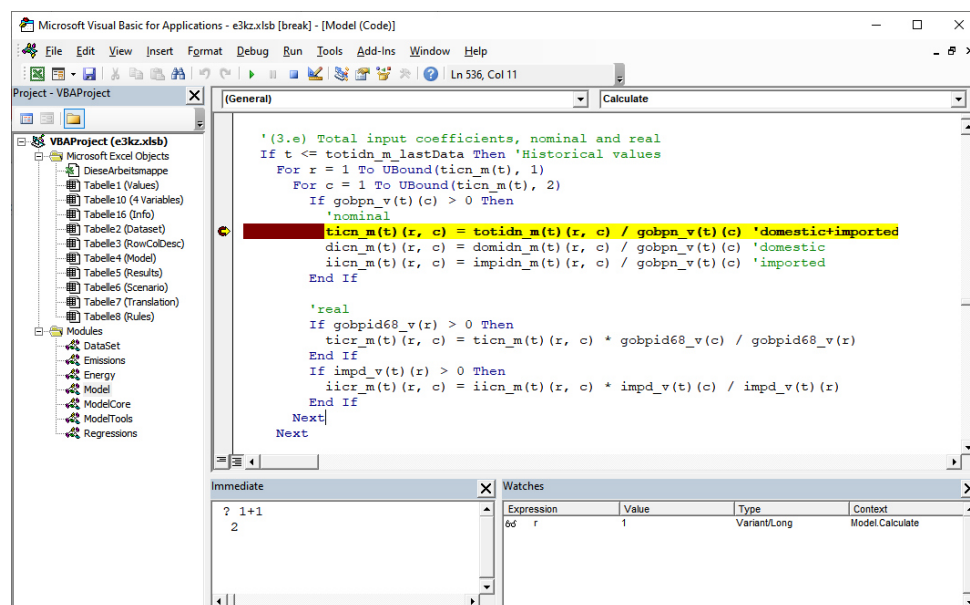


Рисунок: 10
Отладка
модели

Источник:
Собственная
иллюстрация.

Ещё одной важной функцией является концепция модулей – отдельных программных блоков (см. также рисунок 9). Использование модулей позволяет:

- разделять код на модельно-независимую часть (фреймворк) и код конкретной модели;
- структурировать модель, разделяя её на логически обоснованные части.

Это существенно упрощает управление моделью и улучшает её архитектуру. Разработчикам рекомендуется использовать модульную структуру там, где это возможно и уместно.

Следующий раздел посвящён описанию различных модулей фреймворка построения модели DIOM-X.

2.6 Модули

2.6.1 DATASET/ Набор данных

В разделе 2.4.1 был представлен набор данных и различные свойства переменных модели. Однако одного лишь определения набора данных недостаточно для использования переменных в коде модели (то есть в системе уравнений). Для каждой из этих переменных требуется объявление в синтаксисе VBA (см. рисунок 12). Чтобы разработчикам не приходилось выполнять эти объявления вручную, на листе *Dataset* предусмотрена кнопка *Generate*, которая даёт фреймворку команду автоматически сгенерировать полный список объявлений переменных. Сгенерированный список сохраняется в файл под названием *Dataset.bas* в той же директории, где находится рабочая книга модели.

По соображениям безопасности Excel не разрешает автоматически импортировать этот файл. Это ограничение необходимо для предотвращения несанкционированного создания и запуска вредоносного кода с помощью Excel-файлов.

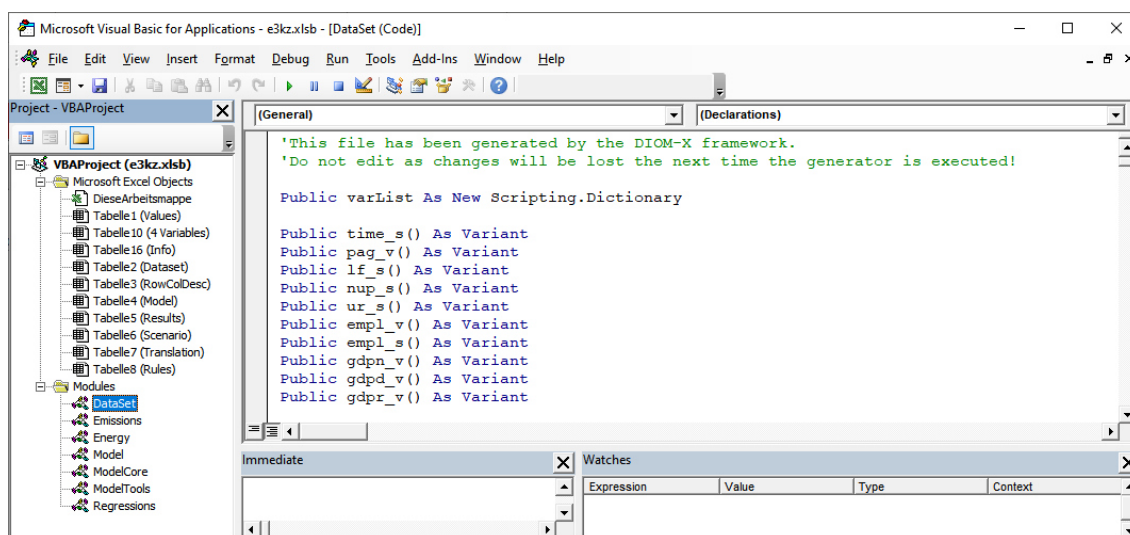


Рисунок: 11 Модуль Dataset

Источник: Собственная иллюстрация.

Чтобы импортировать модуль с объявлениями переменных, необходимо выполнить следующие шаги:

1. В левой панели среды программирования *VE* выбрать модуль *Dataset*
2. Щёлкнуть правой кнопкой мыши и выбрать ***Remove Dataset***
3. Снова щёлкнуть правой кнопкой мыши, выбрать *Import file* и импортировать файл *Dataset.bas* из папки, где сохранена рабочая книга модели

Так как Excel не позволяет перезаписывать уже существующие модули, перед импортом необходимо удалить текущий модуль *Dataset*.

Фреймворк генерирует не только объявления переменных, но также: константы для свойства *Lastdata* и специальный код для автоматического присвоения исторических данных соответствующим переменным.

Эту процедуру необходимо повторять каждый раз, когда изменяется структура набора данных, например, при добавлении или удалении переменных, изменении количества строк или столбцов. Это необходимо для обеспечения корректной работы модели.

2.6.2 Ядро модели (model core)

Модуль *ModelCore* содержит независимый от конкретной модели код фреймворка DIOM-X, который используется разработчиком «как есть» и поэтому не рассматривается здесь подробно.

Ключевым элементом фреймворка является алгоритм обработки модели, который запускается при нажатии пользователем кнопки *Run* (см. раздел 2.4.4). Схематическое представление алгоритма приведено в виде диаграммы Нэсси–Шнейдермана (см. рисунок 13):

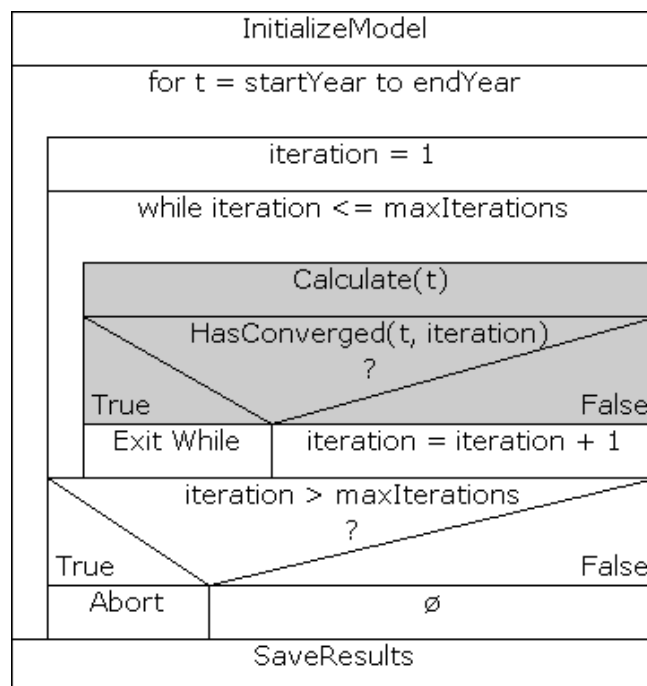


Рисунок: 12 Алгоритм обработки модели (диаграмма Нэсси-Шнейдермана)

Источник: Собственная иллюстрация.

Как видно на схеме, алгоритм отвечает за полный набор действий, связанных с выполнением модели — от инициализации (чтение и присвоение исторических данных) до сохранения результатов моделирования на лист *Results* (см. раздел 2.4.6).

Развёрнутая модель ЕЗ включает большое количество переменных и уравнений, решение которых, как правило, осуществляется итерационно. Распространённый подход заключается в формировании большой матрицы коэффициентов и применении алгоритма решения, например, метода Гаусса-Зейделя. Основной недостаток такого подхода заключается в том, что уравнения недоступны напрямую в виде строк кода, что затрудняет отладку, особенно в случае сбоя алгоритма.

Фреймворк DIOM-X реализует иной подход: для каждого года алгоритм итеративно вызывает две процедуры (обозначены серыми блоками на рисунке 13), которые должны быть определены разработчиком в модуле *Model* (см. раздел 2.6.3). Сначала вызывается подпрограмма *Calculate*, содержащая уравнения модели. После каждой итерации вызывается функция *HasConverged*, которая возвращает значение *true* (если достигнута сходимость) или *false* (если нет). В случае *false* инициируется следующая итерация.

Иногда модель не может сойтись (например, из-за неполных спецификаций или ошибок в данных). Чтобы избежать бесконечного цикла, фреймворк проверяет значение максимального количества итераций, заданного на листе *Model* (см. раздел 2.4.4). Если достигнут установленный предел, выполнение модели прерывается, и пользователь получает уведомление о неуспешном расчёте сценария.

Как уже упоминалось, система уравнений, как правило, не может быть решена явно. Поэтому разработчику необходимо определить корректный критерий сходимости в функции *HasConverged*, указывающий, достигла ли модель устойчивого результата. Один из типичных подходов — отслеживание изменения ключевой переменной: если процентное отклонение между двумя итерациями меньше заданного порога, функция возвращает *true*, что позволяет перейти к расчёту следующего года.

Некоторые модели требуют инициализации переменных, не входящих в набор данных (например, единичной матрицы). В таких случаях можно использовать подпрограмму *InitializeModel*, которая вызывается фреймворком один раз при старте модели.

Сценарный анализ реализуется через модификацию значений отдельных переменных во время выполнения модели. Фреймворк заменяет рассчитанные значения, если одновременно выполняются два условия:

- на листе *Scenario* задана активная корректировка;
- в коде модели (в подпрограмме *Calculate* модуля *Model*) присутствует соответствующее выражение для корректировки.

Корректировка вызывается с помощью следующей процедуры:

```
Sub Tweak(ByVal t As Integer, ByVal lastData As Integer,
ByRef var As Variant, ByVal varName As String)
```

Параметры:

t	год, для которого проверяется наличие корректировки
lastData	последний год, по которому имеются данные
var	ссылка на переменную
varName	имя переменной, к которой применяется корректировка

Пример: `Tweak t, lf_s_lastData, lf_s, "lf_s"`

Для удобства фреймворк автоматически создаёт константу с окончанием *_lastData* для каждой переменной, указывающую последний год с доступными данными.

Помимо процедур, обеспечивающих корректную работу модели и реализацию сценариев, фреймворк включает набор процедур для матричных вычислений, отсутствующих в стандартной библиотеке Excel (например, умножение матриц). Полный список этих процедур приведён в Приложении 1.

2.6.3 Модель

Модуль Model содержит модельные спецификации, определённые разработчиком модели. Как уже упоминалось в предыдущем разделе (2.6.2), разработчику необходимо реализовать две подпрограммы *Calculate* и *HasConverged*, чтобы обеспечить корректную работу модели (см. рисунок 14).

Система уравнений состоит преимущественно из алгебраических выражений, обрабатывающих переменные из набора данных. Каждая переменная представляет собой временной ряд, поэтому первый индекс переменной указывает на год t , за который считываются или записываются данные, например:

Рабочая сила в году t : $lf_s(t)$

Для обращения к элементам временных рядов векторов и матриц необходимо указывать соответствующие индексы строк (и столбцов). Примеры:

- Мировые рыночные цены по видам топлива, строка 1: мировая цена на нефть в 2015 году: $wmp_v(2015)(1)$
- Внутренние коэффициенты затрат в номинальном выражении для года t , строка r , столбец c : $dicn_m(t)(r, c)$

Процедуры фреймворка, связанные с матричной алгеброй, приведены в Приложении 1.

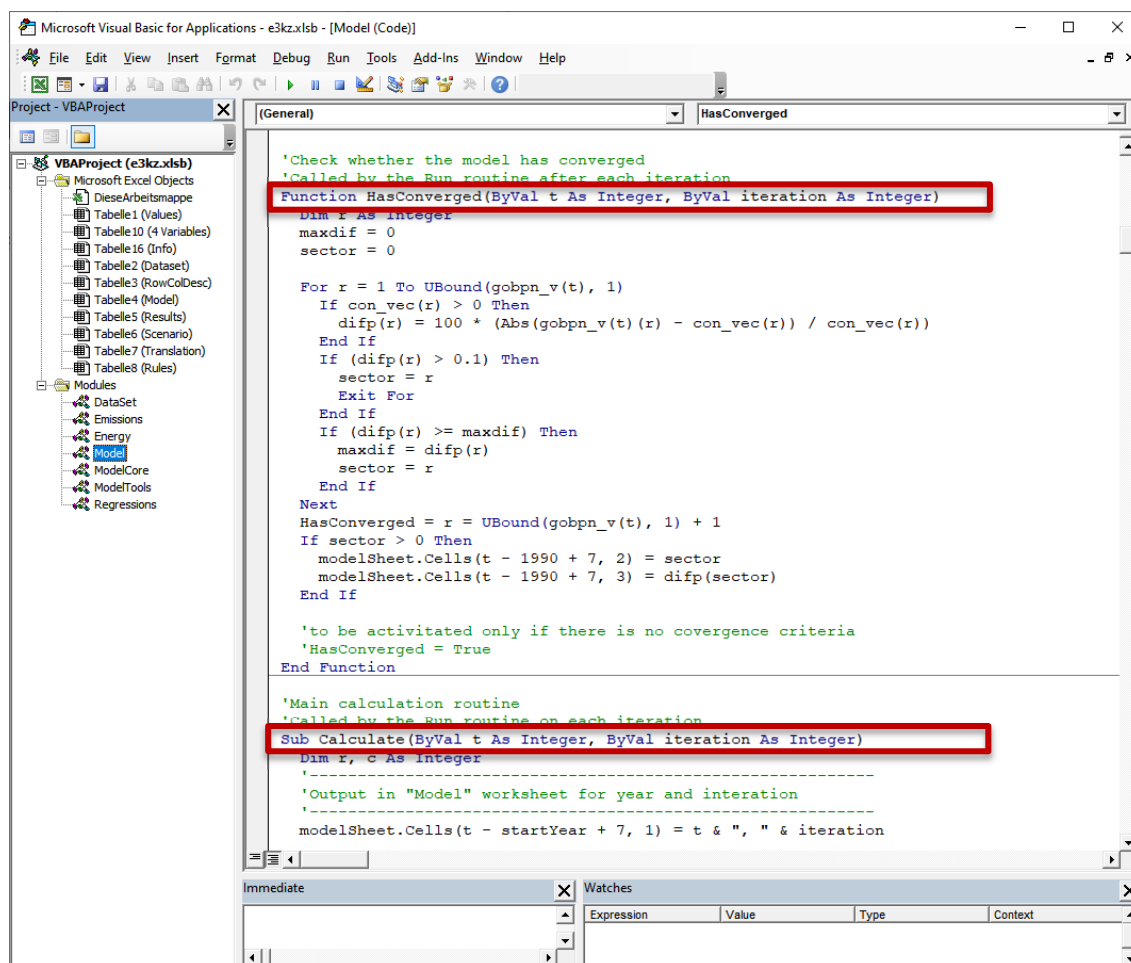


Рисунок: 13 Подпрограммы Calculate и HasConverged

Источник: Собственная иллюстрация.

Для защиты исторических данных от перезаписи разработчику рекомендуется использовать константы типа *last data*, как показано в следующем примере:

```

If t > empl_v_lastData Then
    'некоторое вычисление
End If

```

Использование таких констант обеспечивает корректную работу модели даже после обновления данных, при условии, что свойства набора данных также были должным образом обновлены.

Благодаря представлению всех уравнений в открытом и читаемом виде, устранение ошибок модели значительно упрощается по сравнению с системами, использующими так называемые *solvers* (решатели): разработчик может установить точку останова в исходном коде и использовать встроенный отладчик для приостановки выполнения в любой момент. После этого можно просматривать текущие значения всех переменных, что существенно облегчает отладку модели.

Хотя технически возможно разместить весь код модели в модуле *Model*, рекомендуется логически разделять три компонента модели ЕЗ (экономика, энергия, эмиссии) по отдельным модулям. Чтобы модуль *Model* оставался компактным и понятным, полезно также вынести универсальные

вспомогательные функции в отдельный модуль, например *ModelTools*. Типичный пример — процедуры агрегирования по векторам и матрицам.

Содержание различных модулей подробно рассматривается в главе 3.

2.7 Регрессионный анализ с помощью "R"

Все поведенческие параметры модели оцениваются с использованием эконометрических методов, при этом сравниваются различные спецификации регрессионных уравнений, что придаёт модели эмпирическую обоснованность.

Хотя Excel предоставляет базовые средства для оценки, использование специализированного внешнего приложения предпочтительнее по следующим причинам:

- Регрессионные уравнения сложно редактировать (необходимо вручную выделять диапазоны и привязывать их к функциям Excel)
- Графики регрессий необходимо создавать отдельно
- Разные комбинации уравнений для одной переменной сложно сохранять
- Обработка больших массивов данных затруднена

Применение внешнего инструмента для регрессионного анализа порождает две задачи: Во-первых, необходимо обеспечить доступ к историческим данным, содержащимся на листе *Values* рабочей книги модели, в удобном для анализа формате (например, путём конвертации в другой файл). Во-вторых, полученные результаты регрессий — то есть коэффициенты — должны быть импортированы обратно в модель. В случае с комплексной моделью, такой как *ез.kz*, выполнение этих операций вручную нецелесообразно. Фреймворк DIOM-X предоставляет необходимые инструменты для автоматизации обоих процессов.

Программное обеспечение "R"⁵ широко используется в аналитике и научных исследованиях. Одним из его ключевых преимуществ, помимо большого количества доступных библиотек, является то, что это открытое программное обеспечение, которое можно использовать бесплатно, включая внеакадемическую среду.

В этом разделе поясняется, как "R" может быть интегрирована в процесс построения модели. Предполагается, что у читателя есть базовые знания работы с "R" и выполнения регрессий методом наименьших квадратов (OLS). Также необходимо, чтобы "R" было предварительно установлено на компьютере. Программа доступна бесплатно по адресу:

<https://www.r-project.org/>

Так как "R" не обладает удобным графическим интерфейсом, рекомендуется дополнительно установить бесплатное приложение *R Studio*, доступное по адресу:

<https://www.rstudio.com/>

⁵ Для ознакомления с "R" обратитесь к различным онлайн-руководствам (например, <https://cran.r-project.org/doc/manuals/r-release/R-intro.pdf>).

Наиболее распространённым методом оценки является метод наименьших квадратов (OLS), при котором строится линейная регрессионная модель путём минимизации суммы квадратов остатков – то есть разности между фактическими и прогнозными значениями. При оценке отдельных уравнений учитываются статистические показатели. Особое значение имеют t-статистики и соответствующие р-значения, позволяющие оценить статистическую значимость переменных. Коэффициент детерминации R^2 позволяет оценить качество модели, показывая, какая доля изменчивости зависимой переменной объясняется включёнными объясняющими переменными. Как правило, чем выше R^2 , тем выше объясняющая способность модели. Для сравнения моделей также может использоваться скорректированный R^2 , который учитывает количество объясняющих переменных и компенсирует эффект их искусственного повышения точности.

Прежде чем применять метод OLS, данные модели e3.kz необходимо передать в “R”. Несмотря на способность “R” считывать файлы Excel, он не может интерпретировать структуру набора данных e3.kz напрямую. “R” обычно ожидает, что переменные будут расположены по столбцам, что невозможно в Excel при больших объёмах данных из-за ограничения по количеству столбцов.

Для обхода этого ограничения фреймворк DIOM-X включает автоматическую процедуру преобразования, которая экспортирует весь исторический набор данных с листа *Values* в формат, подходящий для использования в “R” (а также в других статистических программах, таких как EViews). Этот процесс запускается нажатием кнопки *Export data for regressions* (см. рисунок 15 и раздел 2.4.3).

			2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
1	Name	Row Column														
2	time_s	1 1	2,008.00	2,009.00	2,010.00	2,011.00	2,012.00	2,013.00	2,014.00	2,015.00	2,016.00	2,017.00	2,018.00	2,019.00	2,020.00	2,021.00
3	pag_v	1 1	15,571.51	15,982.37	16,203.27	16,440.47	16,673.93	16,910.25	17,160.86	17,415.72	17,669.90	17,918.21	18,157.34	18,395.57		
4	pag_v	2 1	4,011.60	4,133.66	4,200.97	4,288.64	4,397.32	4,527.62	4,682.09	4,848.14	5,019.01	5,184.05	5,341.02	5,492.98		
5	pag_v	3 1	9,967.20	10,608.13	10,753.23	10,877.40	10,976.08	11,045.36	11,093.46	11,136.68	11,169.30	11,202.46	11,223.86	11,248.93		
6	pag_v	4 1	1,592.71	1,240.58	1,249.07	1,274.43	1,300.54	1,337.26	1,385.31	1,430.90	1,481.59	1,531.71	1,592.46	1,653.65		
7	if_s	1 1	8,415.00	8,457.90	8,610.70	8,774.60	8,981.93	9,041.34	8,961.97	8,887.56	8,998.84	9,027.43	9,138.63	0.00		
8	empl_v	1 1	2,336.00	2,293.00	2,295.00	2,196.00	2,173.00	2,074.00	1,605.00	1,363.00	1,386.00	1,319.00	1,228.00	1,185.00		
9	empl_v	2 1	197.00	196.00	194.00	207.00	225.00	249.00	295.00	284.00	278.00	284.00	286.00	280.00		
10	empl_v	3 1	540.00	543.00	566.00	542.00	543.00	548.00	536.00	553.00	568.00	582.00	581.00	584.00		
11	empl_v	4 1	132.00	131.00	132.00	147.00	158.00	162.00	173.00	165.00	161.00	151.00	151.00	150.00		
12	empl_v	5 1	51.00	52.00	57.00	65.00	77.00	80.00	86.00	82.00	80.00	74.00	80.00	81.00		
13	empl_v	6 1	549.00	551.00	570.00	614.00	645.00	660.00	678.00	689.00	679.00	614.00	629.00	636.00		
14	empl_v	7 1	1,145.00	1,166.00	1,224.00	1,234.00	1,201.00	1,257.00	1,248.00	1,261.00	1,306.00	1,335.00	1,397.00	1,431.00		
15	empl_v	8 1	478.00	476.00	512.00	546.00	571.00	569.00	585.00	619.00	619.00	608.00	625.00	638.00		
16	empl_v	9 1	104.00	102.00	105.00	123.00	129.00	139.00	167.00	174.00	171.00	192.00	188.00	197.00		
17	empl_v	10 1	116.00	115.00	109.00	126.00	134.00	133.00	160.00	152.00	160.00	156.00	166.00	162.00		
18	empl_v	11 1	100.00	100.00	105.00	119.00	139.00	138.00	193.00	195.00	180.00	175.00	180.00	190.00		
19	empl_v	12 1	114.00	117.00	139.00	136.00	112.00	105.00	87.00	94.00	115.00	162.00	158.00	154.00		
20	empl_v	13 1	153.00	159.00	149.00	179.00	181.00	182.00	162.00	221.00	240.00	239.00	249.00	256.00		
21	empl_v	14 1	173.00	178.00	167.00	170.00	174.00	174.00	196.00	234.00	256.00	280.00	288.00	292.00		
22	empl_v	15 1	351.00	371.00	377.00	392.00	386.00	402.00	468.00	471.00	473.00	479.00	500.00	495.00		

Рисунок: 14 Рабочий лист *Values*

Источник: Собственная иллюстрация.

Сгенерированный файл *series.csv* содержит всю историческую базу данных и сохраняется в папке *regs*. В этой же папке находятся различные файлы с регрессионными уравнениями (например, *spa.R*), а также библиотека *vbaLib.R*, которая предоставляет вспомогательные функции для оценки OLS и трансляции результатов регрессий обратно в код модели e3.kz (см. рисунок 16).

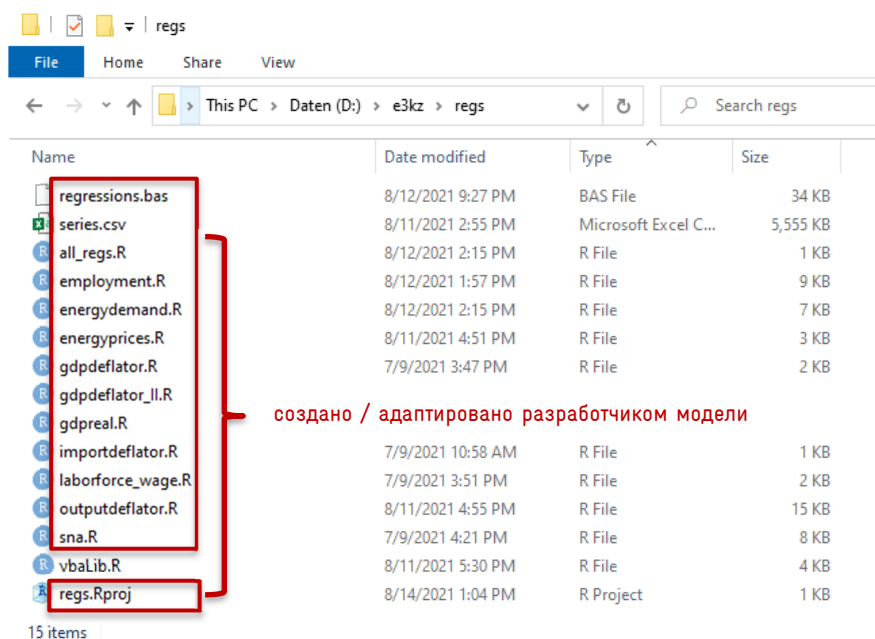


Рисунок: 15 Папка regs в структуре модели е3.kz

Источник: Собственная иллюстрация.

Выполнение регрессионного анализа в рамках модели ЕЗ представляет собой итерационный процесс. В течение выполнения модель многократно репает систему уравнений, проверяя заданный критерий сходимости, который должен выполняться для каждого года моделирования. Такая система, как правило, чувствительна к изменениям в параметрах регрессий. Поэтому для обеспечения стабильности модели необходимо проверять несколько спецификаций регрессионных уравнений в контексте всей системы.

Для большинства оценок исторические данные охватывают период около 15-20 лет. С учётом того, что горизонт моделирования простирается до 2050 года, особое внимание следует уделить знаку и величине параметров объясняющих переменных, а также общей стабильности модели. Оценённые параметры дополнительно рекомендуется проверять через сравнение с результатами других исследований и/или модельных упражнений. Модель также должна соответствовать ожиданиям в отношении, например, экономического роста или спроса на энергию, сформированным в других сценарных разработках.

Для выполнения регрессий в “R” на основе экспортированных данных из файла *series.csv* необходимо открыть файл проекта, дважды щёлкнув по файлу *regs.Rproj* в папке *regs* модели. Если данный тип файлов не ассоциирован с R Studio, его необходимо открыть вручную (см. рисунок 17).

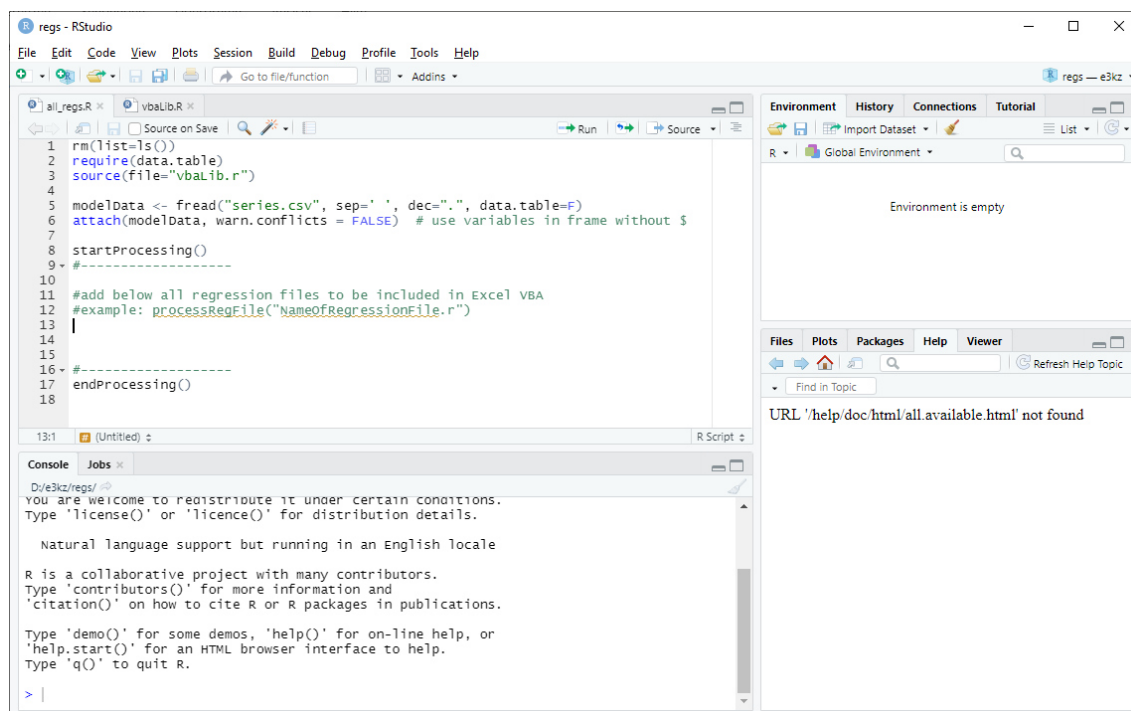


Рисунок: 16 "R" графический интерфейс пользователя

Источник: Собственная иллюстрация

Файл *allRegs.R* является основным управляющим скриптом, который запускает все последующие действия, включая загрузку набора данных и автоматическую трансляцию параметров оценивания в код модели.

Все регрессионные файлы, подлежащие обработке, должны быть размещены между вызовами функций *startProcessing* и *endProcessing*, которые обеспечивают корректную передачу результатов из “R” в код VBA.

Этот файл необходимо запускать каждый раз при изменении набора данных или любого регрессионного уравнения, чтобы гарантировать, что последние изменения будут отражены в модели.

Модель *ez.kz* включает ряд переменных (например, компоненты ВВП в постоянных ценах, соответствующие дефляторы, занятость и др.), которые подлежат оценке. Для каждой из них создаётся отдельный скрипт на “R”, содержащий спецификацию регрессионного уравнения, а при необходимости – команды для расчёта недостающих индикаторов⁶, которые требуются для оценки и отсутствуют в исходном наборе данных (см. рисунок 18).

Каждый файл регрессии называется в соответствии с его содержанием. Например, для дефлятора компонентов ВВП файл называется *gdpcdeflator.R* и сохраняется в папке *regs*. Это имя впоследствии также отображается в коде VBA.

⁶ Следует отметить, что каждый дополнительный показатель, рассчитанный в “R”, также должен быть рассчитан в VBA. Они не переносятся автоматически в MS Excel / VBA.

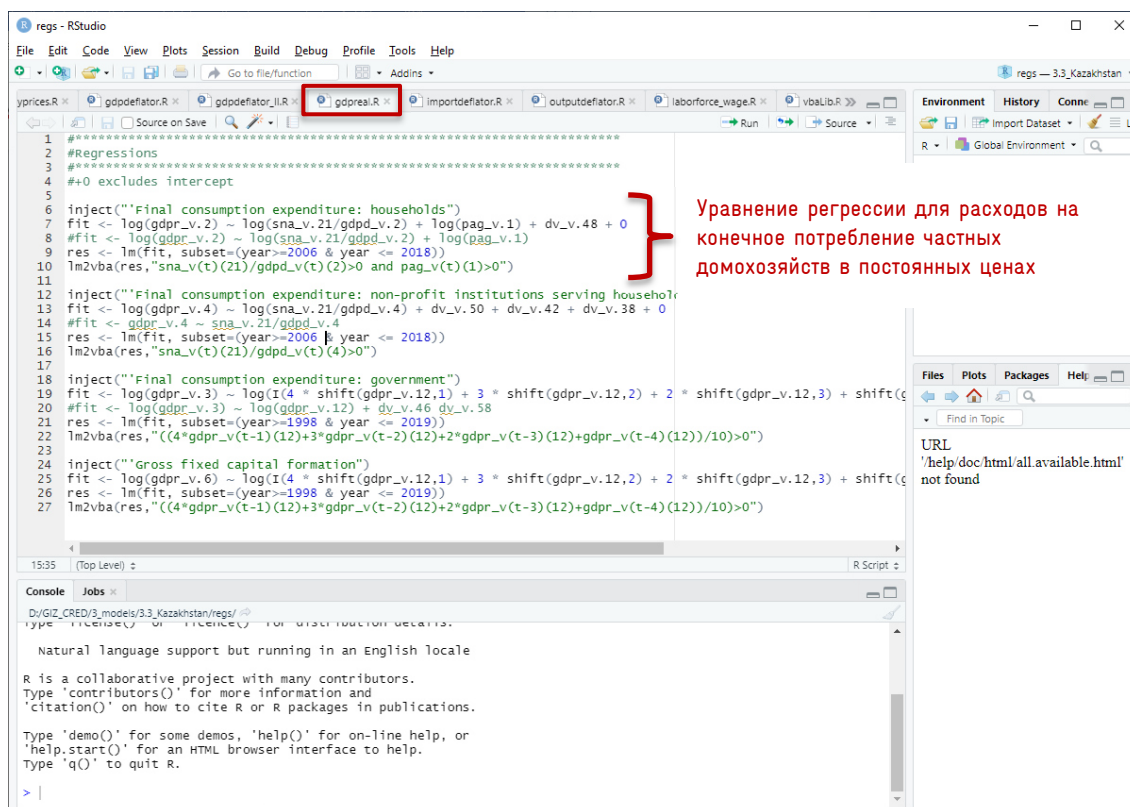


Рисунок: 17 Примеры регрессионных уравнений

Источник: Собственная иллюстрация

Каждое регрессионное уравнение должно включать следующие инструкции:

- *inject()*: вставляет комментарий в код модели на VBA и должна использоваться в каждой регрессии для пояснения цели и содержания уравнения;
- *fit*: определяет спецификацию регрессионного уравнения (какие объясняющие переменные включены? используется ли линейная регрессия или логарифмическое преобразование?);
- *res <- lm(fit, subset = year >= ... & year <= ...)*: `lm` указывает на использование метода наименьших квадратов (OLS); аргумент `subset` задаёт период, за который проводится оценка;
- *lm2vba(res, ...)*: функция, автоматически преобразующая результаты регрессии в код VBA. Все результаты сохраняются в одном файле `regressions.bas`, который затем импортируется в модель.

В левом нижнем окне интерфейса (см. рисунок 19) можно тестировать различные спецификации регрессионных уравнений. Результаты статистических тестов можно вывести с помощью команды `summary()`. Различные пакеты “R” предоставляют дополнительные возможности для анализа и визуализации, которые не охватываются в данном руководстве, но могут быть подробно изучены в блогах и на форумах, посвящённых “R”.

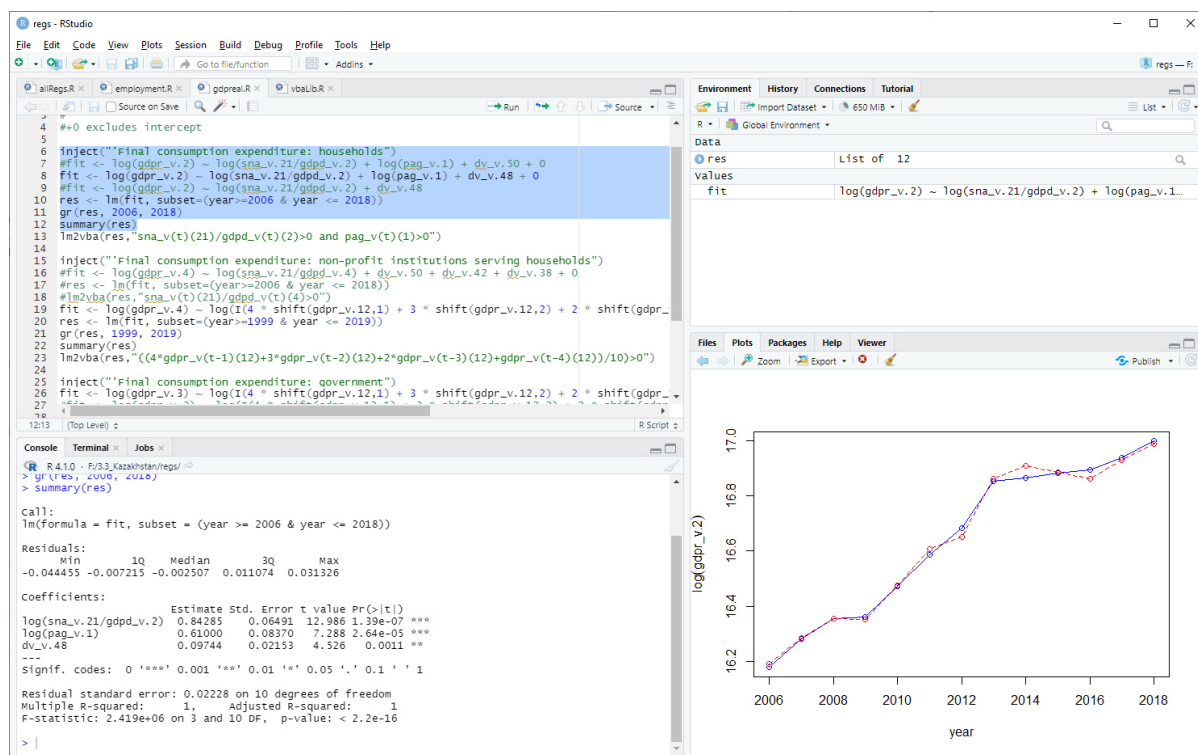


Рисунок: 18 Обзор результатов статистических тестов с помощью функции `summary()`

Источник: Собственная иллюстрация.

Библиотечный файл `vbaLib.R`, который автоматически загружается основным файлом `allRegs.R`, содержит дополнительные вспомогательные функции, упрощающие формулировку уравнений, хотя они и не обязательны для использования во всех уравнениях. Наиболее важные из них:

- `group`: создаёт группу переменных на основе заданного имени — полезно при работе с векторами
- `combine`: формирует агрегированную переменную на основе имени и диапазона строк
- `gr`: строит график регрессии с возможностью указания временного диапазона

Применение этих функций можно понять, изучив любой из регрессионных файлов, например, `gdpdeflator.R` (см. рисунок 20).

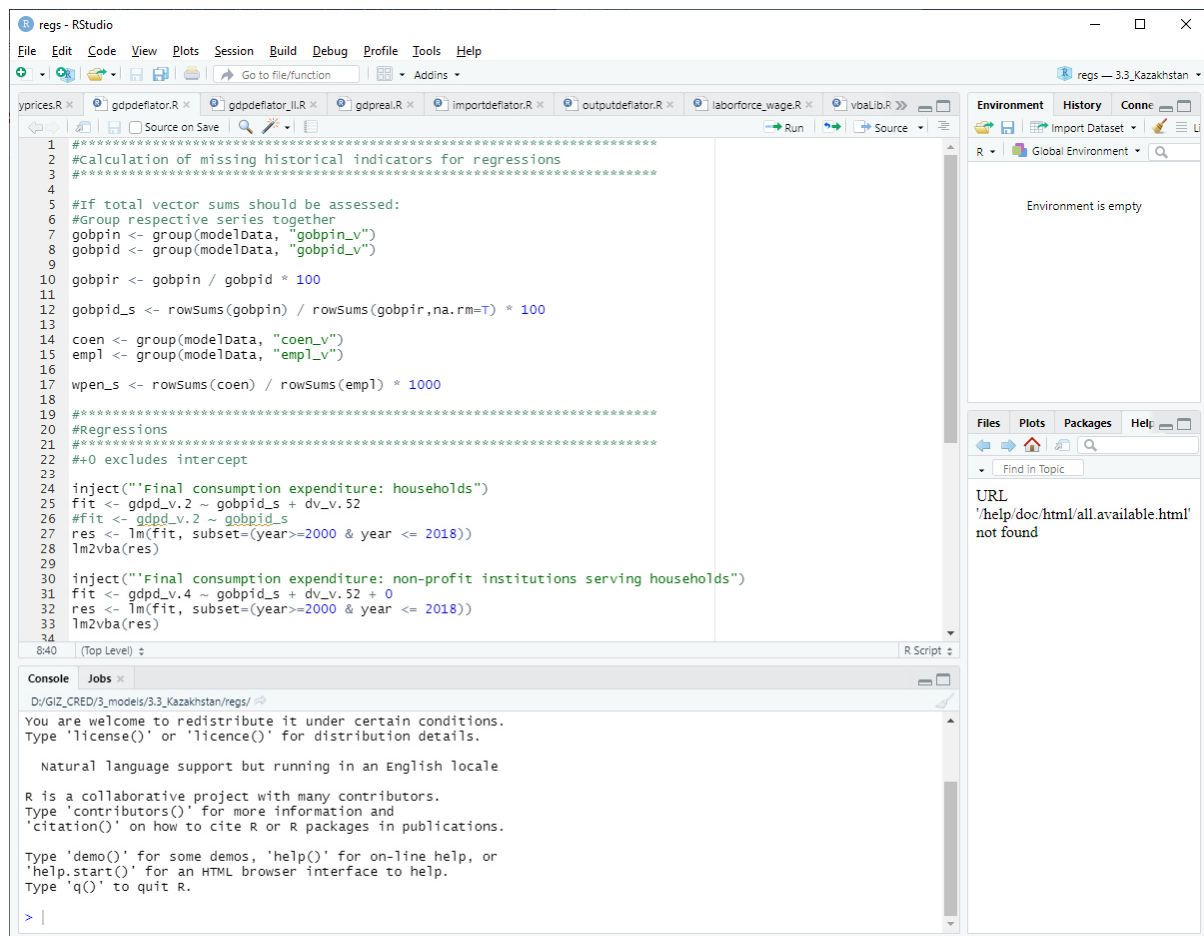


Рисунок: 19 Вспомогательные функции в *vbaLib.R*

Источник: Собственная иллюстрация.

После того как все переменные модели оценены и окончательные регрессионные уравнения оформлены в соответствующих скриптах “R”, имена этих файлов необходимо добавить в *allRegs.R* для автоматической трансляции в код VBA. После выполнения этого файла (с помощью Ctrl+Shift+Enter) будет создан файл *regressions.bas*, содержащий все регрессионные уравнения с их параметрами. Этот файл необходимо интегрировать в код VBA (см. рисунок 21).

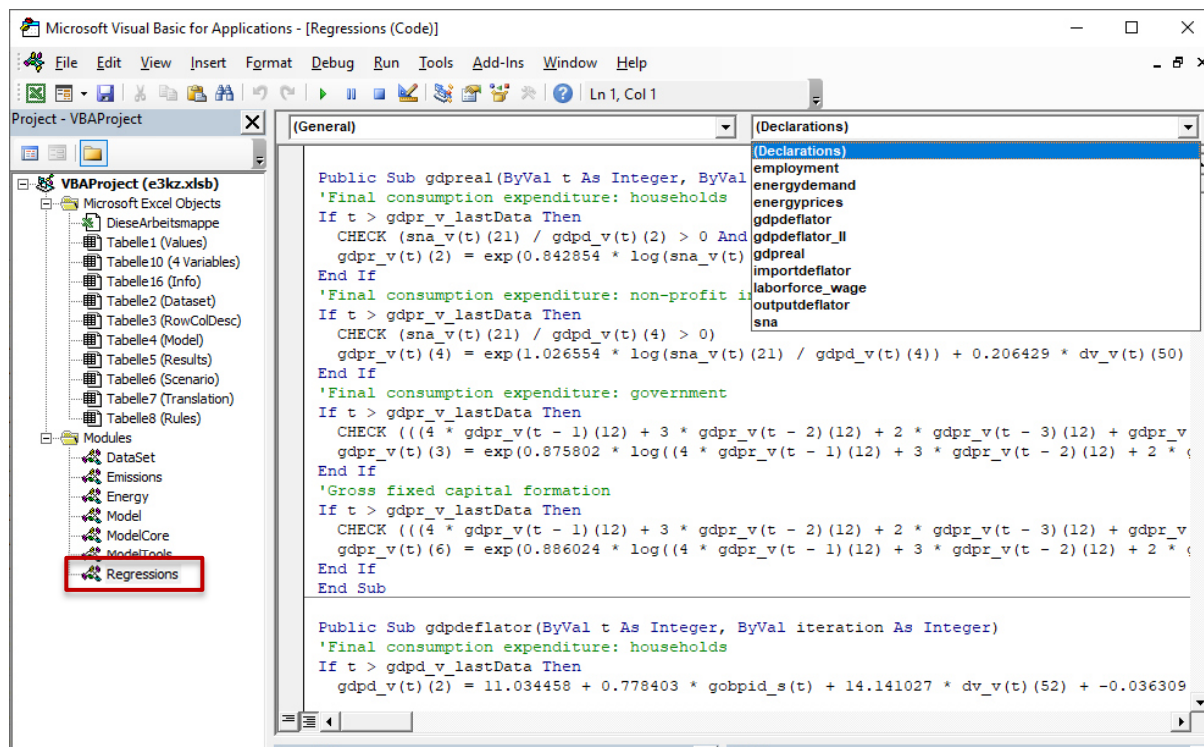


Рисунок: 20 Модуль *Regressions*

Источник: Собственная иллюстрация.

Для импорта модуля, содержащего регрессионные уравнения и параметры, необходимо выполнить следующие шаги:

1. В левой панели среды программирования VBA выбрать модуль *Regressions*
2. Щёлкнуть правой кнопкой мыши и выбрать *Remove Regressions*. Удаление старой версии обязательно, поскольку Excel не обновляет существующий модуль, а создаёт новый с другим именем
3. Снова щёлкнуть правой кнопкой, выбрать *Import file* и импортировать файл *Regressions.bas* из папки *regs*, где хранится рабочая книга модели

3 ЕЗ.KZ – МОДЕЛЬ ЭКОНОМИКИ • ЭНЕРГИИ • ЭМИССИЙ ДЛЯ КАЗАХСТАНА

Модель ЕЗ.kz охватывает взаимосвязи между спросом и предложением в экономике Казахстана и её основными связями с окружающей средой, включая использование энергетических ресурсов и выбросы CO₂ в атмосферу.

Рисунок 22 кратко иллюстрирует три основные части модели и их взаимосвязи. Цифра 1 обозначает экономическое ядро модели е3.kz, 2 - энергетический модуль, 3 - модуль выбросов.

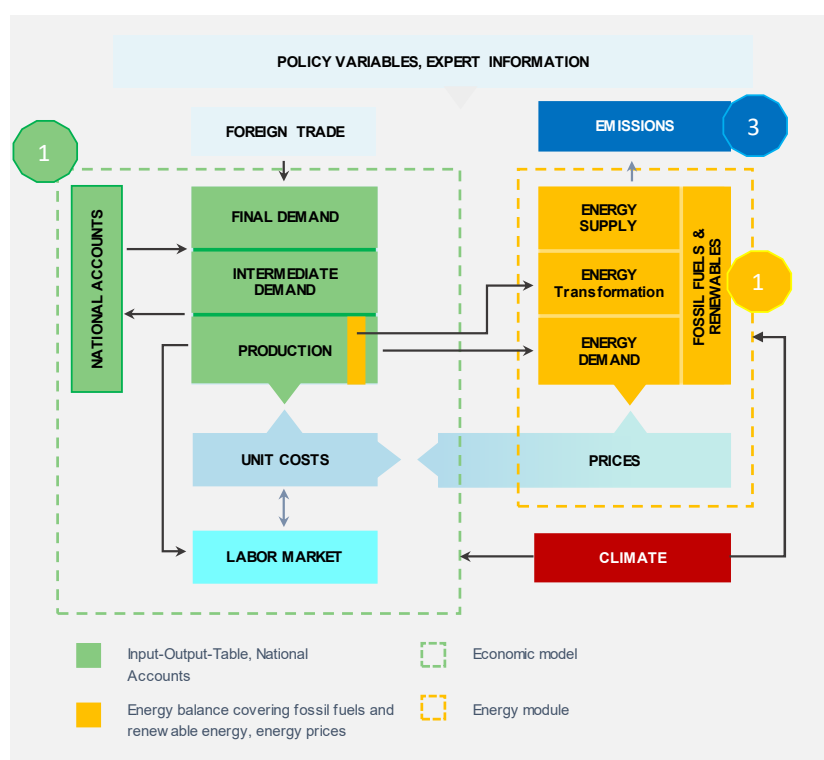


Рисунок: 21 Обзор модели ЕЗ.kz

Источник: Собственная иллюстрация

Каждая из трёх частей основана на обширном и актуальном наборе данных в виде временных рядов с годовым шагом, что позволяет эмпирически формулировать зависимости модели. Помимо детерминированных расчётов, таких как зависимости, заданные в модели ввода-вывода, для прогнозирования будущих изменений используются эконометрические методы и экспертные оценки на основе исторических данных. Результаты модели зависят как от экзогенных параметров (например, численности населения, мировых цен), так и от взаимосвязей внутри и между тремя модулями модели.

Детальное описание каждой из трёх частей модели представлено в следующих разделах. В разделе «Интеграция в DIOM-X» приводятся примеры кода с пояснениями. Полный код модели содержится в рабочей книге *e3kz.xlsx*.

3.1 Структура папок e3.kz

Разработчикам модели рекомендуется организовать структуру папок таким образом, чтобы она отражала ключевые этапы построения модели⁷ (см. рисунок 23), хотя пользователю модели для запуска симуляций достаточно иметь только рабочую книгу *e3kz.xlsx*.

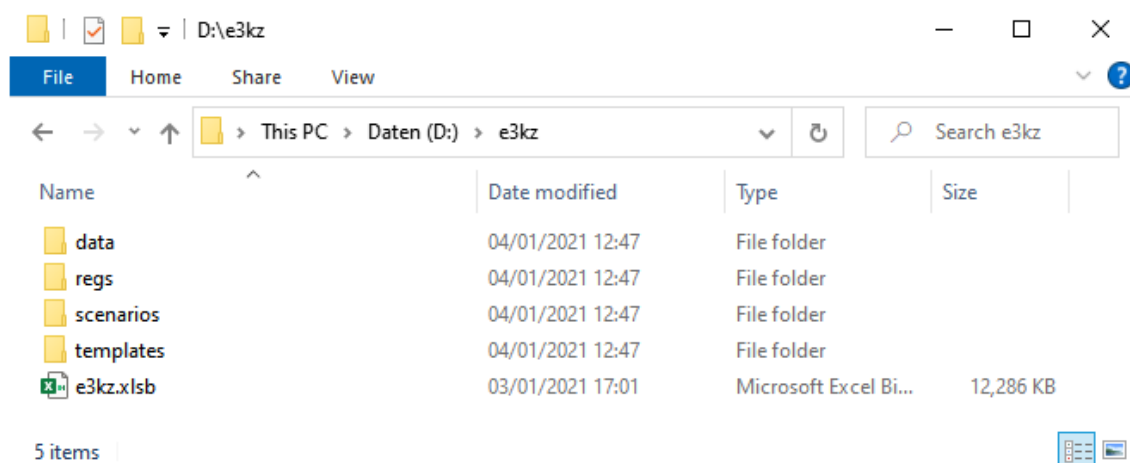


Рисунок: 22 Структура папки e3.kz

Источник: Собственная иллюстрация

Папка *data* содержит исторические данные, собранные из официальных источников⁸. При больших объёмах данных рекомендуется создавать вложенные папки — например, по поставщикам данных (COMSTAT, IEA, World Bank), а при необходимости и по тематике (например, население, IO, СНС). Наборы данных, упомянутые в соответствующих разделах модели ЕЗ (см., например, раздел 3.2.2), легко найти благодаря такой структуре.

Все данные, используемые в e3.kz, собираются на листе *Values*. Хранение исходных файлов в папке *data* требуется только в том случае, если данные напрямую связаны с этим листом.

Папка *regs* содержит все файлы, необходимые для регрессионного анализа. Регрессии выполняются во внешнем программном обеспечении, таком как “R”, но при этом используют исторические данные, сохранённые в файле *series.csv*. В этой же папке хранятся протестированные регрессионные подходы и итоговые уравнения с коэффициентами (файл *regressions.bas*), предназначенные для последующей вставки в код модели на VBA.

Папка *scenarios* содержит все сценарии (включая настройки *tweaks* и результаты), а также файл для сравнения двух сценариев (*Compare2Scenarios.xlsx*).

Папка *templates* включает шаблоны Excel с таблицами и графиками, используемые по умолчанию для оценки сценариев. Эти шаблоны можно адаптировать и настраивать под конкретные задачи.

⁷ Код модели хранится в рабочей книге *e3kz.xlsx*, поэтому специальной папки не существует.

⁸ Использование данных официальной статистики способствует прозрачности, обеспечивает регулярное обновление данных и гарантирует высокий уровень качества.

3.2 Экономическая модель

3.2.1 Общий обзор

Экономическая часть модели е3.kz представляет собой макроэконометрическую (или динамическую) модель ввода-вывода (IO). Основной подход к моделированию основан на методологии INFORUM (Almon 1991, 2014). Такие модели существуют в различных формах и с разной степенью сложности (см., например, Eurostat 2008, стр. 527; Stocker et al. 2011; Lehr et al. 2016; Großmann, Hohmann 2016; Lewney et al. 2019).

Экономическое ядро модели построено на подходе сверху-вниз (top-down). Это означает, что в первую очередь рассчитываются компоненты ВВП по методу использования (expenditure approach) - включая потребление домашних хозяйств, государственные расходы, инвестиции и экспорт. Затем эти агрегаты disagregируются по группам товаров и услуг.

Как и в статических IO-моделях ⁹, взаимосвязи ввода-вывода лежат в основе данной макроэконометрической модели. Эти модели, как правило, ориентированы на сторону спроса, при этом спрос формируется внутри модели, а не задаётся экзогенно. Экономический цикл (производство – формирование доходов – перераспределение – потребление) представлен через систему национальных счетов (СНС). Важным элементом СНС является располагаемый доход, на который влияет ситуация на рынке труда, а также перераспределительная политика государства через налоги и субсидии. Помимо других переменных, таких как цены покупателя, располагаемый доход является ключевым фактором формирования потребительского спроса.

Связь между спросом и предложением представлена производственной функцией Леонтьева (как показано в таблице ввода-вывода), которая отображает структуру издержек и продаж для каждой производственной единицы. Затраты включают потребление промежуточных товаров и труд (первичные ресурсы, такие как оплата труда и чистые налоги на производство) ¹⁰. Цены формируются на основе метода расчёта единичных издержек. Производственные цены плюс чистые налоги на продукцию определяют цены покупателя.

В отличие от простых статических моделей ввода-вывода, объёмные и ценовые реакции в данной модели имеют эмпирическую основу и учитывают эффект перекалывания издержек. Использование эконометрических методов позволяет учесть несовершенные рынки и ограниченную рациональность (Meyer и Ahlert 2016). Таким образом, е3.kz не является моделью общего равновесия (CGE), где цены обеспечивают баланс между спросом и предложением¹¹.

Дополнительные данные включают численность населения по возрастным группам, занятость и заработную плату по секторам экономики. Трудоспособное население определяет предложение труда. Спрос на труд формируется на уровне отраслей и зависит от объёма реального производства и заработной платы. Рост реальной заработной платы, как правило, снижает занятость, тогда как

⁹ Структура таблицы «затраты–выпуск» (IO) и краткое введение в анализ ввода-вывода представлены в разделе «Экскурс: анализ ввода-вывода». **Error! Reference source not found.**

¹⁰ Основные средства (здания, оборудование, транспортные средства, объекты интеллектуальной собственности, скот и сельскохозяйственные культуры) представляют собой другие факторы производства, которые на текущем этапе модели е3.kz явно не учитываются.

¹¹ Пандемия COVID19 показала, что предположение о рыночных ценах не выполняется, если предприятия закрыты и наблюдается дефицит поставок.

рост производства ведёт к увеличению занятости. Макроэкономическая ставка заработной платы определяется через кривую Филлипса.

Экономические взаимосвязи, представленные на рисунке 24, отражаются с помощью: идентичностей (например, в таблице ввода-вывода - сплошные линии); поведенческих уравнений, прошедших эмпирическую валидацию (пунктирные линии) и экзогенных переменных (выделены жёлтым), например, численность населения.

Однако построение модели не ограничивается оценкой отдельных уравнений. Полная, нелинейная, взаимозависимая система уравнений решается итеративно для каждого года. Процесс итерации завершается при достижении заданного критерия сходимости, которым в е3.kz является выпуск по секторам экономики. Пока модель не достигла сходимости, все уравнения пересчитываются для текущего года (см. разделы 2.6.2 и 2.6.3). После этого расчёты выполняются по годам до конца периода симуляции, установленного на 2050 год.

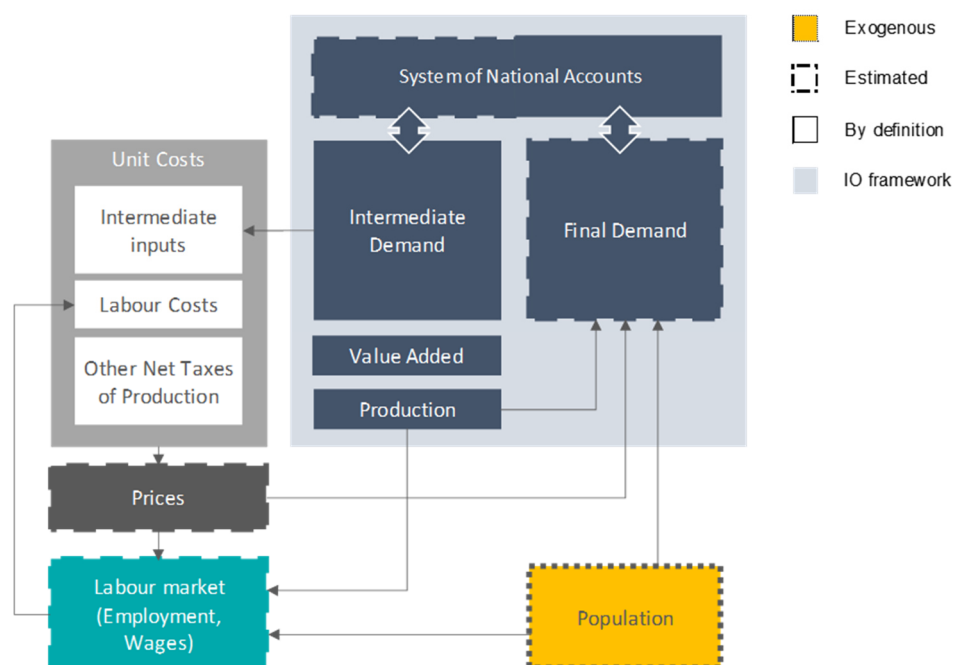


Рисунок: 23 Упрощенная схема макроэконометрической модели ввода-вывода (IO)

Источник: Собственная иллюстрация

Экзогенные импульсы для модели, такие как изменение численности населения и объёмы экспорта, инициируют адаптационные реакции в условиях высокой взаимозависимости элементов модели. Применяемый подход к моделированию охватывает не только количественные, но и ценовые, а также доходные эффекты, обеспечивая формирование мультипликаторов, определяющих динамику системы:

- Мультипликатор Леонтьева: отражает прямые и косвенные последствия изменений в спросе (например, потреблении или инвестициях) на объёмы производства;
- Мультипликатор занятости и дохода: рост производства приводит к увеличению занятости и, соответственно, доходов, что дополнительно стимулирует потребительский спрос (индуцированный эффект);

- Инвестиционный акселератор: указывает на необходимый объём инвестиций для поддержания капитального запаса, требуемого для обеспечения производственной деятельности в условиях растущего спроса на продукцию.

3.2.2 Набор данных

Экономическая модель опирается на следующий набор данных, публикуемый Бюро национальной статистики Министерства национальной экономики Республики Казахстан (COMSTAT) и Национальным банком Республики Казахстан (см. таблицу 2).

Таблица: 2 Набор данных для экономической модели

Макроэкономические и социально-экономические данные		
Население (по возрастным группам)	- Общая численность населения по данным Бюро национальной статистики Казахстана, 1991–2023 гг.	COMSTAT
Рынок труда	- Общая занятость, безработица (2001–2023) - Общая численность рабочей силы (2001–2023 гг.) - Общая / Средняя заработная плата (2010–2012) - Уровень безработицы (2001–2023 гг.)	COMSTAT
	- Обменный курс (национальная валюта/доллар США; 1993–2023)	Всемирный банк
ВВП и его компоненты	- ВВП по компонентам (в текущих и постоянных ценах, дефлятор) за период 1993–2023 гг.	COMSTAT
Ежегодные национальные счета	- Последовательность счетов для всей экономики (2006–2022 гг.)	COMSTAT
Отраслевые данные		
Таблица ввода-вывода	- Симметричная таблица ввода-вывода (промежуточный и конечный спрос, первичные ресурсы; внутренние и импортные данные отдельно; 2012–2022), таблицы предложения и использования	COMSTAT
Торговля	- Импорт и экспорт (2012–2022)	COMSTAT
Отраслевые индексы цен	- Индексы цен производства и импорта (1998–2018)	COMSTAT
Рынок труда (по отраслям)	- Занятость по 21 отрасли (2001–2023 гг.) - Оплата труда работников по 72 отраслям	COMSTAT

Источник: Собственная иллюстрация

3.2.3 Реализация в DIOM-X

Подробная схема макроэконометрической модели ввода-вывода, реализованной во фреймворке построения моделей DIOM-X, представлена на рисунке 25. Описание переменных модели содержится на листе *Dataset* в рабочей книге *ez.kz.xlsb*.

Прогнозные значения для каждой переменной модели задаются либо экзогенно (на основе внешних прогнозов - жёлтым цветом, остаются неизменными, как показано пунктирными линиями), либо эндогенно через регрессионные уравнения (пунктирные линии), либо рассчитываются на основе темпов роста (размытый цвет), либо определяются по тождествам (сплошные линии).

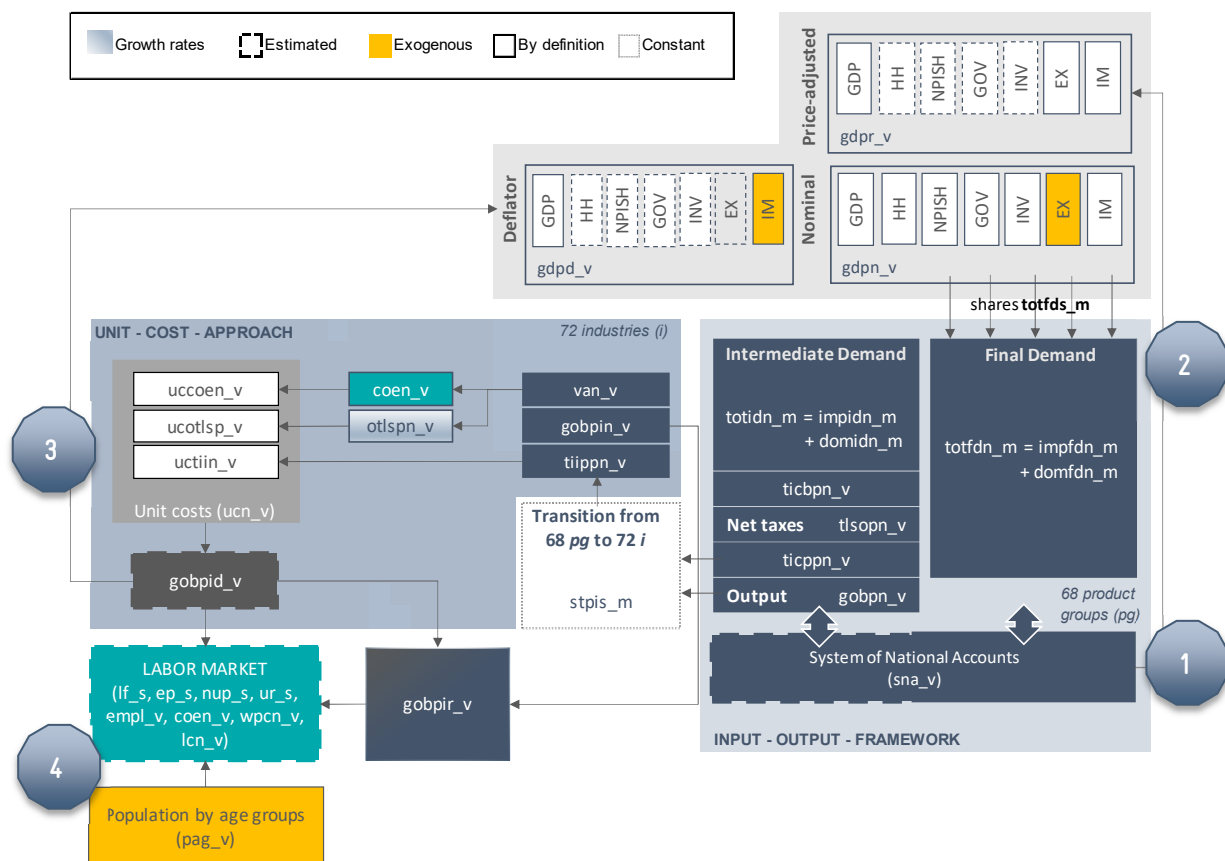


Рисунок: 24 Подробная иллюстрация макроэконометрической модели ввода-вывода (IO)

Источник: собственная иллюстрация (все имена переменных приведены на листе *Dataset* в файле *e3kz.xlsb*)

1

Модель *e3.kz* построена на подходе сверху-вниз (top-down). Экономический рост сначала моделируется на макроуровне через количественные и ценовые взаимосвязи, а затем детализируется по отраслям.

Компоненты конечного спроса — скорректированные на инфляцию или номинальные значения, а также соответствующие дефляторы — определяются на макроуровне. Например, скорректированные на цены конечные потребительские расходы домашних хозяйств $gdpr_v(2)$ ¹² оцениваются¹³ с использованием реального располагаемого дохода $sna_v(21) / gdpd_v(2)$ и численности населения $pag_v(1)$. Рост располагаемого дохода положительно влияет на потребление, тогда как общий рост потребительских цен оказывает на него сдерживающее влияние. Рост численности населения, в свою очередь, способствует увеличению потребительских расходов.

¹² Значения в скобках «()» указывают на элементы строк (и столбцов) вектора (обозначенного как *r*) или матрицы (обозначенной как *r* и *c*), которые могут представлять количество компонентов ВВП или число товарных групп, заданных для экономической переменной, такой как дефлятор импорта. Для описания строк и/или столбцов см. Приложения 2–8 или рабочий лист *RowColDesc* в файле *e3kz.xlsb*.

¹³ Все оценки выполняются в программе “R”, а затем результаты вставляются в код VBA. В разделе 2.7 описаны шаги, необходимые для интеграции результатов регрессий в VBA.

"R" code

```
inject("'Final consumption expenditure: households")
fit <- log(gdpr_v.2) ~ log(sna_v.21/gdpd_v.2) + log(pag_v.1) + 0
res <- lm(fit, subset=(year>=2006 & year <= 2022))
lm2vba(res,"sna_v(t)(21)/gdpd_v(t)(2)>0 and pag_v(t)(1)>0")
```

VBA regression function

```
Public Sub gdpreal(ByVal t As Integer, ByVal iteration As Integer)
' Final consumption expenditure: households
If t > gdpr_v_lastData Then
CHECK (sna_v(t)(21) / gdpd_v(t)(2)) > 0 And (pag_v(t)(1)) > 0
Then
gdpr_v(t)(2) = exp(0.842854 * Log(sna_v(t)(21) /
gdpd_v(t)(2)) + 0.610004
* Log(pag_v(t)(1)))
End If
End If
...
End Sub
```

Call of regression function in model code
gdpreal t, iteration

Располагаемый доход $sna_v(21)$ определяется в рамках системы национальных счетов (SNA). Скорректированные на цены потребительские расходы некоммерческих организаций, обслуживающих домашние хозяйства $gdpr_v(4)$ рассчитываются на основе реального располагаемого дохода $sna_v(21) / gdpd_v(4)$ с использованием соответствующего дефлятора $gdpd_v(4)$.

Регрессионные уравнения включены в код модели как функции VBA. Название функции *GdpReal* соответствует названию файла с уравнением оценки (см. папку *regs*).

GdpReal t, iteration

Скорректированное на цены потребление государственного сектора $gdpr_v(3)$ зависит от взвешенного скользящего среднего по скорректированному на цены ВВП $gdpr_v(12)$, предполагая, что при росте богатства государство может тратить больше средств в своих сферах деятельности. При этом более свежие данные о росте ВВП оказывают большее влияние на решения о расходах, чем данные предыдущих лет.

Валовое накопление основного капитала $gdpr_v(6)$ является функцией от взвешенного скользящего среднего скорректированного на цены валового внутреннего продукта $gdpr_v(12)$.

Дефляторы компонентов ВВП $gdpd_v(r)$ (за исключением импорта и экспорта) оцениваются на основе цен совокупного выпуска $gobpid_s$, которые в свою очередь рассчитываются методом нормативных издержек (unit cost approach).

Дефлятор экспорта $gdpd_v(9)$ определяется как совокупной ценой выпуска, так и мировой ценой на сырую нефть $ntmp_v(1)$, выраженной в долларах США за баррель, и обменным курсом тенге к доллару $extra_s$. Экспорт сырой нефти составляет около 50% всего экспорта, а цена на него формируется на мировом рынке.

Импортные дефляторы по товарным группам $impd_v(r)$ следуют либо своим собственным трендам, либо мировым рыночным ценам. Пользователи модели также могут настраивать значения импортных дефляторов для учета влияния переоценки тенге, как это наблюдалось в период пандемии COVID-19.

Номинальные компоненты ВВП $gdpn_v(r)$ в основном выводятся из дефляторов $gdpd_v(r)$ и соответствующих скорректированных на цены значений $gdpr_v(r)$. С помощью функции *UBound* в VBA возвращается верхняя граница массива (в данном случае переменной $gdpn_v$, которая определена на листе *Dataset*).

```
For r = 1 To UBound(gdpn_v (t), 1)
    gdpn_v(t) (r) = gdpr_v(t) (r) * gdpd_v(t) (r) / 100
Next
```

Исключение составляют экспортные значения $gdpn_v(9)$, которые задаются экзогенно с помощью механизма корректировок (*tweaks*, см. раздел 2.4.5).

```
Tweak t, gdpn_v_lastData, gdpn_v, "gdpn_v"
```

Дефлятор ВВП рассчитывается по определению как отношение номинального ВВП к скорректированному на цены ВВП.



Переход от внутренней концепции (расчёт ВВП по методу конечного использования) к национальной концепции (совокупный конечный спрос $totfdn_m(r,c)$) осуществляется с учётом прямых покупок за рубежом резидентами $totfdn_m(t)(69, c)$ и нерезидентами внутри страны $totfdn_m(t)(70, c)$.

Совокупные значения для каждого компонента конечного спроса распределяются по отраслям с использованием постоянных долей $totfds_m(r,c)$, рассчитанных для исторического периода (до *lastData*, см. пример кода VBA ниже). Совокупный конечный спрос представлен в виде матрицы с индексами по строкам r и столбцам c . Для каждого столбца c матрицы $totfdn_m(t)$ рассчитываются доли по строкам от 1 до 68.

```
If t <= totfdn_m_lastData Then
    For c = 1 To UBound(totfdn_m(t), 2)
        For r = 1 To 68
            totfds_m(t) (r, c) = totfdn_m(t) (r, c) / (totfdn_m(t) (71, c)
```

```

-
totfdn_m(t) (69, c) - tot-
fdn_m(t) (70, c)
Next
Next
End If

```

Кроме того, совокупный конечный спрос $totfdn_m(r,c)$ делится на внутренний спрос $domfdn_m(r,c)$ и импортируемый конечный спрос $impfdn_m(r,c)$ путём применения исторически наблюдаемых долей импорта по компонентам. В сценарных расчётах эти жёсткие параметры могут быть изменены, и как доля товара в соответствующем компоненте конечного спроса, так и доля импорта по товару могут быть скорректированы.

Импорт, вызванный производством $p_{ii}(r)$ – то есть импорт, обусловленный внутренним производством – рассчитывается по формуле: $p_{ii} = i_{icn_m} * (i_m(r,c) - dicn_m)^{-1} * tfdd$.

где:

i_{icn_m} – коэффициенты импорта по промежуточному потреблению (номинальные),
 i_m – единичная матрица,
 $dicn_m$ – коэффициенты внутреннего промежуточного потребления (номинальные),
 $tfdd$ – совокупный конечный внутренний спрос.

Для выполнения матричных вычислений DIOM-X предоставляет набор функций для работы с матрицами (см. Приложение 1). Для расчёта импорта, вызванного производством, используются следующие функции:

- MatMult(matrix1, matrix2) – перемножение двух матриц
- MatInv(matrix1) – обращение (инвертирование) матрицы
- MatSub(matrix1, matrix2) – вычитание одной матрицы из другой.

```

pii = MatMult(iicn_m(t), MatMult(MatInv(MatSub(i_m, dicn_m(t))),
tfdd))

```

Сумма импортированного конечного спроса и импорта, обусловленного производством, составляет общий импорт $impfdn_m(r,11)$, который необходимо вычесть из совокупного конечного спроса $totfdn_m(r,10)$ перед подстановкой в уравнение Леонтьева $(i_m, ticn_m)^{-1}$, из которого рассчитывается выпуск по группам продукции $gobpn_v(r)$.

```

For r = 1 To 68
    tfdei(r) = totfdn_m(t)(r, 10) - impfdn_m(t)(r, 11)
Next
gobpn_v(t) = MatMult(MatInv(MatSub(i_m, ticn_m(t))), tfdei)

```

Как выпуск продукции $gobpn_v(r)$, так и промежуточное потребление $tiipn_v(r)$ по группам продукции, рассчитанные на основе модели «затраты-выпуск» (IO), необходимо перенести на уровень экономических видов деятельности ($gobpin_v(r)$ и $tiipn_v(r)$), что соответствует данным по экономическим секторам¹⁴. Таблица предложения (supply table) предоставляет детализированную информацию о сделках с товарами и услугами по экономическим секторам и используется в виде таблицы транзакций $stpis_m(r,c)$.

Добавленная стоимость $van_v(r)$ рассчитывается как простая разница между вышеперечисленными переменными, при этом все значения вектора автоматически вычисляются с помощью функции *VecSub*, предоставленной фреймворком DIOM-X.

```
van_v(t) = VecSub(gobpin_v(t), tiipn_v(t))
```

3

Компоненты добавленной стоимости – вознаграждение работников $soen_v(r)$ и прочие налоги за вычетом субсидий на производство $otlspn_v(r)$ – определяются в рамках модели. Предполагается, что последняя переменная изменяется пропорционально изменению производства $gobpin_v(r)$ через применение соответствующих темпов роста.

```
For r = 1 To UBound(otlspn_v(t))
    otlspn_v(t)(r) = otlspn_v(t - 1)(r) * gobpin_v(t)(r) / gobpin_v(t - 1)(r)
Next
```

Оплата труда работников зависит от количества занятых лиц $empl_v(r)$ ¹⁵ и заработной платы на душу населения $wpen_v(r)$. Промежуточное потребление $tiipn_v(r)$, оплата труда работников и прочие налоги за вычетом субсидий на производство являются стоимостными компонентами, учитываемыми при расчёте себестоимости единицы продукции.

Себестоимость единицы продукции $исп_v(r)$ определяется как затраты на единицу скорректированного по ценам выпуска по видам экономической деятельности $gobpir_v(r)$, где r охватывает все сектора экономики (в данном случае: от 1 до 72) в соответствии с набором данных. Наиболее важные компоненты себестоимости – это затраты на труд $иссоен_v(r)$ и затраты на промежуточные ресурсы $истиин_v(r)$.

Затраты на труд по каждому виду экономической деятельности рассчитываются как отношение совокупной оплаты труда работников к скорректированному по ценам выпуску на уровне сектора. Затраты на промежуточные ресурсы рассчитываются исходя из скорректированных по ценам

¹⁴ В то время как товарные группы подразделяются на 68 элементов, экономические секторы включают 72 элемента. Таким образом, классификации необходимо привести друг к другу. Процедуры агрегирования и дезагрегирования описаны в Приложении 18.

¹⁵ COMSTAT предоставляет данные о численности занятых по 21 экономическому сектору. Для получения информации о компенсации работникам по всем 72 секторам экономики необходимо дезагрегировать занятость на 72 сектора, предполагая, что производительность труда в пределах каждого из 21 сектора одинакова для соответствующих подсекторов. Агрегация от 72 к 21 экономическому сектору осуществляется согласно спецификациям, приведённым в Приложении 17.

промежуточных затрат — с разделением на импортные ресурсы $iicr_m(r,c)$ и продукцию отечественного производства ($ticr_m(r,c) - iicr_m(r,c)$), закупаемых секторами экономики и оцениваемых соответственно по импортным ценам $impd_v(r)$ и отпускным ценам $gobpid_v(r)$.

Дефляторы выпуска $gobpid_v(r)$ оцениваются на основе совокупных затрат $icn_v(r)$ на уровне сектора. Величина надбавки к цене (markup pricing) зависит от преобладающей рыночной структуры: на монополизированных рынках прибыльная маржа, как правило, выше, чем в условиях конкуренции.



Предложение рабочей силы моделируется на агрегированном уровне. Демографическое развитие, то есть численность населения трудоспособного возраста $pag_v(3)$, определяет численность рабочей силы lf_s . Уровень заработной платы на душу населения по всем секторам экономики $wpen_s$ рассчитывается как функция, прогнозирующая результат переговорного процесса между профсоюзами и компаниями: макроэкономическая производительность труда $gdpr_v(12) / empl_s$, индекс потребительских цен $gdpr_v(2)$ и, при необходимости, индикатор нехватки рабочей силы $lf_s / empl_s$ определяют макроуровень заработной платы $wpen_s$, который, в свою очередь, влияет на уровень заработной платы по занятости во всех отраслях $wpen_v(r)$. Численность занятых в 21 экономическом секторе $empl_v(r)$ оценивается по объёму выпуска, скорректированному по ценам $gobpir_v(r)$, и реальным ставкам заработной платы, выраженным в виде соотношения заработной платы на одного занятого к индексу цен на продукцию $wpen_v(r) / gobpid_v(r)$, если это значимо.

Система национальных счетов (СНС) является неотъемлемой частью моделирующей системы, позволяющей охватить весь экономический оборот и потоки денежных средств от производства к потреблению. Важные переменные, определяемые в рамках СНС, включают, например, располагаемый доход $sna_v(21)$ и чистое кредитование/чистое заимствование.

Многие переменные из системы межотраслевого баланса, такие как добавленная стоимость, конечные потребительские расходы, валовое накопление основного капитала и т.д., служат входными данными для СНС. Другие переменные СНС, такие как социальные взносы и сбережения, определяются внутри системы либо путём их оценки, либо по определению (см. Приложение 9).

3.3 Расширение экономической модели на субнациональном уровне

3.3.1 Общий обзор

Субнациональное моделирование основано на эмпирическом анализе региональных экономических структур и систематическом анализе различий в отраслевом росте между регионами Казахстана и национальным уровнем. Это расширение интегрировано в согласованную макроэкономическую модель е3.kz, что позволяет проводить сравнительный анализ таких экономических показателей, как занятость и валовой региональный продукт, с другими регионами страны (см. Рисунок 26). Субнациональное расширение было реализовано для экономических показателей, но не для показателей энергетического модуля. В общей сложности охвачено 20 регионов Казахстана, включая новые области, такие как Улытауская и Жетысуская.

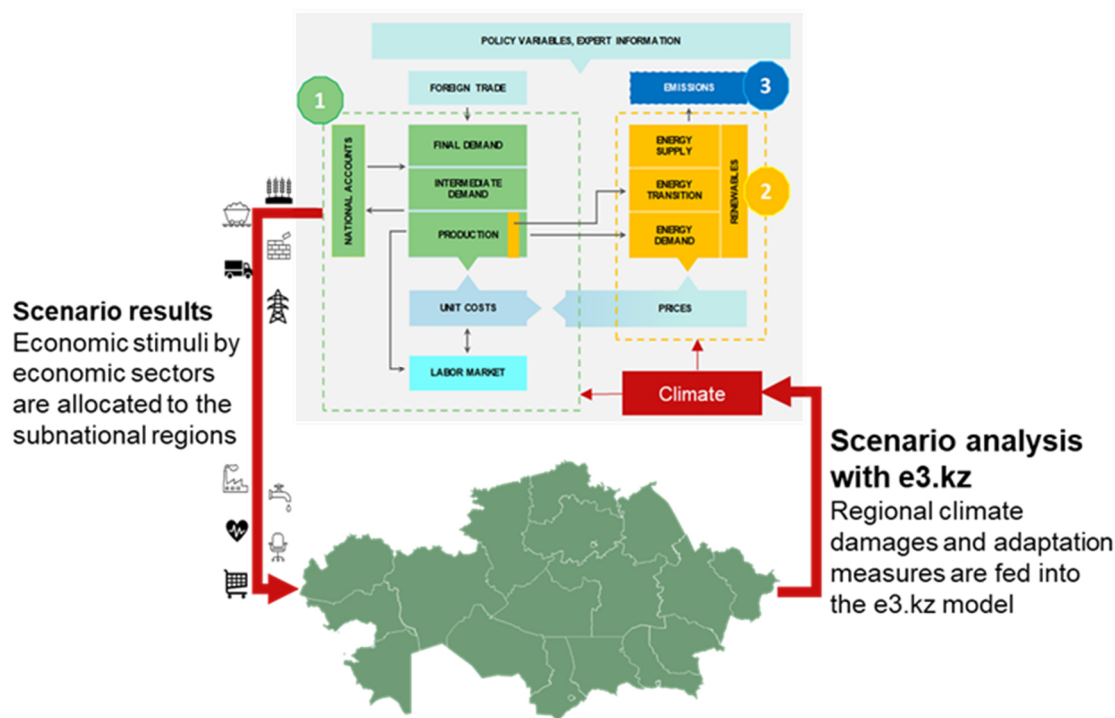


Рисунок: 25 Субнациональное моделирование

Источник: Собственная иллюстрация. Карты взяты с сайта www.simplemaps.com

Применяемый подход регионализации – это метод «смещённой доли» (shifted share), успешно использованный ранее для моделирования на уровне районов в Германии (Zika et al, 2023). Этот метод позволяет передавать отраслевые тенденции с национального уровня на региональный, учитывая при этом региональные различия.

На первом этапе определяется доля каждого экономического сектора в регионе по отношению к национальному уровню на основе исторических данных. Сравнение этих долей показывает, насколько развитие региона совпадает или отличается от общенационального. Сильные отклонения, как правило, обусловлены факторами размещения, которые влияют на миграцию бизнеса между регионами. Однако при определении средних значений «факторов конкурентных преимуществ» исключаются атипичные значения (Zika et al. 2023, Bernardt et al. 2020).

Эти эмпирически рассчитанные коэффициенты для каждого региона и экономического сектора используются для прогнозирования региональной занятости по секторам на основе национальных прогнозов занятости. При этом важно учитывать, что однажды достигнутые региональные конкурентные преимущества со временем, особенно в долгосрочной перспективе, могут исчезнуть. Поэтому предполагается, что «коэффициенты конкурентного преимущества» будут постепенно снижаться.

Для лиц, принимающих решения, другим важным экономическим показателем является добавленная стоимость или валовой внутренний продукт. Для расчёта добавленной стоимости по отраслям используется региональная, отраслеспецифичная производительность труда, развивающаяся аналогично производительности труда на национальном уровне, и она применяется к региональной занятости. В итоге валовой региональный продукт (ВРП) определяется как сумма отраслевой добавленной стоимости с учётом чистых налогов на продукты. Для всех региональных

экономических показателей национальные значения рассчитываются путём агрегирования данных по всем регионам.

Представленный здесь подход «смещённой доли» позволяет последовательно увязать региональную занятость, добавленную стоимость и валовой региональный продукт с соответствующими переменными модели е3.kz.

3.3.2 Набор данных

Субнациональное расширение экономической модели основано на данных COMSTAT (см. Таблицу 3). Классификация регионов соответствует уровню NUTS1 (см. Приложение 19).

Таблица: 3 Набор данных для субнационального расширения экономической модели

Макроэкономические и социально-экономические данные		
Население	- Общая численность населения по регионам (2000-2024)	COMSTAT
Рынок труда	- Общая занятость по регионам (1998-2023)	COMSTAT
Валовой региональный продукт (ВРП)	- ВРП в текущих ценах (1995-2023 гг.)	COMSTAT
Отраслевые данные		
Рынок труда	- Занятость в регионе по 19 видам экономической деятельности (1998-2023)	COMSTAT
Добавленная стоимость	- Добавленная стоимость по секторам экономики (2000 / 2010-2023)	COMSTAT

Источник: Собственная иллюстрация

3.3.3 РЕАЛИЗАЦИЯ в DIOM-X

В модуле *regio* население, валовой региональный продукт (ВРП), а также занятость и добавленная стоимость по секторам экономики прогнозируются на основе связи с соответствующими экономическими показателями основной экономической модели (см. раздел 3.2, рисунок 27). Прогнозирование региональных (социо-) экономических показателей описано в следующих параграфах.

Прогноз численности **населения** на национальном уровне основывается на расчётах демографической модели ERI. Чтобы оценить, как будет меняться население на субнациональном уровне до 2050 года, предполагается, что все 20 регионов будут вносить вклад в национальный прирост населения так же, как и в прошлом¹⁶.

¹⁶ Этот прогноз может быть заменен субнациональными прогнозами численности населения, как только они будут доступны.

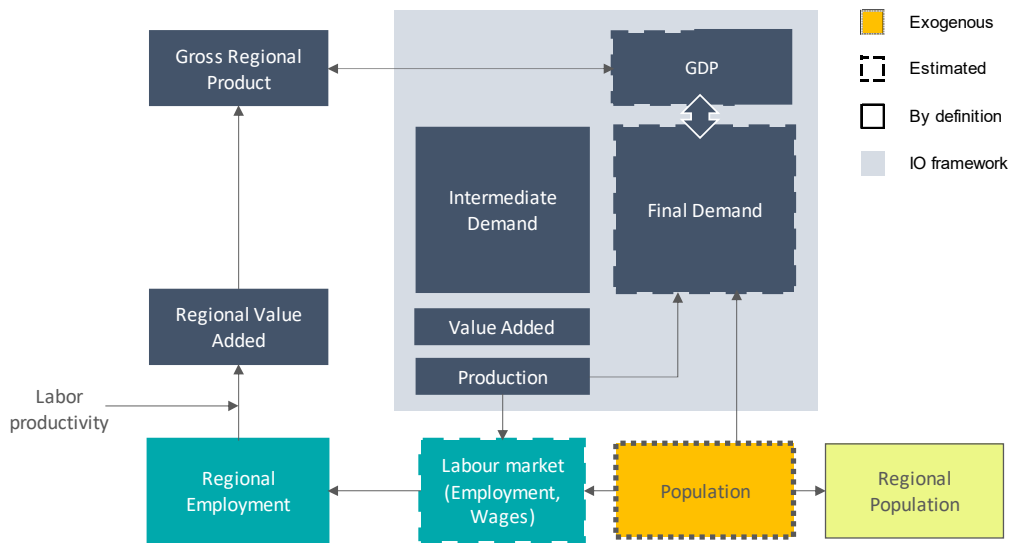


Рисунок: 26 Подробная схема субнационального моделирования

Источник: Собственная иллюстрация. Карты Bing © Microsoft, TomTom, Wikipedia.

Сначала рассчитывается вклад каждого региона в прирост населения на национальном уровне $pcgnl_v(r)$ на основе временных рядов по региональному населению $pr_v(r)$ и общей численности населения в стране $pag_v(1)$.

```
For r = 1 To UBound(pr_v(t), 1)
  If pag_v(t)(1) > 0 Then
    pcgnl_v(t)(r) = (pr_v(t)(r) - pr_v(t - 1)(r)) / pag_v(t)(1)
  * 100
  End If
Next
```

На следующем этапе вычисляется средний годовой вклад в прирост населения $paacgnl_v(r)$ с исключением выбросов. Полученный показатель используется для прогнозирования регионального населения с учётом того, что в долгосрочной перспективе наблюдаемый вклад в прирост может снижаться со временем.

Занятость по 20 видам экономической деятельности служит связующим звеном между национальным и субнациональным уровнями при наличии соответствующих данных. Для переноса отраслевых трендов занятости с национального уровня $empl_v(r)$ на региональный $emplr_m(r,c)$, сначала определяется доля занятости в регионе по экономическим секторам от национального уровня на основе исторических временных рядов. Для каждого года соотношение этих долей показывает либо схожее развитие (соотношение равно 1), либо отклоняющееся (соотношение отличается от 1) в конкретном регионе по сравнению с национальным средним (см. также Bernardt и др., 2020, с. 82). Доли, превышающие (или ниже) единицы, указывают на наличие у региона «конкурентного преимущества» (или «недостатка»).

```

For c = 2 To UBound(emplr_m(t), 2)
  For r = 2 To UBound(emplr_m(t), 1)
    ess_m(t)(r, c) = (emplr_m(t)(r, c) / emplr_m(t - 1)(r, c)) /
                      (empl_v(t)(c - 1) / empl_v(t - 1)(c
- 1))
  Next
Next

```

На втором этапе из расчёта среднего значения смещённой доли $ess_m(r, c)$ по региону r и сектору c исключаются атипичные значения. Для этого временные ряды долей по регионам и секторам сортируются по величине с использованием алгоритма quicksort, после чего значения в первом и десятом дециле исключаются.

На завершающем этапе средние смещённые доли по каждому региону и сектору применяются для прогнозирования региональной занятости по секторам на основе общенационального прогноза. При этом предполагается, что ранее достигнутые конкурентные преимущества могут исчезнуть, особенно в долгосрочной перспективе. Поэтому коэффициенты конкурентного (не)преимущества со временем постепенно снижаются с использованием коэффициента сходимости 0.95.

```

For c = 2 To UBound(emplr_m(t), 2)
  For r = 2 To UBound(emplr_m(t), 1)
    emplr_m(t)(r, c) = emplr_m(t - 1)(r, c) *
                      ((1 + (0.95 ^ (t - emplr_m_last-
Data) * (ess_m(t)(r, c) - 1)))
                      * (empl_v(t)(c - 1) / empl_v(t -
1)(c - 1)))
  Next
Next

```

Добавленная стоимость по секторам экономики $varn_m(r, c)$ прогнозируется путём умножения региональной отраслевой производительности труда $lpr_m(r, c)$ на региональную занятость по секторам $emplr_m(r, c)$. Обычно производительность труда определяется как отношение реального объёма производства к численности занятых. Однако данные по объёму производства по секторам и регионам доступны не для всех отраслей. Поэтому производительность труда рассчитывается как отношение добавленной стоимости к численности занятых.

Производительность труда по секторам на субнациональном уровне будет развиваться аналогично соответствующей производительности на национальном уровне. Далее, региональная добавленная стоимость по секторам может быть рассчитана путём умножения региональной отраслевой производительности труда на занятость по секторам в соответствующем регионе.

```

For r = 2 To UBound(lpr_m(t), 1)
  For c = 2 To UBound(lpr_m(t), 2)
    varn_m(t)(r, c) = lpr_m(t)(r, c) / 1000 * emplr_m(t)(r, c)
  Next
Next

```

Валовой региональный продукт в номинальном выражении $grpn_v(r)$ определяется исходя из предположения, что он растёт пропорционально общей добавленной стоимости в регионе. Реальный валовой региональный продукт $grpr_v(r)$ рассчитывается путём корректировки номинального ВРП на национальный дефлятор ВВП $gdpr_v(12)$.

```
'Nominal GRP

For r = 2 To UBound(grpn_v(t))
    grpn_v(t)(r) = grpn_v(t - 1)(r) * varn_m(t)(r, 1) / varn_m(t - 1)(r, 1)
Next

'Real GRP
For r = 1 To UBound(grpn_v(t), 1)
    grpr_v(t)(r) = grpn_v(t)(r) / gdpr_v(t)(12) * 100
End If
```

Для всех региональных экономических показателей национальные значения определяются как сумма по всем регионам.

3.4 Энергетический модуль

3.4.1 Общий обзор

Энергетический модуль описывает взаимосвязи в энергетическом секторе более подробно, чем экономическая модель. Он охватывает спрос, предложение и трансформацию энергии по различным видам ископаемого топлива и возобновляемым источникам энергии, как это указано в энергетическом балансе (см. Таблицу 4).

Таблица: 4 Представленные источники энергии

ПЕРВИЧНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ		ВТОРИЧНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ
ИСКОПАЕМОЕ ТОПЛИВО	Возобновляемые источники энергии	
УГОЛЬ	Биотопливо и отходы	Электричество
СЫРАЯ НЕФТЬ	Гидроэнергия	Тепло
ПРИРОДНЫЙ ГАЗ	Геотермальные, солнечные и др.	Нефтепродукты

Источник: Собственная иллюстрация

Спрос на энергию подробно представлен для крупнейших потребителей в промышленности, домохозяйств и транспортного сектора (см. Рисунок 28). Основными факторами, определяющими спрос на энергию в секторах, являются экономическое развитие отраслей, соответствующая энергоёмкость производственных процессов и динамика цен на энергию. Спрос домохозяйств на энергию оценивается с использованием данных о численности населения.

Предложение энергии определяется совокупным спросом всех секторов. Энергия либо производится внутри страны, либо импортируется. Учитываются первичные энергетические ресурсы, используемые для производства электроэнергии и тепла.

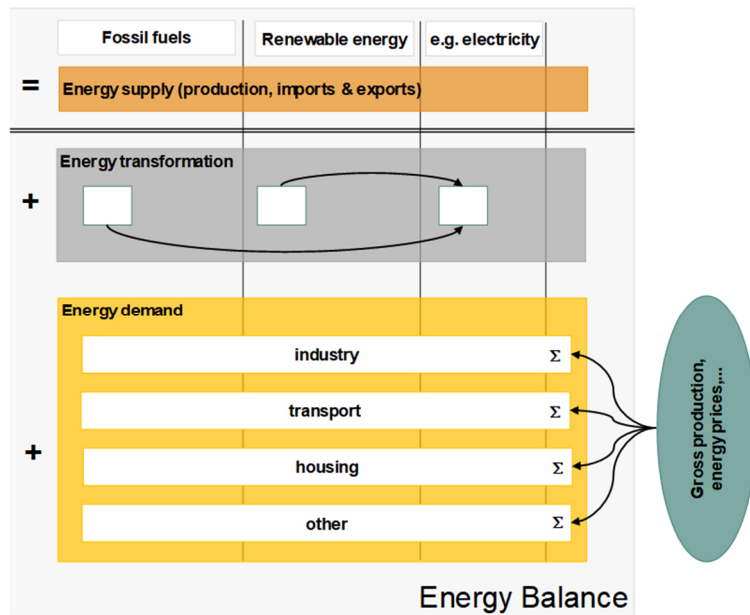


Рисунок: 27 Энергетический модуль в общих чертах

Источник: Собственная иллюстрация

Мировые рыночные цены следуют прогнозам Всемирного банка, Международного энергетического агентства (IEA) и прогнозам TIMES-KZ, что влияет на экспортную цену сырой нефти, добываемой в Казахстане (World Bank 2020, IEA 2019). Цены на энергию для домохозяйств и промышленных потребителей устанавливаются в зависимости от внутренних цен производителей или мировых рыночных цен.

3.4.2 Набор данных

Энергетический модуль основан на следующем наборе данных, опубликованном COMSTAT, IEA и Всемирным банком. Zhasyl Damu собрал данные о ценах на энергию по видам энергоресурсов для домохозяйств и промышленных потребителей.

Таблица: 5 Набор данных для энергетического модуля

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ		
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ БАЛАНС	- Доступно в 1990–2023 гг.	COMSTAT (и IEA)
ЦЕНЫ НА ЭНЕРГОНОСИТЕЛИ	- Цены на мировом рынке (1990–2023) - Цены для домашних хозяйств и промышленных потребителей на различные виды ископаемого топлива (до 2023 года)	Всемирный банк COMSTAT (Жасыл Даму)

Источник: Собственная иллюстрация

3.4.3 РЕАЛИЗАЦИЯ в DIOM-X

В энергетическом модуле прогнозируются как цены на энергоносители, так и объемы энергии (спрос и предложение) на основе взаимосвязей, описанных в следующих абзацах.

Цена на энергоносители, торгуемые на мировом рынке, определяется соответствующими мировыми ценами $wmp_v(r)$ ¹⁷. Эти цены следуют прогнозам Всемирного банка (до 2030 года), Международного энергетического агентства (IEA, до 2040 года), а затем – прогнозам модели TIMES-KZ, используемой в проекте «Зеленая экономика». Эти экзогенные данные задаются на листе *Scenario* и входят в модель через механизм корректировок (tweaks).

```
Tweak t, wmp_v_lastData, wmp_v, "wmp_v"
```

Цены на энергию, оплачиваемую домохозяйствами и промышленными потребителями, $ep_v(r)$ ¹⁸, рассчитываются на основе внутренних цен производителей $gobpid_v(r)$, а не мировых цен, поскольку большая часть энергии производится в Казахстане.

Кроме того, рассчитываются среднеотраслевые индексы цен на энергию $epi_v(r)$, которые наряду с другими факторами определяют спрос на энергию. Цена каждого энергоносителя взвешивается в зависимости от структуры потребления энергии в соответствующем секторе. Например, чем выше доля потребления угля в секторе, тем больше влияние цены на уголь на общий индекс цен в этом секторе.

Моделирование **объемов энергии** определяется структурой энергетического баланса Казахстана, который отражает взаимосвязи между поставками энергии, её трансформацией и потреблением по различным видам ископаемого топлива и возобновляемым источникам энергии в тысячах тонн нефтяного эквивалента (ктнэ). Рисунок 29 демонстрирует используемые подходы для прогнозирования элементов энергетического баланса.

Движущей силой совокупного спроса на энергию в таких секторах, как промышленность, транспорт, коммерция, государственные услуги, сельское и лесное хозяйство, является экономическое развитие этих отраслей (прогнозируется в рамках экономической модели, см. раздел 3.2) $gobpir19_v(r)$ ¹⁹, а также, при необходимости, относительные цены. Последние представляют собой отношение среднеотраслевого индекса цен на энергию $epi_v(r)$ к отраслевым ценам на продукцию $gobpid19_v(r)$, что отражает возможность перекладывания затрат на энергию на конечную цену продукции. Таким образом, положительная динамика отрасли увеличивает спрос на энергию, тогда как рост относительной цены оказывает сдерживающее влияние.

¹⁷ См.

Приложение: 11

¹⁸ См. Приложение: 12

¹⁹ Реальный выпуск трансформируется из 72 в 19 экономических секторов в соответствии с энергетическим балансом. Посопоставление осуществляется согласно инструкциям, приведённым в Приложении 16.

Моделирование спроса на энергию со стороны домохозяйств $eb_m(36)(10)$ реализовано в упрощённой форме и задаётся как функция демографического развития $pag_v(1)$. Улучшение энергоэффективности в прошлом учтено в коэффициенте регрессии.

		Coal	Crude oil	Oil products	Natural gas	Hydro	Wind, solar, etc.	Biofuels, waste	Electricity	Heat	Total
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Production	1			x					x	x	
Imports	2					x	x			x	
Exports	3					x	x			x	
International marine bunkers	4	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
International aviation bunkers	5	x	x		x	x	x	x	x	x	
Stock changes	6					x	x	x	x	x	
Total primary energy supply	7									x	
Transfers	8	x			x	x	x	x	x	x	
Statistical differences	9					x	x	x	x	x	
Electricity plants	10	x	x							x	
CHP plants	11		x			x	x	x			
Heat plants	12		x			x	x	x	x		x
Gas works	13	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Oil refineries	14	x			x	x	x	x	x	x	
Coal transformation	15		x		x	x	x	x	x	x	
Liquefaction plants	16	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Other transformation	17	x		x	x	x	x		x	x	
Energy industry own use	18					x	x				
Losses	19					x	x	x			
Total final consumption	20					x	x				
Industry	21					x	x				
Iron and steel	22					x	x	x			
Chemical and petrochemical	23					x	x	x			
Non-ferrous metals	24					x	x	x			
Non-metallic minerals	25					x	x	x			
Transport equipment	26					x	x	x			
Machinery	27					x	x	x			
Mining and quarrying	28					x	x	x			
Food and tobacco	29					x	x	x			
Paper pulp and printing	30					x	x	x			
Wood and wood products	31					x	x				
Construction	32					x	x	x			
Textile and leather	33					x	x	x			
Non-specified	34					x	x	x			
Transport	35		x		x	x	x			x	
Residential	36		x			x	x				
Commercial and public services	37		x			x	x				
Agriculture / forestry	38		x			x	x				
Fishing	39	x	x	x	x	x	x	x			
Non-specified	40	x	x	x	x	x	x	x	x		
Non-energy use	41	x	x			x	x	x	x	x	

Exogenous

x

No value
Estimated

By definition
Share in total
Power-Heat-Ratio

Growth rate
Constant
Input-Output-Ratio

Рисунок: 28 Подходы к прогнозированию элементов энергетического баланса

Источник: Собственная иллюстрация на основе данных МЭА

Направление и величина взаимосвязей между соответствующими переменными определяются с использованием эконометрических методов. Полученные регрессионные уравнения для всех секторов включены в код VBA.


```

Public Sub EnergyDemand(ByVal t As Integer, ByVal iteration As Integer)
    ' Iron and steel
    If t > eb_m_lastData Then
        CHECK (gobpir19_v(t)(1) > 0 )
        eb_m(t)(22, 10) = exp(0.603 * Log(gobpir19_v(t)(1)) - 0.502
* dv_v(t)(52)
                                - 0.010)
    End If
    End If
    ...
End Sub

```

Общий спрос на энергию в отрасли (начиная с строки 22 матрицы eb_m , см. рисунок 29 или таблицу 6) затем определяет рост конечного потребления энергии по каждому источнику энергии (указан в столбцах с матрицы) на основе их исторических долей $ebs_m(r)(c)$ в общем отраслевом потреблении энергии. Меры по смягчению последствий, направленные на увеличение доли возобновляемых источников энергии в секторах, задаются экзогенно через механизм корректировок (tweak).

```

If t <= eb_m_lastData Then
    For c = 1 To UBound(eb_m(t), 2)
        For r = 22 To UBound(eb_m(t), 1)
            ebs_m(t)(r, c) = eb_m(t)(r, c) / eb_m(t)(r, 10)
        Next
    Next
End if

Tweak t, ebs_m_lastData, ebs_m, "ebs_m"

If t > eb_m_lastData Then
    For r = 22 To UBound(eb_m(t), 1)
        For c = 1 To UBound(eb_m(t), 2)
            eb_m(t)(r, c) = eb_m(t)(r, 10) * ebs_m(t)(r, c)
        Next
    Next
End if

```

Общее конечное потребление энергии (ТФС) по каждому источнику энергии $eb_m(20, c)$ представляет собой сумму конечного спроса на энергию со стороны всех потребителей (см. таблицу 6).

Таблица: 6 Общее конечное потребление

21	Промышленность	35	Транспорт
22	Железо и сталь	36	Жилье
23	Химическая и нефтехимическая промышленность	37	Коммерческие и государственные услуги
24	Цветные металлы	38	Сельское хозяйство / лесное хозяйство
25	Неметаллические минералы	39	Рыбалка
26	Транспортное оборудование	41	Неуточнённые (прочие)
27	Машины		
28	Горнодобывающая промышленность и разработка карьеров		
29	Продукты питания и табак		
30	Бумажная целлюлоза и полиграфия		
31	Древесина и изделия из нее		
32	Строительство		
33	Текстиль и кожа		
34	Неуточнённые (прочие)		

Источник: Собственная иллюстрация

Поскольку первичная энергия (например, сырая нефть) обычно не поставляется напрямую потребителю, энергетический модуль включает сектор трансформации, который преобразует отечественную и импортированную (первичную) энергию в конечную энергию (тепло и электроэнергию, нефтепродукты).

Общее конечное потребление энергии, как правило, определяет выпуск энергии в секторе трансформации. Таким образом, предполагается, что выпуск нефтеперерабатывающих заводов $eb_m(14, 3)$ и конечное потребление нефтепродуктов $eb_m(20, 3)$ пропорциональны.

$$eb_m(t)(14, 3) = eb_m(t-1)(14, 3) * eb_m(t)(20, 3) / eb_m(t-1)(20, 3)$$

Согласно энергетическому балансу, тепловые станции, производящие только тепло, используют уголь и газ. Выпуск тепла с таких установок $eb_m(12, 9)$ определяется общим конечным потреблением тепла $eb_m(20, 9)$, а также собственным потреблением тепла в энергетике $eb_m(18, 9)$ и потерями тепла $eb_m(19, 9)$.

Кроме того, установки когенерации (ТЭЦ) одновременно вырабатывают тепло и электроэнергию, необходимую конечным потребителям энергии. Исторически наблюдавшийся «коэффициент

эффективности», отражающий соотношение производства электроэнергии и тепла, используется для определения выпуска электроэнергии на ТЭЦ $eb_m(11, 8)$. Электростанции производят электроэнергию, используя природный газ, нефтепродукты или возобновляемые источники энергии, такие как ветер, солнечная энергия и гидроэнергия. Объёмы «зелёной» электроэнергии зависят от масштаба внедрения возобновляемых источников (например, гидроэнергия $eb_m(10, 5)$ или ветер / солнце $eb_m(10, 6)$), что может быть обеспечено регулированием или законодательством (например, Стратегия по переходу к зелёной экономике). Это необходимо задавать в сценариях. Если спрос на электроэнергию не может быть полностью удовлетворён за счёт возобновляемых источников, недостающий объём вырабатывается на электростанциях, работающих на ископаемом топливе (в основном газе).

```
Tweak t, eb_m_lastData, eb_m, "eb_m"
```

После определения выпуска энергии в секторе трансформации (например, тепло и нефтепродукты), входные объёмы ископаемых, возобновляемых и других видов топлива для производства этой энергии рассчитываются с предположением, что последние наблюдаемые отношения между входной и выходной энергией остаются постоянными. Эти «коэффициенты эффективности» ($ebs_m(t)(11, c)$ для ТЭЦ, $ebs_m(t)(12, c)$ для тепловых станций и $ebs_m(t)(14, c)$ для НПЗ) могут быть скорректированы в сценариях.

```
For c = 1 To UBound(eb_m(t), 2)
    eb_m(t)(11, c) = ebs_m(t)(11, c) * (eb_m(t)(11, 8) + eb_m(t)(11, 9))
    eb_m(t)(12, c) = ebs_m(t)(12, c) * eb_m(t)(12, 9)
    eb_m(t)(14, c) = ebs_m(t)(14, c) * eb_m(t)(14, 3)
Next
```

Передачи и статистические расхождения предполагаются постоянными, однако при необходимости можно задействовать экспертное мнение для корректировки этого допущения. Собственное потребление энергии энергетическим сектором развивается в зависимости от произведённой энергии.

Общее первичное энергоснабжение (TPES) $eb_m(7, c)$ может быть рассчитано либо с точки зрения предложения, либо спроса — в данном подходе используется вторая методика. Далее определяются оставшиеся компоненты со стороны предложения. Первичная энергия в основном добывается в Казахстане, небольшая часть — импортируется. Часть внутреннего производства экспортируется.

Таблица: 7 Определение общего объема первичной энергии

С точки зрения предложения

	Production
+	Imports
-	Exports
-	International marine bunkers
-	International aviation bunkers
+	Stock changes
=	Total Primary Energy Supply

С точки зрения спроса

	Energy transformation input
-	Energy transformation output
+	Energy industry own use
+	Losses
+	Total final consumption
=	Total Primary Energy Supply

Источник: Собственная иллюстрация

Внутреннее производство $eb_m(1, c)$ для ископаемого топлива и биотоплива задаётся экзогенно (в данном случае на основе прогнозов модели TIMES-KZ). Для других возобновляемых источников энергии внутреннее производство по определению приравнивается к TPES.

Экспорт энергии по видам топлива $eb_m(3, c)$ растёт с той же скоростью, что и соответствующий экспорт по видам продукции в экономической модели $totfdn_m(r, 9)$, с учётом соответствующих мировых цен $wmp_v(r)$ и обменного курса $extra_s$.

```
'coal
eb_m(t) (3, 1) = eb_m(t - 1) (3, 1) * (totfdn_m(t) (4, 9) / (wmp_v(t) (2)
* extra_s(t))) /
(totfdn_m(t - 1) (4, 9) /
(wmp_v(t - 1) (2) * extra_s(t - 1)))
'crude oil
eb_m(t) (3, 2) = eb_m(t - 1) (3, 2) * (totfdn_m(t) (5, 9) / (wmp_v(t) (1)
* extra_s(t))) /
(totfdn_m(t - 1) (5, 9) /
(wmp_v(t - 1) (1) * extra_s(t - 1)))
...
```

Международное бункерное потребление и изменение запасов предполагаются постоянными. Таким образом, импорт $eb_m(2, c)$ рассчитывается как остаточная категория.

3.5 Модуль ЭМИССИЙ

3.5.1 Общий обзор

Модуль выбросов фиксирует выбросы CO₂, связанные с потреблением энергии²⁰, в таких секторах, как энергетика, обрабатывающая промышленность и строительство, транспорт, а также в других секторах, включая коммерческий и жилищный. Сокращение использования ископаемого топлива за счёт внедрения возобновляемых источников энергии или повышения энергоэффективности отражается в снижении выбросов CO₂. В отличие от энергетического модуля, модуль выбросов носит исключительно отчётный характер и не содержит обратных связей с экономической моделью.

3.5.2 Набор данных

Данные по выбросам CO₂ (в 1 000 тонн CO₂) и расчётные коэффициенты выбросов (в тыс. тонн CO₂ на ТДж) предоставляются инвентаризациями парниковых газов ООН (UNFCCC) за 1990-2021 годы.

3.5.3 РЕАЛИЗАЦИЯ в DIOM-X

В целом, выбросы CO₂ по секторам $co2e_v(r)$ рассчитываются путём умножения расчётных коэффициентов выбросов $ief_m(r, c)$ на соответствующее секторное потребление ископаемого топлива $eb_m(r, c)$.

Во-первых, необходимо учесть коэффициент $k_{toeToTJ}$, который переводит килотонны нефтяного эквивалента в тераджоули. Во-вторых, необходимо сопоставить данные о потреблении энергии по экономическим секторам, приведённые в UNFCCC и энергетических балансах.

Поскольку значения потребления энергии, публикуемые в UNFCCC и в энергетических балансах, не совпадают, исторические выбросы CO₂ невозможно воспроизвести с использованием вышеописанного подхода. Чтобы избежать разрыва в временных рядах между прошлыми и прогнозируемыми выбросами CO₂ из-за различий в исходных данных, используются темпы роста расчётных выбросов CO₂ для увязки прошлых и будущих значений.

```

For c = 1 To 4                                'fossil fuels
  For r = 10 To 12                            'energy industry
    If eb_m(t)(r, c) < 0 Then                  'only energy input, which is
negatively defined!
      co2e_prelim_v(t)(3) = co2e_prelim_v(t)(3) + Abs(eb_m(t)(r,
c)) * ktoeToTJ *
                                                    ief_m(t)(1, c)

```

²⁰ Другие выбросы парниковых газов (например, CH₄, N₂O), а также другие категории источников и поглотителей парниковых газов (например, промышленные процессы и их использование, сельское хозяйство) в модели ez.kz не учитываются. Учитываемые выбросы CO₂ составляют 94% от общего объёма чистых выбросов CO₂. Общие выбросы CO₂ составляют 80% от всех выбросов парниковых газов.

```

End If
...
Next
Next

co2e_v(t)(3) = co2e_v(t - 1)(3) * co2e_prelim_v(t)(3) / co2e_prelim_v(t-1)(3)

```

В-третьих, для прогноза выбросов CO₂, не связанных с сжиганием топлива (так называемые утечные выбросы), применяется упрощённый подход: неорганизованные выбросы от твёрдого топлива $co2e_v(t)(9)$ увязываются с преобразованием угля; неорганизованные выбросы от нефти и природного газа $co2e_v(t)(10)$ предполагается увеличивать теми же темпами, что и добыча этих ресурсов.

```

'solid fuels: flaring of coke oven gas
co2e_v(t)(9) = co2e_v(t - 1)(9) * Abs(eb_m(t)(15, 1)) /
               Abs(eb_m(t - 1)(15, 1))

'oil and gas
co2e_v(t)(10) = co2e_v(t - 1)(10) * (eb_m(t)(1, 2) + eb_m(t)(1,
4)) /
               (eb_m(t - 1)(1, 2) + eb_m(t - 1)(1, 4))

'нефть+газ

```

4 СЦЕНАРНЫЙ АНАЛИЗ ИЛИ АНАЛИЗ «ЧТО, ЕСЛИ»

4.1 Общие положения

Экономисты используют сценарный анализ как методологию для учета неопределённостей будущего. Сценарии представляют собой согласованные наборы количественных допущений, описывающих возможное развитие ситуации. Сценарий помогает лучше понять, что может произойти, кто или что будет затронуто и каким образом. Таким образом, сценарий не следует рассматривать как точный прогноз — он отражает возможные траектории развития в ответ на сделанные допущения (анализ «что, если»).

Отправной точкой для такого анализа, как правило, является референтный сценарий, основанный на ряде экзогенных предпосылок (например, демографических прогнозах) и исторически наблюдаемом поведении экономических агентов, которое предполагается сохраняющимся в будущем. Например, если потребители в прошлом не реагировали на изменение цен на определённые товары, считается, что они не будут реагировать и в будущем (неэластичный спрос).

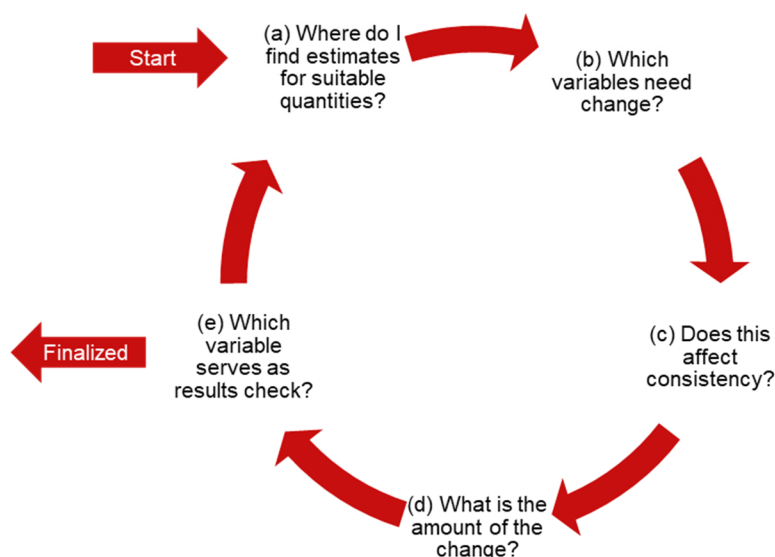


Рисунок: 29 Построение сценария

Источник: Собственная иллюстрация

Построение сценария основывается на этапах, показанных на рисунке 30. В зависимости от поставленных вопросов, сначала необходимо определить источники (литература, эксперты), позволяющие задать соответствующие количественные параметры (а). Затем следует выбрать подходящую переменную модели (b). Для этого требуется знание структуры модели. Не каждая переменная может быть изменена или «скорректирована» (tweaked), например, нельзя корректировать левую часть тождеств — иначе нарушится определение. Например, ВВП по определению равен сумме потребления, инвестиций и чистого экспорта, поэтому сам ВВП корректировать нельзя. Вместо этого можно скорректировать один из его компонентов, например, потребление (c).

В целом, все переменные модели, которые оцениваются, задаются экзогенно²¹ или считаются постоянными в будущем, могут быть скорректированы (tweaked). Примеры таких переменных приведены в таблице ниже. В рабочих листах *Dataset* и *RowColDesc* книги *e3kz.xlsb* цветовая маркировка показывает, какие переменные модели могут быть скорректированы: зелёный – возможно корректировать; оранжевый – возможно частично корректировать; красный – корректировка невозможна. *Частично корректируемые* переменные означают, что можно изменить только отдельные элементы вектора или матрицы.

Таблица: 8 Переменные модели, доступные для корректировки («tweakable»)

E3.kz Модельная переменная	Описание
pag_v	Население по возрастным группам (экзогенно)
exra_s	Обменный курс (экзогенно)
impd_v	Импорт, дефлятор (экзогенно)
gdpr_v	ВВП по конечному использованию, дефлятор (оценка)
gdpr_v	ВВП по конечному использованию, в постоянных ценах (частично оценка)
empl_v	Занятость по видам экономической деятельности (оценка)
sna_v	Система национальных счетов (частично оценка)
lf_s	Рабочая сила (оценка)
wmp_v	Мировые рыночные цены (экзогенно)
eb_m	Энергетический баланс (частично оценка)
ebs_m	Энергетический баланс (например, доля возобновляемой энергии; не прогнозируется)
ticr_m	Совокупные коэффициенты затрат в реальном выражении (не прогнозируется)
impfdn_m	Импортируемые компоненты конечного/совокупного спроса по основным ценам (не прогнозируется)
totfdn_m	Совокупные компоненты конечного/совокупного спроса по основным ценам (не прогнозируется)

Источник: Собственная иллюстрация

На следующем этапе (d) задаётся величина изменения для выбранной переменной (переменных). Каждое допущение в сценарии должно быть количественно определено, тщательно проверено и оценено с привлечением экспертных знаний (e). Модель не может проверять обоснованность допущений. Нереалистичные допущения приведут к недостоверным результатам и могут даже привести к преждевременному завершению расчётов модели, если не удастся достичь сходимости.

Перед **запуском сценария** пользователь модели должен иметь представление о том, какие переменные модели, по его мнению, будут затронуты исходным изменением / шоком. После этого проводится **оценка сценария**.

²¹ Минимально необходимо скорректировать все экзогенные переменные, например, население (pag_v). В противном случае они будут сохранять те же значения в будущем, что и в последнем году с доступными историческими данными.

Построение сценариев может быть как простым – с изменением только одной переменной модели (например, снижение экспорта нефти), так и достаточно сложным, если сценарий основан на множестве допущений (например, сценарий изменения климата, см. пример в разделе 4.2). Рекомендуется разрабатывать комплексные сценарии поэтапно, чтобы сначала понять эффекты отдельных допущений. В противном случае интерпретация результатов сценария может оказаться затруднительной. Кроме того, для понимания результатов сценария необходимо знание структуры модели.

Чтобы увидеть эффекты альтернативного сценария, его необходимо сравнить с другим сценарием (обычно с базовым сценарием)²². Отклонения для каждой переменной модели приводятся в процентах и/или в абсолютных значениях в исходных единицах измерения, например, в денежных величинах или физических объемах (см. Рисунок 31). Эти отклонения отражают различия в допущениях между сценариями.

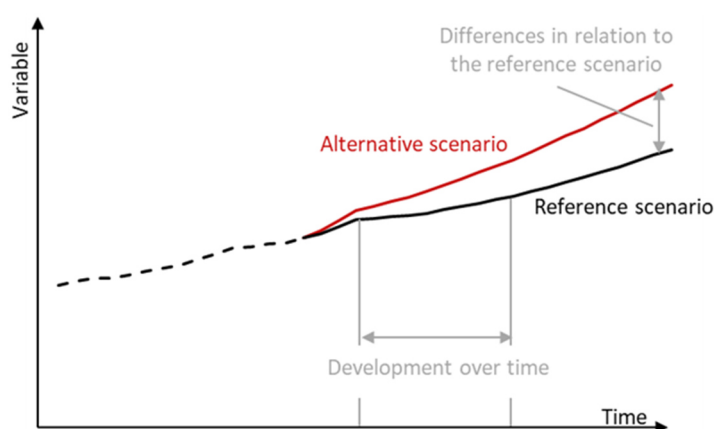


Рисунок: 30 Сравнение сценариев

Источник: Собственная иллюстрация.

4.2 Сценарии изменения климата и адаптации

Интеграция изменений климата в экономические модели представляет собой сложную задачу. Обычно экономисты делают прогнозы будущего на основе наблюдений за прошлым. К сожалению, экономические последствия изменения климата не всегда напрямую отражаются в временных рядах экономических моделей. Возможно, изменение климата не вызвало заметных экономических убытков, либо не оказывало существенного влияния на экономические показатели, либо вообще не фиксировалось как последствие изменения климата, поскольку устранение последствий (например, ремонт разрушенной инфраструктуры) может даже повышать ВВП (так называемые «защитные расходы»). Кроме того, ущерб мог быть предотвращен или сокращен благодаря адаптационным мерам.

Также экономические и климатические модели работают на разных временных и пространственных масштабах. Климатические модели обладают высокой пространственной детализацией и строятся

²² В случае адаптационных сценариев они должны сравниваться со сценарием, включающим соответствующее климатическое событие (подробнее см. раздел 4.2).

на долгосрочную перспективу, тогда как модель е3.kz моделирует экономику Казахстана на национальном уровне в средне- и долгосрочной перспективе (до 2050 года). Помимо этого, климатические модели требуют значительных вычислительных ресурсов, тогда как расчёты в е3.kz выполняются менее чем за минуту на обычном настольном компьютере или ноутбуке.

Поэтому климатические модели не интегрированы непосредственно в е3.kz. Вместо этого для моделирования изменения климата и адаптации применяется анализ сценариев, реализуемый в четыре этапа:

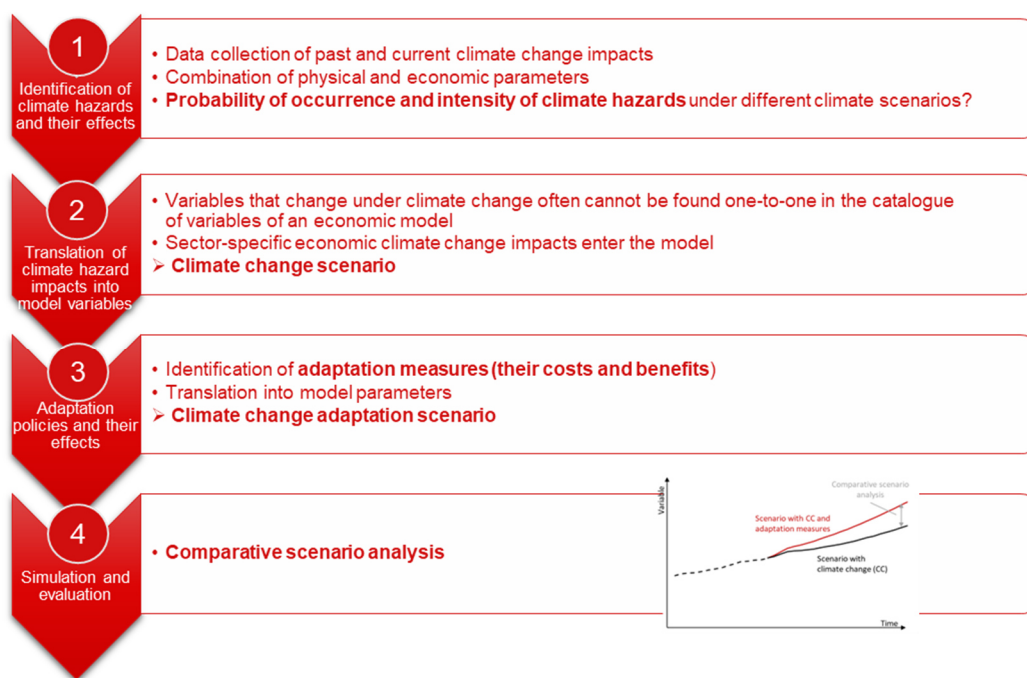


Рисунок: 31 Четырёхэтапный подход к реализации изменения климата и адаптации в экономической модели

Источник: Собственная иллюстрация.

Применение этого подхода позволяет понять макроэкономические последствия изменения климата и то, как адаптационные меры могут их минимизировать или даже предотвратить.

(1.) Формирование сценария изменения климата, в котором учитываются опасные климатические явления и их последствия. Вероятности возникновения и интенсивность опасных климатических явлений (засухи, тепловые волны и наводнения), специфичных для Казахстана, предоставляются экспертами Earthyild Advisories с использованием климатических моделей в рамках трёх сценариев совместных социально-экономических путей²³ (SSP1-2.6, SSP2-4.5 и SSP5-8.5) (см. раздел 4.2.1) (GIZ 2025a).

²³ Сценарии SSP отражают различные варианты климатической политики на глобальном уровне, влияющие на траектории выбросов парниковых газов. SSP5-8.5 (SSP1-1.9) является наиболее пессимистичным (оптимистичным) сценарием, предполагая более сильное (более слабое) потепление климата вследствие более высоких (низких) выбросов парниковых газов по сравнению с доиндустриальным уровнем (см., например: climateknowledgeportal.worldbank.org/overview).

Используется концепция цепочек воздействия (Fritzsche et al. 2014) для выявления соответствующих точек соприкосновения и цепочек последствий (например, засуха может повлиять на сельское хозяйство и энергогенерацию). Целью является установление биофизических и экономических последствий опасных климатических явлений (например, дефицит воды снижает объём сельхозпроизводства). При этом используются данные о прошлых климатических событиях, полученные из научной литературы (национальной и международной), СМИ и опросов экспертов (подход «снизу вверх»). Данные об ущербе / последствиях (см. раздел 4.2.1), по возможности, дифференцируются по трём категориям интенсивности (низкая, средняя, высокая) и служат ориентиром для оценки будущих последствий. В сценариях корректируются эти ориентиры в зависимости от предполагаемой вероятности возникновения опасностей, например, удвоение вероятности возникновения события в год влечёт удвоение предполагаемых последствий. Сочетание будущей динамики опасных климатических явлений по интенсивности и наблюдаемых последствий по категориям интенсивности формирует временной ряд ожидаемых будущих воздействий.

Если временные ряды последствий доступны в литературе или у экспертов, их можно напрямую использовать, как в случае с потерями урожая в сельском хозяйстве (UNDP 2020).

(2.) Перевод последствий изменения климата в параметры модели. Структура е3.kz требует трансляции многих эффектов. Некоторые переменные не могут быть изменены напрямую, так как заданы определениями. Изменения в производстве в е3.kz реализуются через корректировку спроса или импорта. Изначальные последствия климатических событий моделируются через поведение домохозяйств, факторы производства и инфраструктуру (см. Рисунок 33 ●), например:

- | | |
|--|--|
| • Потребительские расходы домохозяйств на различные товары | • Занятость в различных секторах экономики |
| • Экспорт по различным видам продукции | • Цены на различные товары |
| • Инвестиционные товары | • Промежуточный спрос |
| • Импорт по различным видам продукции | • Снижение выработки гидроэлектроэнергии. |

Далее происходят цепные реакции в рамках системы моделирования ЕЗ. Воздействия на другие сектора экономики, не затронутые напрямую, а также макроэкономические эффекты оцениваются путём сравнения климатического сценария с гипотетическим сценарием без изменения климата (базовый сценарий). Раздел 4.2.2 показывает, как последствия опасных климатических явлений реализуются в е3.kz на примере засухи, а раздел 4.2.4 – как оцениваются последствия.

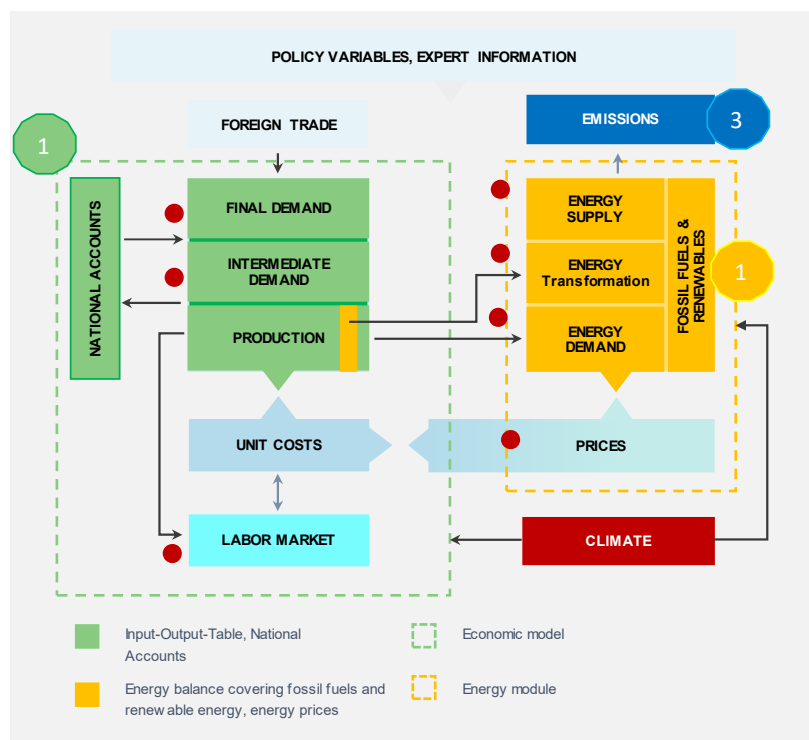


Рисунок: 32 Реализация ущерба от изменения климата в е3.кз

Источник: Собственная иллюстрация

(3.) Определение возможных адаптационных мер для предотвращения или минимизации ущерба, либо использования возникающих возможностей. Меры выявляются на основе анализа национальной и международной литературы, а также консультаций с казахстанскими экспертами. Затраты и выгоды (в виде сокращённого ущерба) адаптационных мер переводятся в денежную форму и вводятся в е3.кз. При этом выгоды реализуются в модели как обратные последствия климатического ущерба, а затраты — как инвестиции в различные товары, например, в оросительные системы.

(4.) Для оценки эффективности адаптационных мер необходимо сравнить сценарий изменения климата и сценарий с адаптацией. Как правило, существует несколько вариантов адаптации (например, оросительные системы или засухоустойчивые сорта). Модель помогает определить наиболее эффективные варианты с положительным влиянием на экономику и окружающую среду. Критериями выбора могут быть: максимальный объём предотвращённого ущерба, эффект на занятость или синергия с другими стратегиями, такими как смягчение последствий изменения климата — приоритетность которых определяется политическими решениями.

4.2.1 Набор данных

Для реализации воздействия опасных климатических явлений в экономической модели требуются данные о вероятности возникновения опасных климатических явлений по категориям интенсивности в Казахстане, а также данные о секторных экономических последствиях, дифференцированных по трём категориям интенсивности на основе прошлых климатических событий. Сочетание этих двух наборов данных позволяет формировать временной ряд ожидаемых климатических воздействий в будущем (подход «снизу вверх»).

Другой вариант (если доступны) — использование национальных прогнозов из моделей верхнего уровня (например, прогнозы потерь производительности труда во время тепловых волн от Climate Analytics²⁴) или моделей «снизу вверх» и отраслевых моделей (например, прогнозы урожайности из аграрных моделей, см. UNDP 2020), разработанных для различных климатических сценариев.

Реализация адаптационных мер требует данных о затратах и выгодах (в терминах сокращения ущерба) каждой меры. Как и в случае с данными по последствиям опасных климатических явлений, желательно, чтобы информация была страновой и основывалась на прошлом опыте или проведённых *отраслевых анализах затрат и выгод (CBA)*. В противном случае могут использоваться международные данные в качестве предварительной оценки, однако они должны быть дополнительно подтверждены отраслевыми экспертами в Казахстане. Доступные данные и информация по возможным адаптационным мерам описаны не в руководстве по модели е3.kz, а в национальном отчёте (GIZ 2025с) и политических обзорах по ключевым секторам, таким как *сельское хозяйство и энергетика* (GIZ 2021), а также в других готовящихся публикациях, совместно подготовленных с Berlin Economics и казахстанскими экспертами.

Индикаторы климатической опасности

В рамках проекта CRED II акцент сделан на трёх видах опасных климатических явлений (засухи, тепловые волны и наводнения). Earthyield Advisories предоставляют временные ряды данных о вероятности возникновения по категориям интенсивности для указанных индикаторов опасностей по трём климатическим сценариям SSP1-2.6, SSP2-4.5 и SSP5-8.5 (Таблица 9). Результаты их анализа с разрешением 110 км × 110 км, основанного на климатической модели в рамках проекта CMIP6, затем агрегируются для включения в модель е3.kz. Подробное описание определения и оценки индикаторов климатических опасностей представлено в отчёте Earthyield Advisories (2025a).

²⁴ <https://climate-impact-explorer.climateanalytics.org/impacts/?region=KAZ&indicator=ec1&scenario=rcp85&warmingLevel=3.0&temporalAveraging=annual&spatialWeighting=area&altScenario=rcp26&compareYear=2030>

Таблица: 9 Вероятность возникновения по видам опасных климатических явлений и категориям интенсивности для SSP1-2.6, SSP2-4.5 и SSP5-8.5, 2024–2050 (фрагмент)

				Baseline	(1981-2010)	2024	2025	2026	...	2049	2050
		Definition									
SSP1-2.6	Low	SPEI < -1	Drought		0,32	0,38	0,37	0,37		0,37	0,37
	Medium	SPEI < 1.5			0,15	0,21	0,21	0,20		0,21	0,21
	High	SPEI < -2			0,03	0,06	0,06	0,05		0,07	0,07
SSP2-4.5	Low	SPEI < -1	Drought		0,32	0,36	0,36	0,37		0,38	0,38
	Medium	SPEI < 1.5			0,15	0,21	0,21	0,21		0,23	0,23
	High	SPEI < -2			0,03	0,05	0,05	0,05		0,07	0,07
SSP5-8.5	Low	SPEI < -1	Drought		0,32	0,38	0,38	0,38		0,38	0,38
	Medium	SPEI < 1.5			0,15	0,23	0,23	0,22		0,24	0,24
	High	SPEI < -2			0,03	0,07	0,07	0,07		0,08	0,08
SSP1-2.6	Low	Duration > 5 days	Heat Wave		0,11	0,19	0,17	0,21		0,42	0,42
	Medium	Duration > 8 days			0,02	0,02	0,02	0,07		0,15	0,13
	High	Duration > 10 days			0,00	0,00	0,00	0,02		0,05	0,02
SSP2-4.5	Low	Duration > 5 days	Heat Wave		0,11	0,18	0,18	0,24		0,43	0,46
	Medium	Duration > 8 days			0,02	0,03	0,03	0,06		0,13	0,13
	High	Duration > 10 days			0,00	0,01	0,01	0,01		0,04	0,05
SSP5-8.5	Low	Duration > 5 days	Heat Wave		0,11	0,38	0,40	0,38		0,45	0,46
	Medium	Duration > 8 days			0,02	0,06	0,06	0,06		0,16	0,17
	High	Duration > 10 days			0,00	0,01	0,01	0,01		0,07	0,07
SSP1-2.6	Low	Risk score > 80 th percentile	Flood		0,20	0,33	0,44	0,49		0,41	0,42
	Medium	Risk score > 90 th percentile			0,10	0,15	0,21	0,29		0,21	0,21
	High	Risk score > 98 th percentile			0,02	0,02	0,02	0,03		0,04	0,03
SSP2-4.5	Low	Risk score > 80 th percentile	Flood		0,20	0,48	0,46	0,43		0,48	0,48
	Medium	Risk score > 90 th percentile			0,10	0,25	0,25	0,25		0,24	0,24
	High	Risk score > 98 th percentile			0,02	0,04	0,04	0,04		0,03	0,02
SSP5-8.5	Low	Risk score > 80 th percentile	Flood		0,20	0,28	0,33	0,39		0,61	0,64
	Medium	Risk score > 90 th percentile			0,10	0,13	0,15	0,19		0,40	0,45
	High	Risk score > 98 th percentile			0,02	0,02	0,03	0,03		0,09	0,09

Источник: GIZ 2025a

Отраслевые экономические последствия изменения климата

Для сбора детальных, количественных и монетизированных данных о последствиях изменения климата в прошлом («подход снизу вверх») используются различные источники. Основными поставщиками данных являются:

- Казгидромет
- Комитет по чрезвычайным ситуациям Министерства внутренних дел
- Министерство национальной экономики (2018): Казахстан в 2019 году. Статистический ежегодник (<https://stat.gov.kz/edition/publication/collection>)
- Всемирный банк (2016): Казахстан – оценка рисков в сельскохозяйственном секторе (<https://documents1.worldbank.org/curated/en/422491467991944802/pdf/103076-WP-KZ-P154004-Box394863B-PUBLIC-ASRA.pdf>)
- ОЭСР (2019): Обзор управления рисками в Казахстане (https://read.oecd-ilibrary.org/governance/risk-governance-scan-of-kazakhstan_cb82cae9-en#page4)

- Министерство охраны окружающей среды и водных ресурсов, ПРООН, ГЭФ (2013): Третье-Шестое национальное сообщение Республики Казахстан в РКИК ООН
- Министерство энергетики, ПРООН, ГЭФ (2017): Седьмое национальное сообщение и третий двухгодичный отчёт Республики Казахстан в РКИК ООН

Кроме того, проводился анализ публикаций в печатных и онлайн СМИ. Итоговые результаты сбора данных, обновлённые национальным консультантом в 2024 году, сведены в таблицу MS Excel. Важно отметить, что не все убытки от опасных климатических явлений задокументированы, то есть не монетизированы. Таблицы 10 и 11 демонстрируют зафиксированные немонетизированные и монетизированные убытки по наблюдаемым опасным климатическим явлениям в Казахстане. Наиболее подвержёнными влиянию изменения климата являются сельское хозяйство, лесное хозяйство, строительство, водное хозяйство, транспорт, энергетика и промышленность. Наибольшие зафиксированные монетарные убытки были вызваны экстремальными осадками, наводнениями и засухами. В то время как в Таблице 10 показан отраслевой ущерб, в Таблице 11 приведены суммарные монетарные потери.

Для анализа межотраслевых эффектов и оценки макроэкономических последствий важно учитывать отраслевые воздействия. В противном случае трудоёмкость в разных отраслях и зависимость от импорта не могут быть учтены. Поэтому необходимо привлечение дополнительных данных и экспертных знаний.

Помимо наблюдаемых исторических данных о последствиях различных климатических событий (приведены в Таблице 11), существуют и отраслевые модели, прогнозирующие последствия изменения климата по различным климатическим сценариям (например, динамическая модель формирования урожайности, MNE и др., 2017; UNDP 2020). Количественные результаты этих моделей также могут использоваться в качестве входных данных для модели е3.kz.

Таблица: 10 Неденежные убытки

Затронутые секторы экономики	Экстремальные осадки, наводнения, оползни, сели	Экстремальный ветер	Засуха	Лесные/ степные пожары
Сельское хозяйство	Поврежденные посевы		Поврежденные посевы	
	Поврежденные сельскохозяйственные земли			
	Гибель скота			
Лесное хозяйство	Поврежденная древесина	Поваленные деревья		Сгоревшие леса
Строительство	Поврежденные здания	Повреждение кровли		
	Поврежденные мосты			
	Разрушенные плотины			
Промышленность	Затопление производственных объектов			
Энергия	Повреждение электроснабжения	Повреждение ЛЭП и газопроводов	Пострадавшие гидроэлектростанции	

Затронутые секторы экономики	Экстремальные осадки, наводнения, оползни, сели	Экстремальный ветер	Засуха	Лесные/ степные пожары
Вода	Поврежденные трубы			
	Разрушенная канализационная сеть и водоснабжение			
ИКТ (информационно-коммуникационные технологии)	Повреждение инфраструктуры связи	Повреждение инфраструктуры связи		
Транспорт	Заблокировано автомобильное и железнодорожное движение	Заблокировано автомобильное и железнодорожное движение		
	Повреждение дорог			
	Поврежденные автомобили	Поврежденные автомобили		

Источник: Собственная иллюстрация на основе данных, собранных Казгидрометом, GIZ, GWS.

Таблица: 11 Отдельные зарегистрированные монетарные убытки (млн. тенге)

Год	Таяние снега / Наводнения*	Экстремальные осадки** / дождевые паводки	Оползни, сели, размыв склонов	Экстремальный ветер***	Засуха	Лесные/ степные пожары
1991	3	3		0.2		15
1992	0.2					
1993		67 - 30,000	9	13		
1994	873	72	88	3	н.д.	281
1995	382 + 5 ⁽¹⁾	1,230	34	144	н.д.	260
1996	55 + 21 ²	374	43	81	н.д.	37
1997	291	153		93	н.д.	128
1998	863	3,165	3	732	75,000	36
1999	200	16	62	19		29
2000	195	10		18	н.д.	13
2001	40			3		10
2002	504	22		10		50
2003	113		11	209		6
2004	5			129		22
2005	35			99		21
2006				0.5		387

Год	Таяние снега / Наводнения*	Экстремальные осадки** / дождевые паводки	Оползни, сели, размыв склонов	Экстремальный ветер***	Засуха	Лесные/ степные пожары
2007	4	4		3		502
2008	15,284			900	н.д.	581
2009				21		91
2010	5,400			11	17,000	332
2011	9,782					5
2012	440-1,192				153,000	532
2013	4		464			332
2014	1,185-2,974			2,500	140	77
2015	17,600-19,600			501		119
2016	60-811			29		29
2017		4,771		511		216
2018	1,095			57		210
2019	515			37		564
2020				24		532
Всего	64,846-100,071		714	6,148	245,140	5,417

* включая повышение уровня грунтовых вод¹, колебания уровня моря²

** , включая сильный снегопад

***, включая метель, шквалистый ветер, пыльную бурю, снежную бурю, вихрь, шквальный ветер

Источник: Сбор данных Казгидромета, GIZ, GWS.

Для дополнения подхода «снизу вверх», который нельзя считать полным и систематическим сбором данных, рассматриваются и другие исследования, анализирующие макроэкономические и отраслевые последствия опасных климатических явлений в Казахстане (подход «сверху вниз»). Это позволяет: (1) получить дополнительные данные о климатических последствиях в Казахстане; (2) масштабировать данные «снизу вверх» в случае их недостаточности; (3) сравнить собственные результаты сценариев.

Например, Всемирный банк (2022), МВФ (2019) и Waidelich и др. (2024) публикуют потери ВВП на душу населения для различных сценариев SSP.

4.2.2 Реализация сценариев

Допущения по сценариям обычно задаются в рабочем листе *Scenario* файла *ezkz.xlsx*. Некоторые допущения требуют дополнительных расчётов, которые сложно выполнить непосредственно в этом листе. Такие расчёты следует выполнять в отдельных файлах/листах (рабочая книга *ScenarioInput.xlsx*), чтобы сохранить компактность и чистоту основной модели. Окончательные результаты этих расчётов затем интегрируются в лист *Scenario*.

Большинство сценариев можно реализовать напрямую в листе *Scenario*. В таких случаях описание процесса создания tweak-входов в файле *ScenarioInput.xlsx* можно пропустить. Однако сценарии изменения климата более сложны, поэтому tweak-входы создаются в *ScenarioInput.xlsx*.

Как создать tweak-входы в файле *ScenarioInput.xlsx*?

На рисунке 34 показана структура рабочей книги *ScenarioInput.xlsx*. Она включает: лист *SSP_SELECTION*; лист *ClimateHazards_SSP* и три отдельных листа для каждого климатического риска.

Эти три листа имеют цветовую маркировку (например, жёлтый — для засух), которая также используется в листе *Scenario* для упрощения идентификации набора допущений.

- *SSP_SELECTION* позволяет выбрать один из трёх сценариев RCP.
- *ClimateHazards_SSP* содержит вероятности возникновения для каждого климатического риска по категориям интенсивности до 2050 года (см. также Таблицу 9).
- Листы *Drought* и др. включают набор допущений для климатических рисков и адаптационных сценариев, задаваемых разработчиком сценариев.

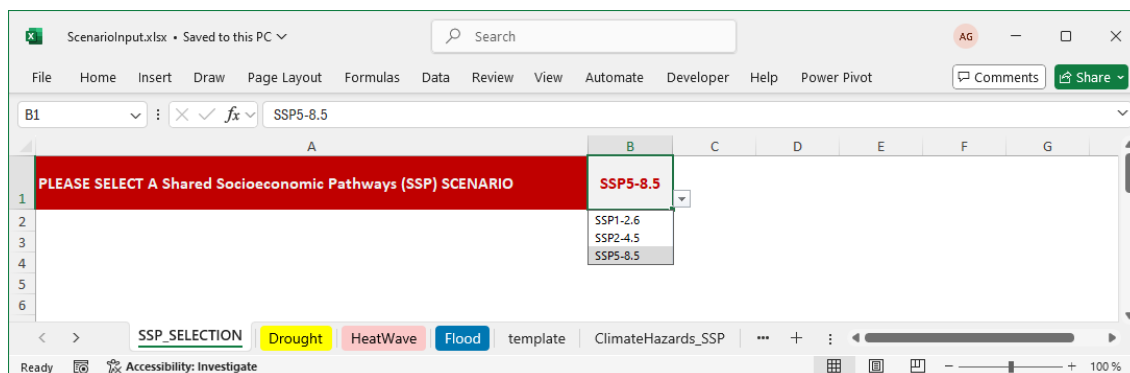


Рисунок: 33 Рабочая книга "ScenarioInput.xlsx"

Источник: Собственная иллюстрация.

Каждый из трёх листов по климатическим рискам имеет одинаковую структуру (см. Рисунок 35). Первые четыре столбца (A до D) аналогичны листу *Scenario* — здесь задаются переменная модели, индексы строки и столбца и тип tweak. Столбец E зарезервирован для описания tweak-входов. Столбцы F (до H) содержат значения допущений для периода симуляции до 2050 года.

В строках 4–6 вероятности возникновения по категориям интенсивности климатического риска связаны с листом *ClimateHazard_SSP*. В зависимости от выбранного сценария SSP (см. лист *SSP_SELECTION*) отображаются соответствующие данные.

Начиная с строки 8 проводится количественная оценка климатических воздействий. Количество строк зависит от заданных воздействий и может быть расширено вставкой дополнительных строк.

Начиная с строки 13 задаются допущения по затратам и выгодам адаптационных мер. Также можно добавить новые строки для дополнительных допущений. В столбце H пользователь модели может корректировать выгоды на основе анализа затрат и выгод (СВА), чтобы отразить большую или меньшую эффективность той же инвестиции в зависимости от сценария SSP. Например, если

высота дамбы достаточна для предотвращения наводнения при менее суровом сценарии климата, её защита может оказаться недостаточной при более тяжёлом сценарии.

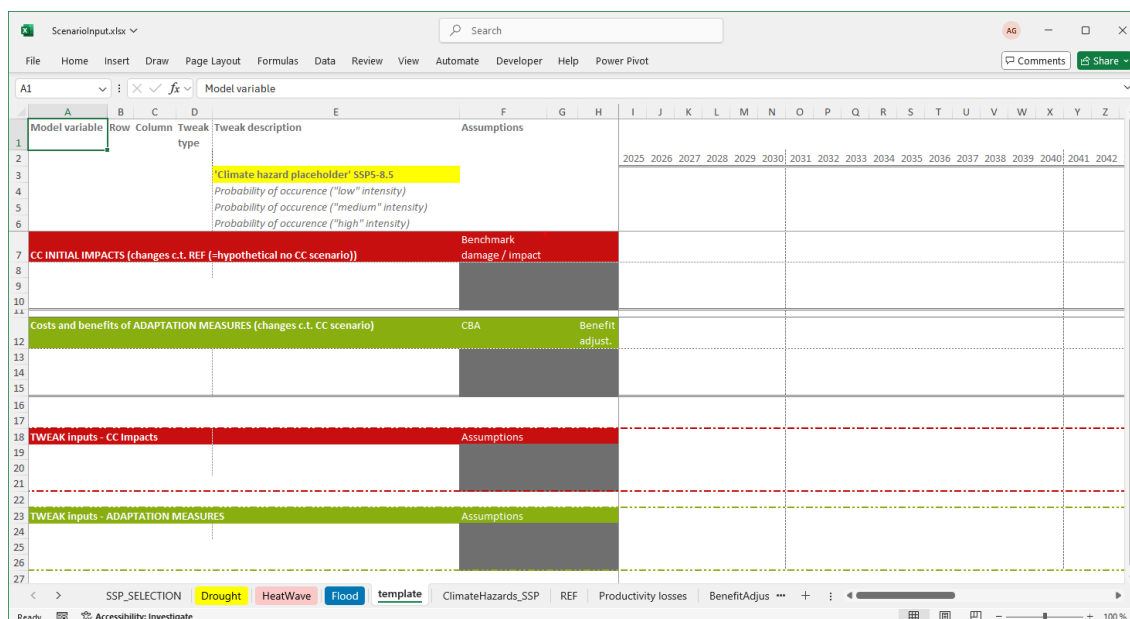


Рисунок: 34 Шаблон для реализации сценариев воздействия опасных климатических явлений и затрат и выгод от мер по адаптации

Источник: Собственная иллюстрация.

Пример реализации сценария засухи: в Казахстане (см. раздел 4.2.1) и в других странах при засухах наблюдаются следующие воздействия на экономические сектора:

Таблица: 12 Примеры последствий засухи

Сектор	Последствия засухи	Источники
	Потери урожая в сельском хозяйстве (от 7 до 300 млрд. тенге)	Сбор данных о прошлых и текущих климатических воздействиях в Казахстане
	Снижение выработки гидроэнергии из-за низких уровней воды (-5,2% до -20%)	Международное исследование (van Vliet et al. 2016), энергетический баланс IEA 1998 г.
	Снижение потенциала тепловой генерации из-за нехватки воды для охлаждения (-3,8% до -4,7%)	Международное исследование (van Vliet et al. 2016)
	Рост водопотребления в водоемких отраслях, например, в сельском хозяйстве	Собственные допущения на основе исторических данных
	Нарушения в работе водного транспорта ведут к росту издержек	Собственные допущения на основе исторических данных

Источник: Собственная иллюстрация.

Климатические воздействия необходимо дифференцировать по трём категориям интенсивности (низкая, средняя, высокая), предполагая, что событие низкой (высокой) интенсивности вызывает меньший (большой) ущерб.

Некоторые допущения можно напрямую связать с переменными модели *ez.kz*, например, снижение выработки гидроэнергии (переменная модели *eb_m(10,5)*). Другие допущения требуют дополнительных расчётов, например, потери урожая пшеницы в сельском хозяйстве. Показатель выпуска не может быть изменён напрямую, так как он является результатом модели, управляемой спросом. Поэтому разработчику сценария нужно корректировать спрос и/или импорт по категории «Сельское хозяйство, охота и сопутствующие услуги» вместо выпуска.

Итоговые tweak-входы (обозначены пунктирной рамкой) начинаются с строки 19 (см. Рисунок 35). Эти tweak-входы затем переносятся (или копируются) в рабочий лист *Scenario* файла *ezkz.xlsx*.

На примере события засухи ниже описаны шаги по реализации сценария, которые соответствуют общей процедуре построения сценариев (см. разделы 4.1 и 4.2).

Во-первых, например, в рабочем листе *SSP_SELECTION* выбирается сценарий *SSP5-8.5*. Во-вторых, в столбце *F* задаются средние эталонные воздействия по категориям интенсивности для секторов сельского хозяйства, энергетики, водного хозяйства и транспорта (см. Таблицу 12).

В данном примере последствия в секторе сельского хозяйства, гидроэнергетики *eb_m(10, 5)*, энергоснабжения тепловых электростанций *tw_chpe_s* и некоторых других рассматриваются как последствия засухи. Исторические эталонные воздействия по категориям интенсивности умножаются на вероятности возникновения каждой климатической опасности и категории интенсивности. Этот шаг обеспечивает отражение увеличивающейся вероятности возникновения событий в будущих убытках. Если эталонное воздействие задано в процентах, оно должно быть умножено на соответствующее значение переменной модели (из базового сценария), чтобы рассчитать воздействие в единицах этой переменной. После этого воздействия можно суммировать для получения общего эффекта.

Далее, например, потери в сельском хозяйстве необходимо перевести в корректируемые переменные модели (см. Рисунок 36, строки 94-95). Доступны два варианта. С одной стороны, можно скорректировать экспорт сельхозпродукции *totfdn_m(1, 9)*, предполагая, что засуха приводит к упущенным экспортным возможностям. С другой стороны, спрос на сельхозпродукцию на внутреннем рынке необходимо компенсировать за счёт увеличения импорта *impfdn_m(1, 1)*. В данном примере предполагается, что 12% потерь в сельском хозяйстве ведут к снижению экспорта, а 84%²⁵ - к увеличению импорта для удовлетворения потребительского спроса.

Для каждой переменной модели должен быть задан тип корректировки (tweak type). Для экспорта и импорта сельхозпродукции выбирается *add tweak*, так как в каждом году значения должны прибавляться или вычитаться из расчётных значений модели.

²⁵ Согласно статистике, около ~17% сельскохозяйственной продукции экспортируется, а ~84% потребляется на внутреннем рынке (<https://old.stat.gov.kz/getImage?id=ESTAT289858>).

ScenarioInput.xlsx

Search

AG

Comments

Share

M94

Рисунок: 35 Рабочий лист "Засуха"

Источник: Собственная иллюстрация.

Реализация tweak-входов в рабочем листе Scenario

Результаты подготовительных расчётов в рабочей книге *ScenarioInput.xlsx* затем просто связываются (или копируются и вставляются) в рабочий лист *Scenario* в файле *e3kz.xlsx* (жёлтые ячейки на Рисунке 37). Связывание ячеек имеет то преимущество, что при обновлении исходных данных или выборе другого сценария SSP корректировки в листе *Scenario* обновляются автоматически.

Далее необходимо активировать столбец E "Active tweak?" для всех переменных, для которых должна быть активна корректировка. В противном случае корректировка будет неактивной.

При необходимости также следует активировать столбец F "Interpolate?". Тогда система будет интерполировать заданные значения для лет, для которых значения не указаны последовательно.

Name	Row	Column	Tweak type	Active	Interpolate?	Source/comment	AQ 2025	AR 2026	AS 2027	AT 2028	AU 2029	AV 2030	AW 2031
129 totfdn_m	1	9	add	x		Drought SSP5-8.5 Lower agricultural exports due to output l	-9.652,3	-9.483,5	-9.398,6	-9.314,6	-9.398,3	-9.231,7	-8.981,0
130 impfdn_m	1	1	add	x		Drought SSP5-8.5 Higher agricultural imports to compensate	48.846,4	47.992,5	47.562,6	47.137,3	47.561,3	46.718,1	45.449,5
131 eb_m	10	5	add	x		Drought SSP5-8.5 Electricity supply from hydro power limited	38,3	37,8	37,7	37,6	37,9	37,4	36,7
133 hv_chpe_s	1	1	add	x		Drought SSP5-8.5 Energy supply from CHP limited by...ktoe	-232,9	-229,9	-230,3	-230,6	-233,9	-233,1	-229,9
141 lkr_m	42	1	add	x		Drought SSP5-8.5 Water demand increases: agriculture se	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Рисунок: 36 Рабочий лист Scenario

Источник: Собственная иллюстрация.

Затем модель должна быть запущена нажатием кнопки *Run* в рабочем листе *Model*. Если запуск модели завершён успешно, результаты по всем переменным модели автоматически сохраняются в рабочем листе *Results* (см. Рисунок 38).

Year, iteration(s)	Economic sector	% deviations of convergence criteria compared to previous iteration
55 2038, 13	16	0.051
56 2039, 13	16	0.055
57 2040, 13	16	0.058
58 2041, 13	16	0.061
59 2042, 13	16	0.063
60 2043, 13	16	0.065
61 2044, 13	16	0.066
62 2045, 13	16	0.067
63 2046, 13	16	0.068
64 2047, 13	16	0.069
65 2048, 13	16	0.069
66 2049, 13	16	0.070
67 2050, 13	16	0.067

Рисунок: 37 Запуск модели

Источник: Собственная иллюстрация.

ВАЖНО: каждый раз при запуске модели новые результаты сохраняются в листе Results и таким образом перезаписывают предыдущие результаты. После нажатия кнопки *Save results* текущие результаты сценария (*Results, 4 Variables*²⁶) и допущения (*Scenario*) сохраняются в файле MS Excel в папке *scenarios* с соответствующим именем файла, например, "drought" (см. раздел 3.1). Таким образом, при выполнении другой симуляции результаты сценария "drought" не будут перезаписаны.

4.2.3 Реализация региональных сценариев

Реализация сценариев, которые будут оцениваться также на субнациональном уровне, осуществляется по шагам, описанным в разделе 4.2.2. Дополнительно выполняются следующие шаги:

- Сценарий климатических опасностей
- Активировать корректировки для соответствующего сценария климатической опасности в листе *Scenario* (см. раздел 4.2.2),
- Активировать переменную *cca_s*, которая сообщает модели *ез.kz*, что выполняется сценарий изменения климата (адаптации),
- В соответствии с вашим сценарием климатической опасности активировать экономические сектора и регионы, которые затронуты, выбрав соответствующие строковые и столбцовые элементы переменной *sr_m(r,c)*. В строках указаны 20 регионов, в столбцах – 19 экономических секторов. Убедитесь, что для каждого выбранного элемента матрицы задано значение 1 для всех лет.
- Активировать корректировки для переменных *emplr_m(r,c)*, *lpr_m(r,c)* и *emplss_v(r)*, которым присваиваются результаты базового сценария *REF* (см. столбец G "REF results").
- Только в случае изменения результатов базового сценария *REF* необходимо заменить все значения переменных *emplr_m(r,c)*, *lpr_m(r,c)* и *emplss_v(r)*. Результаты сценария сохраняются — после нажатия кнопки *Save results* – в Excel-файл в папке *Scenarios*. Откройте файл с результатами *REF* и скопируйте соответствующие значения в лист *Scenario*.
- Сценарий адаптации к изменению климата
- Активировать корректировки из регионального сценария климатической опасности,
- Активировать корректировки для соответствующего сценария климатической адаптации (на национальном уровне),
- В соответствии с вашим сценарием климатической адаптации активировать экономические сектора и регионы, которые затронуты, выбрав соответствующие строковые и столбцовые элементы переменной *sr_m(r,c)*,
- Деактивировать корректировки для переменных *emplr_m(r,c)*, *lpr_m(r,c)* и *emplss_v(r)*, которым присваиваются результаты базового сценария *REF* (см. столбец G "REF results"),
- Активировать корректировки для переменных *emplr_m(r,c)*, *lpr_m(r,c)* и *emplss_v(r)*, которым присваиваются результаты сценария изменения климата (см. столбец G "CC scenario results ..."),
- Заменить все значения переменных *emplr_m(r,c)*, *lpr_m(r,c)* и *emplss_v(r)* на значения соответствующего сценария изменения климата. Результаты данного сценария сохраняются — после нажатия кнопки

²⁶ Предварительно подготовленный инструмент оценки *4 Variables* основан на шаблоне *Eval1ScenarioTemplate.xlsx*, хранящемся в папке *template* (см. раздел 3.1). Любые изменения в этом шаблоне повлияют на возможности оценки в листе *4 Variables*.

Save results – в Excel-файл в папке *Scenarios*. Откройте файл с результатами соответствующего сценария изменения климата и скопируйте соответствующие значения в лист *Scenario*.

Примечание: В рамках проекта CRED II субнациональные сценарии изменения климата и адаптации не обновлялись.

4.2.4 Оценка результатов сценариев

В основном существует два варианта анализа результатов: либо рассматриваются прогнозные значения (абсолютные значения, индексы, темпы роста) различных переменных модели в рамках **ОДНОГО сценария**, либо сравниваются (абсолютные и относительные) различия в результатах сценариев для **ДВУХ сценариев**. Первый вариант используется для анализа внутренних взаимосвязей модели, второй – наиболее подходит для оценки сценариев (анализ "что если").

Оценка ОДНОГО сценария

Рабочий лист *Results* содержит полный набор исторических и прогнозных данных. Для политического анализа более удобен сокращённый вид данных. Пользователи модели могут легко создавать собственные представления (дашборды), основанные на листе *Results*.

Предварительно подготовленный инструмент оценки представлен в рабочем листе 4 *Variables*. Пользователь модели может выбрать до четырёх переменных (см. лист *Dataset*) для ОДНОГО сценария, которые отображаются в графическом и табличном формате. Для каждой переменной пользователь должен задать название, строку и столбец (см. красный прямоугольник на Рисунке 39). Единицы измерения (столбец D) обновляются автоматически.

Доступны три варианта отображения, которые выбираются в ячейке B7:

- Абсолютные значения в соответствующих единицах,
- Средние годовые темпы роста,
- Индексные значения по выбранному базовому году (ячейка E7).

После выбора типа отображения график обновляется автоматически.

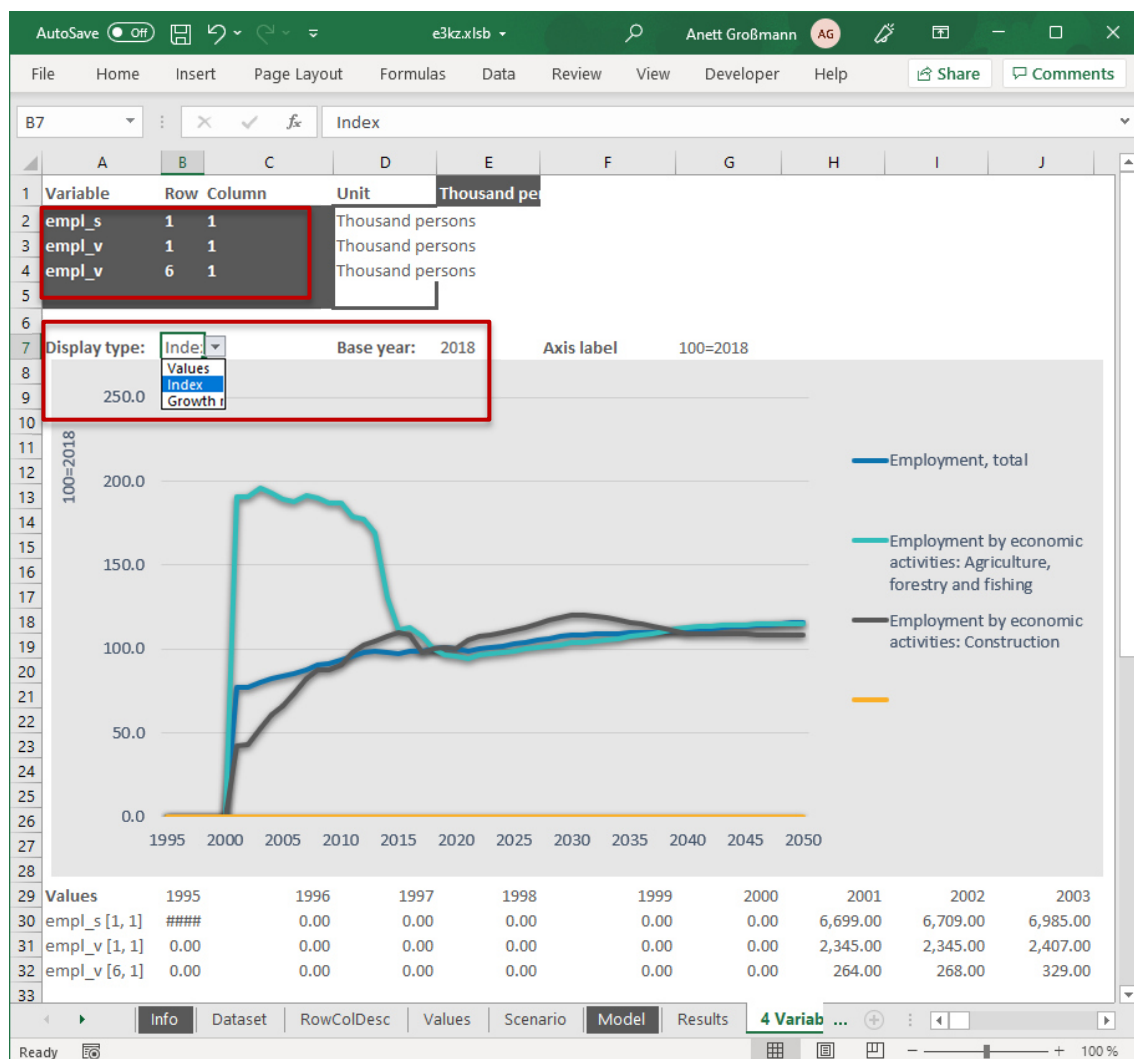


Рисунок: 38 Инструмент оценки 4 Variables

Источник: Собственная иллюстрация.

Для оценки региональных экономических индикаторов в рамках ОДНОГО сценария можно использовать инструмент оценки *Eval1ScenarioRegio.xlsb*, который находится в папке *scenarios*. Сначала пользователь должен обновить список сценариев в листе *SelectScenarios* и выбрать сценарий из списка. Затем активируется кнопка "2. Step: READ Results" (см. Рисунок 40).

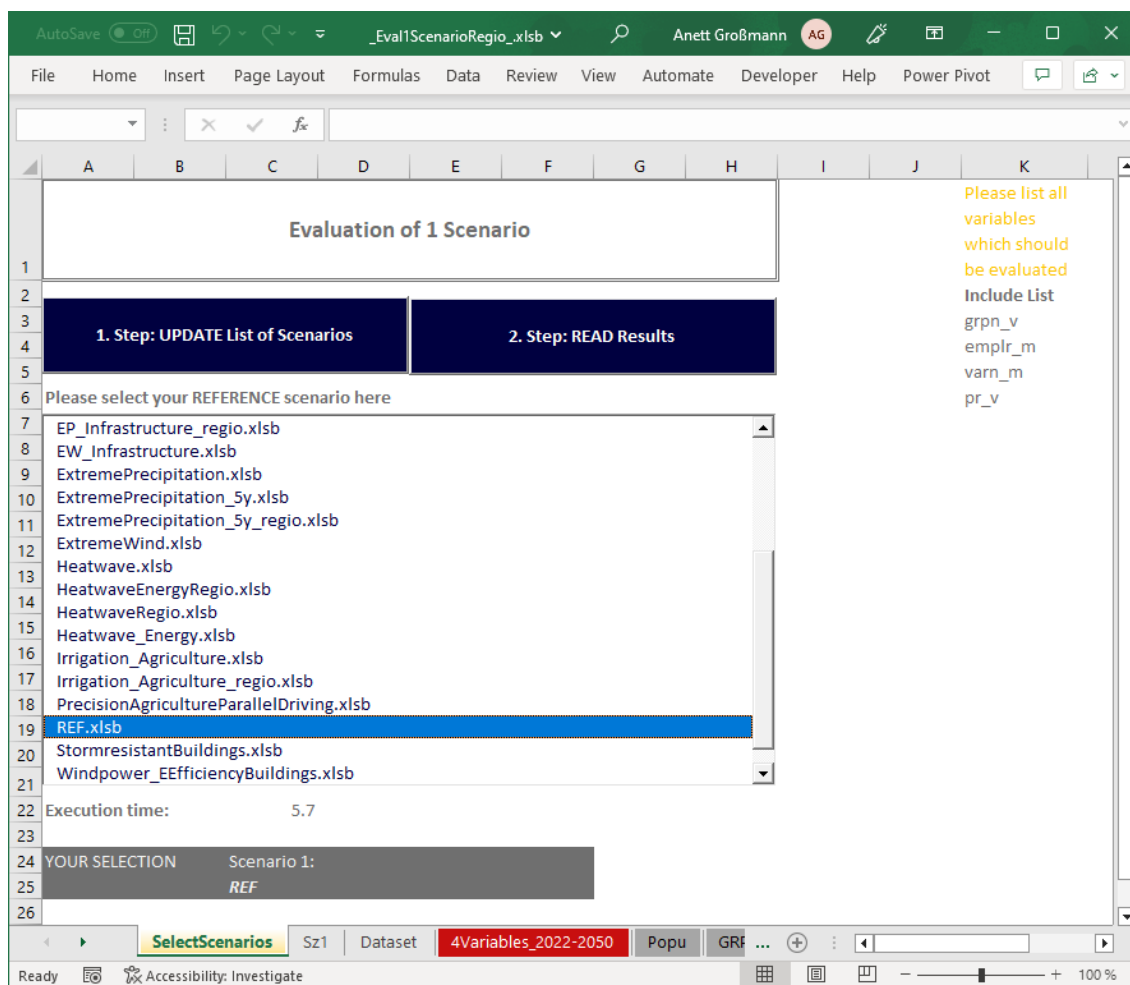


Рисунок: 39 Инструмент оценки *_Eval1ScenarioRegio_.xlsx*

Источник: Собственная иллюстрация.

Для оценки эффектов конкретного (альтернативного) сценария его необходимо сравнить с другим сценарием, в котором эти допущения не учитываются. Различия между сценариями затем объясняются разными допущениями и вызванными реакциями модели.

Инструмент оценки *Compare2Scenarios.xlsx* в папке *scenarios* (см. раздел 3.1) позволяет проводить сравнительный анализ на национальном уровне, а инструмент *Compare2ScenariosRegio.xlsx* - на субнациональном уровне.

На первом этапе необходимо выбрать базовый и альтернативный сценарии. После нажатия кнопки "1. Step: UPDATE List of Scenarios" все сценарии из папки *scenarios* отображаются в двух списках. В левом (правом) списке выбирается сценарий, который будет использоваться как базовый (альтернативный).

На втором этапе результаты обоих сценариев сравниваются в относительных и абсолютных величинах после нажатия кнопки "2. Step: READ and COMPARE Results". Отклонения в абсолютных значениях и процентах могут быть рассчитаны для всех переменных модели и сохранены в данной рабочей книге. Для ускорения сравнения рекомендуется указать только те переменные модели, которые необходимо оценить (столбец N на Рисунке 41).

Преднастроенные графики/дашборды — либо для одного выбранного года, либо в виде временных рядов — по основным переменным модели е3.kz отображаются на различных листах (см. Рисунок 42). Результаты всегда показываются как **различия** по выбранным переменным **между двумя сценариями!**

Инструмент *Compare2Scenarios.xlsx* включает следующие преднастроенные графики:

- Лист *Economy_AbsDiff*: компоненты ВВП, занятость и реальное производство по отраслям за один год в абсолютных значениях,
- Лист *Economy_%Diff*: компоненты ВВП, занятость и реальное производство по отраслям за один год в относительных значениях,
- Лист *EnergyEmissions*: абсолютные и относительные различия по выбросам CO2 и энергетическому балансу,
- Лист *4Variables_TimeSeries*: отображает до четырёх выбранных переменных модели,
- Лист *ScCompareFig_TimeSeries*: занятость по видам деятельности и компоненты ВВП в абсолютных и относительных различиях в виде временных рядов (2020-2050 гг.).

Выбор конкретного года осуществляется в листе *SelectScenarios* (см. красный прямоугольник на Рисунке 41) и действует для всех графиков, относящихся к одному году. После выбора нового года все графики обновляются автоматически.

Дополнительно пользователь может создавать собственные листы оценки / дашборды с графиками и таблицами на основе результатов листов *DiffAbs* и *Diff%*. Например, можно рассматривать набор индикаторов (например, выпуск, занятость) только для одного сектора экономики (например, сельское хозяйство, строительство), который находится в фокусе.

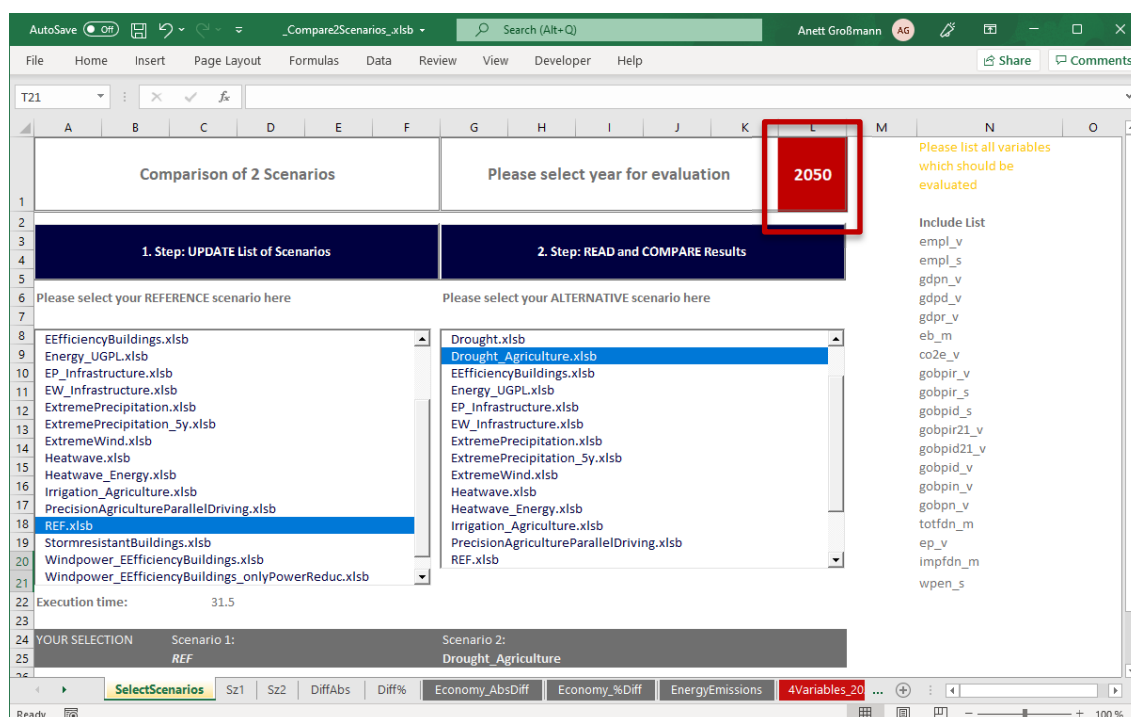


Рисунок: 40 Инструмент оценки *_Compare2Scenarios_.xlsx*

Источник: Собственная иллюстрация.

Кроме того, для обоих выбранных сценариев абсолютные значения (БЕЗ различий) сохраняются в листах *Sz1* и *Sz2* соответственно. Таким образом, пользователь модели может построить график для ОДНОЙ переменной модели с отображением её динамики в каждом сценарии и разницей между двумя сценариями. Пример приведён для занятости в листе *ScCompareFig2025-2050* в рабочей книге *Compare2Scenarios.xlsx*.

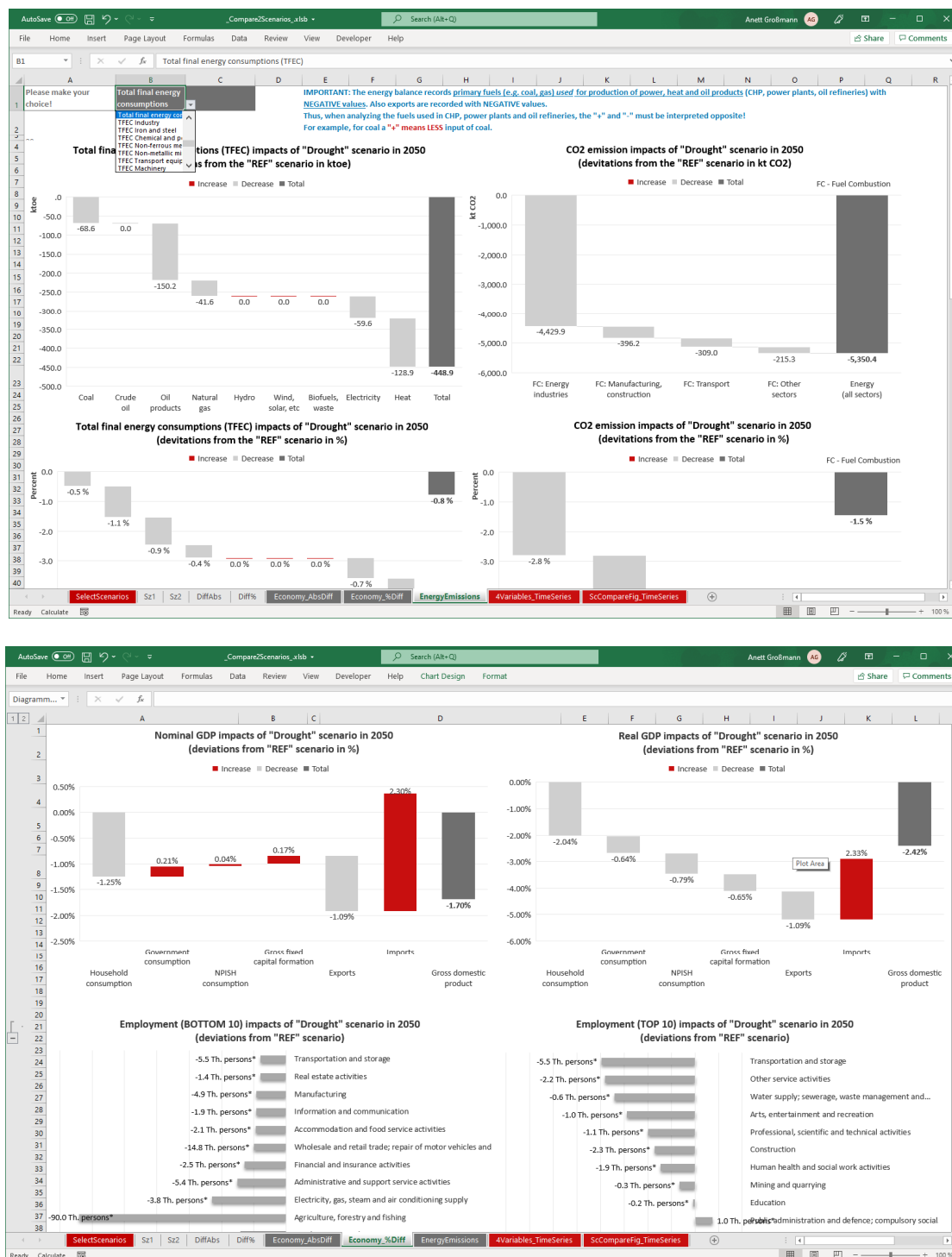


Рисунок: 41 Примеры сравнительной оценки двух сценариев

Источник: Собственная иллюстрация.

Для оценки демонстрационного сценария «засуха» в качестве базового сценария выбирается гипотетический сценарий «без изменения климата», а в качестве альтернативного – сценарий засухи. Преднастроенный инструмент оценки затем используется для макроэкономического анализа засух, выявляя межотраслевые и совокупные эффекты.

Засуха оказывает негативное влияние на макроэкономику. Возможности экспорта не реализуются, а рост импорта сельскохозяйственной продукции и электроэнергии сдерживает экономический рост. Кроме того, снижение занятости и доходов ограничивает потребительские расходы домохозяйств. Другие виды импорта уменьшаются из-за снижения экономической активности, что частично поддерживает экономический рост. В целом высокая зависимость от импорта приводит к тому, что снижение спроса на промежуточную и готовую продукцию приводит к сокращению импорта (см. Рисунок 43).

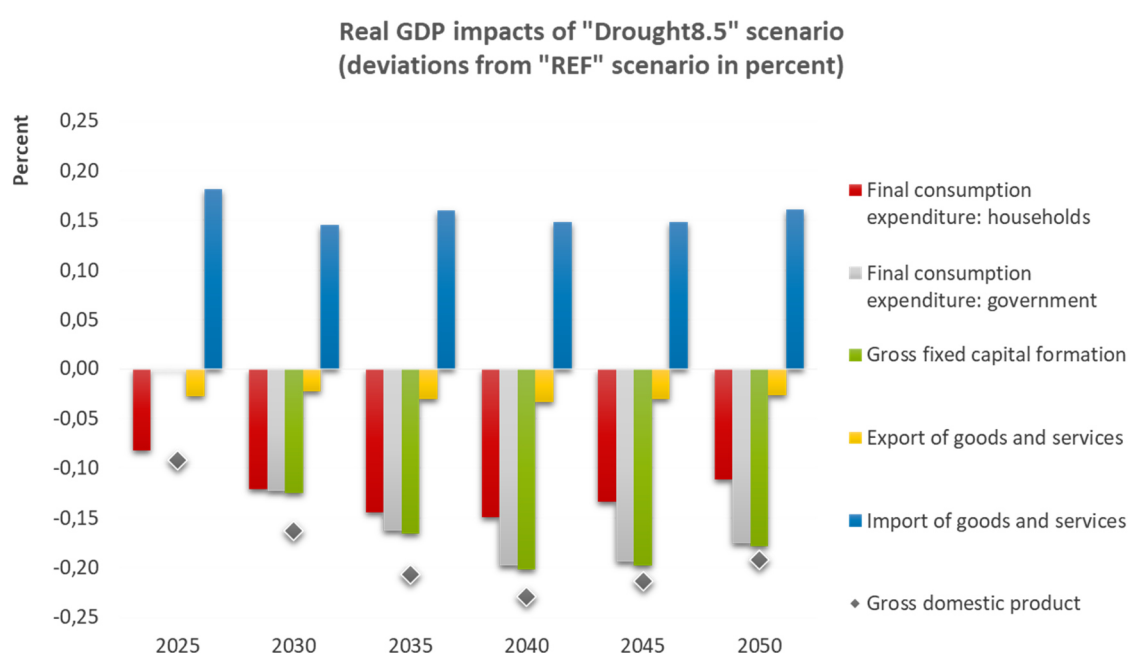


Рисунок: 42 Сценарий «Засуха» (SSP5-8.5): макроэкономические эффекты, 2025-2050 гг., в процентах

Источник: Собственная иллюстрация.

Для экономических секторов последствия различаются. Наиболее ограничено производство в сельском хозяйстве и энергетике (см. Рисунок 44). Другие отрасли косвенно затрагиваются через экономические связи. Например, спрос на промежуточные товары в сельском хозяйстве (например, пестициды, производимые химической промышленностью) снижается по сравнению со сценарием «без засухи» (REF). Снижение расходов домохозяйств на продовольствие и другие товары дополнительно сокращает производство.

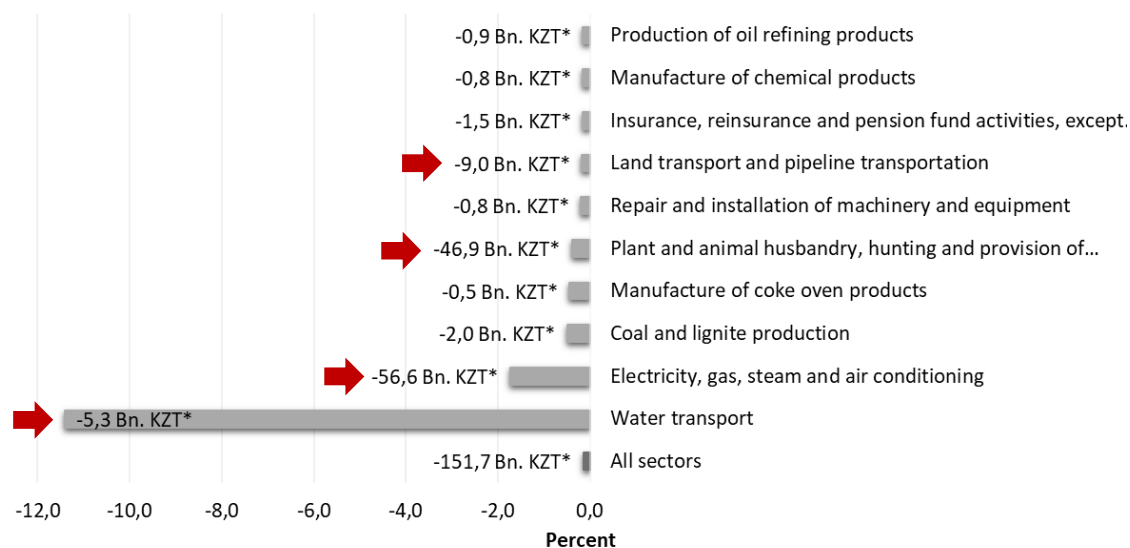


Рисунок: 43 Сценарий «Засуха» (SSP5-8.5): реальное производство по отраслям в 2050 году, отклонения от гипотетического сценария «Без засухи» (REF) в процентах (ось X) и млрд тенге (*)

Источник: Собственная иллюстрация на основе результатов е3.kz

Занятость следует за производством с учётом отраслевой трудоёмкости, которая наиболее высока в сельском хозяйстве и многих секторах услуг (например, оптовая торговля). На Рисунке 45 показано изменение занятости по сравнению со сценарием REF. Риски потери рабочих мест особенно велики в сельском хозяйстве.

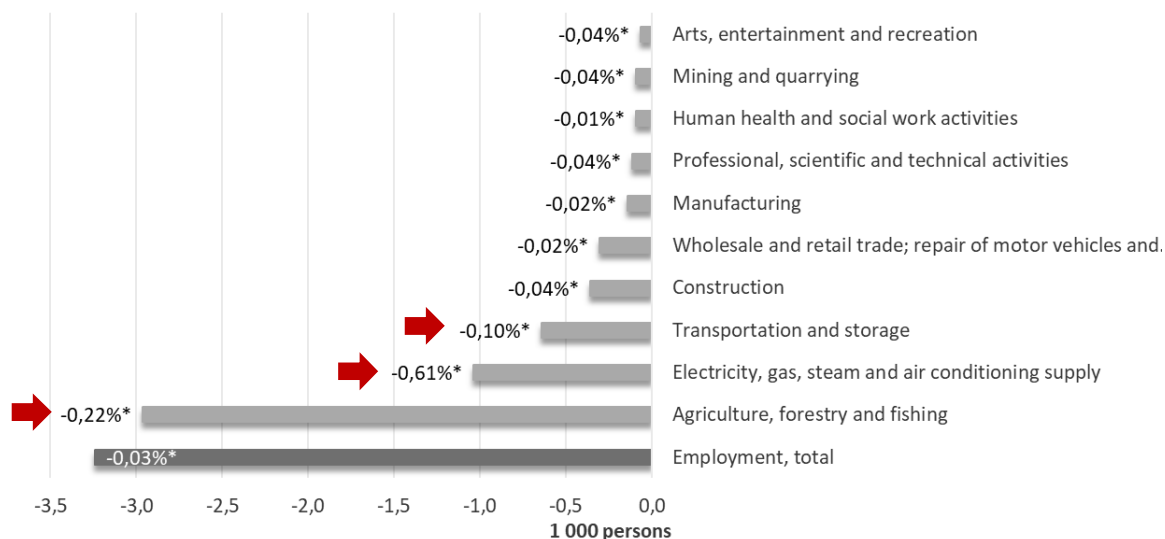


Рисунок: 44 Сценарий «Засуха» (SSP5-8.5): занятость по отраслям в 2050 году, отклонения от гипотетического сценария "Без засухи" (REF) в тыс. человек

Источник: Собственная иллюстрация на основе результатов е3.kz

Влияние на окружающую среду незначительно. Ограниченный экономический рост из-за засух приводит к снижению конечного потребления энергии (см. Рисунок 46) и выбросов CO₂ (см. Рисунок 47). В 2050 году TFEC ниже на 30 ktce или на 0,05% по сравнению со сценарием «без засухи» (REF), что связано с меньшим потреблением ископаемого топлива. Использование возобновляемых источников энергии остаётся на том же уровне, что и в сценарии «без засухи» (REF), что отражается в нулевом отклонении.

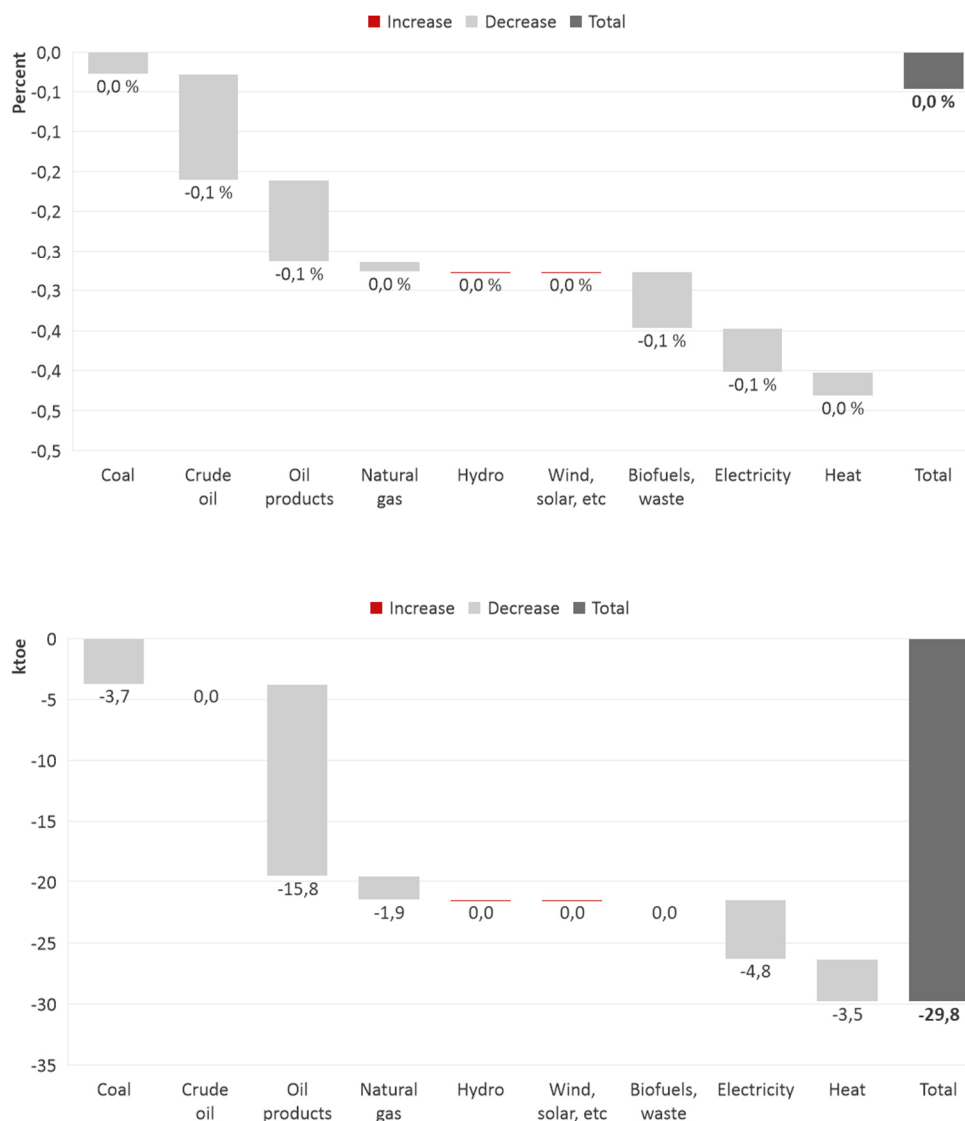


Рисунок: 45 Сценарий «Засуха» (SSP5-8.5): потребление энергии в 2050 году, отклонения от гипотетического сценария «Без засухи» (REF) в ktce (верхняя часть рисунка) и в процентах (нижняя часть рисунка)

Источник: Собственная иллюстрация на основе результатов ез.kz.

Дополнительный положительный эффект связан с временным снижением выработки тепловых электростанций, работающих в основном на ископаемом топливе, что приводит к сокращению общего первичного энергоснабжения, особенно для угля и природного газа.

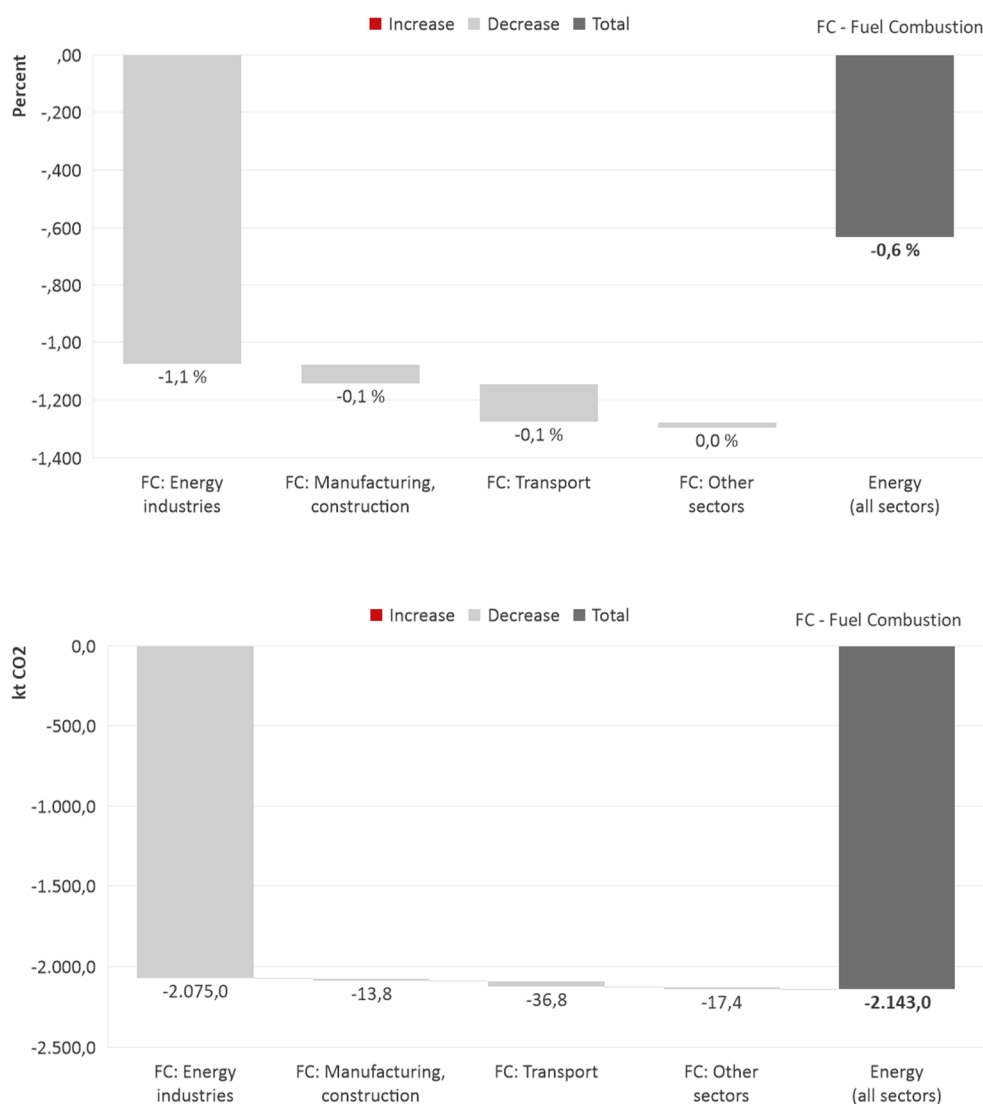


Рисунок 46: Сценарий «Засуха» (SSP5-8.5): выбросы CO₂ в 2050 году, отклонения от гипотетического сценария «Без засухи» (REF) в тыс. тонн CO₂ (верхняя часть рисунка) и в процентах (нижняя часть рисунка)

Источник: собственная иллюстрация на основе результатов е3.kz

Снижение потребления ископаемого топлива приводит к общему сокращению выбросов на 0,6% или 2,1 млн тонн CO₂ (см. Рисунок 47). В энергетическом секторе выбросы CO₂ сокращаются сильнее всего по сравнению со сценарием «без засухи» (REF).

5 СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Aaheim, A., Ahlert, G., Meyer, M., Meyer, B., Orlov, A., Heyndrickx, C. (2015). Интеграция подходов "сверху вниз" и "снизу вверх" для анализа адаптации к изменению климата в Европе - примеры для энергетики, транспорта и здравоохранения. 7-я Рамочная программа Европейского сообщества, договор № 308620 (проект ToPDAd), Отчёт D3.4, Осло.
- Almon, C. (1991). Подход INFORUM к межотраслевому моделированию. *Economic System Research* 3/1, 1-7.
- Almon, C. (2014). Искусство экономического моделирования - Часть 1. Пятое издание, январь 2014. Экономический факультет, Университет Мэриленда.
- Dekens, J., Hammill, A. (2021). Климатическое экономическое моделирование. Использование климатического экономического моделирования для устойчивого экономического развития: Руководство для практиков. Издано GIZ от имени Федерального министерства окружающей среды, охраны природы и ядерной безопасности Германии.
<https://www.giz.de/de/downloads/giz2021-en-climate-economic-modelling-practitioners-guide.pdf> (последнее обращение — 26 ноября 2021 г.)
- Eurostat (2008). Руководство Eurostat по таблицам "ресурсы-использование" и таблицам затрат-выпуска. Методические и рабочие документы, Люксембург.
<https://ec.europa.eu/eurostat/documents/3859598/5902113/KS-RA-07-013-EN.PDF/b0b3d71e-3930-4442-94be-70b36cea9b39>
- Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW) Econ (2021). Казахстан: К углеродной нейтральности к 2060 году. Возможности и вызовы. Проект: Стратегия долгосрочного низкоуглеродного развития Казахстана. Второй проект отчёта. Реализовано GIZ от имени Федерального министерства окружающей среды, охраны природы и ядерной безопасности Германии.
- Fritzsche, K., Schneiderbauer, S., Bubeck, P., Kienberger, S., Buth, M., Zebisch, M., Kahlenborn, W. (2014). Методическое руководство по оценке уязвимости. Концепция и методология стандартизированных оценок уязвимости. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, Бонн.
- GIZ (2021). Поддержка климатически устойчивого экономического развития в Казахстане - Применение модели e3.kz для анализа общих экономических последствий адаптации к изменению климата [Großmann, A., Hohmann, F., Lutz, C., Reuschel, S.] GIZ, Берлин.
- GIZ (2025a): Обзорная записка по стране: Водно-зависимые климатические угрозы и меры адаптации в Казахстане - Анализ данных и литературы [Brundell, F., Lüttringhaus, S.] GIZ, Берлин.
- GIZ (2025b): Стратегии экономики, устойчивой к изменению климата: Казахстан. Политическое руководство [Pavlenishvili, L., Salopiata, M.] GIZ, Берлин.
- GIZ (2025c). Поддержка климатически устойчивого экономического развития в Казахстане – обновлённый национальный отчёт [Großmann, A., Hohmann, F.] GIZ, Берлин.
- Großmann, A., Hohmann, F. (2019). Статическое и динамическое межотраслевое моделирование в Microsoft Excel. Доклад на конференции SHAIO, Оснабрюк, 2019 г.
- International Monetary Fund (IMF) (2019). Долгосрочные макроэкономические последствия изменения климата: межстрановой анализ.
<https://www.imf.org/en/Publications/WP/Issues/2019/10/11/Long-Term-Macroeconomic-Effects-of-Climate-Change-A-Cross-Country-Analysis-48691> (дата последнего обращения 10 февраля 2025 г.)
- International Energy Agency (IEA) (2019). World Energy Outlook 2019, IEA, Париж.
<https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2019>
- United Nations Development Programme (UNDP) (2020). Проект ПРООН "Разработка Восьмого Национального сообщения Республики Казахстан в РКИК ООН и подготовка четвертого и пятого двухгодичных отчетов". Сводный аналитический отчёт по оценке экономических потерь в сельском хозяйстве.
- United Nations General Assembly (UNGA) (2020). Заявление Президента Казахстана Касым-Жомарта Токаева на Общих дебатах 75-й сессии ГА ООН. Будущее, которое мы хотим, ООН, которая нам нужна: Подтверждение нашей коллективной приверженности многосторонности (23 сентября 2020 г.).
https://www.akorda.kz/en/speeches/external_political_affairs/ext_speeches_and_addresses/statement-by-president-of-kazakhstan-kassym-jomart-tokayev-at-the-general-debate-of-the-75th-session-of-the-unga (последнее обращение 21 ноября 2021 г.)

- Lehr, U., Nieters, A., Drosdowski, T. (2015). Адаптация к изменению климата и экономика Германии. GWS Discussion Paper 2015/10, Оснабрюк.
<http://papers.gws-os.com/gws-paper15-10.pdf> (дата последнего обращения — 15.06.20)
- Lehr, U., Nieters, A., Drosdowski, T. (2016). Экстремальные погодные явления и экономика Германии: Потенциал адаптации к изменению климата. В: Leal Filho, W. и др. (ред.): Climate Change, Adaptation, Resilience and Hazards, стр. 125-141, Springer.
- Lehr, U., Meyer, M., Figini, P., Ahrends, B. (2018). Рабочий пакет 3: Методология оценки уязвимости и сложных цепочек воздействия изменения климата. Отчёт в рамках проекта Horizon 2020 (грант № 776661).
<https://soclimpact.net/> (дата последнего обращения 15.06.20)
- Lehr, U., Flaute, M., Ahmann, L., Nieters, A., Wolff, C., Hirschfeld, J., Welling, M., Gall, A., Kersting, J., Mahlbacher, M., von Möllendorff, C. (2020). Углублённый экономический анализ отдельных политических инструментов и мер по адаптации к изменению климата – итоговый отчёт. Climate Change 43/2020, Дессау-Росслау.
- Lewney, R., Pollitt, H., Mercure, J.-F. (2019). От межотраслевого к макроэконометрическому моделированию. Доклад на 27-й Международной конференции Input-Output Association, 30 июня - 5 июля 2019 г., Глазго, Шотландия.
- Meyer, B., Ahlert, G. (2016). Несовершенные рынки и свойства макроэкономико-экологических моделей как инструментов оценки политики. GWS Discussion Paper 2016/9, Оснабрюк.
- Miller, R. E., Blair, P. D. (2009). Межотраслевой анализ: основы и расширения. Cambridge University Press.
- Navarro, J. S., Jordà, G. (2021). Отчёт по анализу климатических угроз для Казахстана в рамках проекта CRED.
- United Nations (UN) (2008). Международная стандартная классификация всех видов экономической деятельности (ИСИК), редакция 4. Статистические публикации, Серия М № 4/Rev.4, Нью-Йорк.
http://unstats.un.org/unsd/publication/seriesM/seriesm_4rev4e.pdf (англ.)
http://unstats.un.org/unsd/publication/seriesM/seriesm_4rev4r.pdf (рус.)
- Stocker, A., Großmann, A., Madlener, R., Wolter, M. I. (2011). Устойчивое энергетическое развитие Австрии до 2020 года: результаты применения интегрированной модели "e3.at". Energy Policy, 39 (10), 6082–6099. doi: 10.1016/j.enpol.2011.07.2009
- Ten Raa, T. (ред.) (2017). Справочник по межотраслевому анализу. Edward Elgar Publishing, Челтнем (Великобритания), Нортгемптон, Массачусетс (США).
- United Nations (UN), Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2019). Прогноз народонаселения мира 2019 г., онлайн-версия, редакция 1.
- United Nations (UN) (2018). Руководство по таблицам ресурсов-использования и межотраслевым таблицам с расширениями и приложениями. Департамент экономических и социальных вопросов ООН, Статистическое управление, Серия F № 74, Rev. 1.
https://unstats.un.org/unsd/nationalaccount/docs/SUT_IOT_HB_Final_Cover.pdf
- Waidelich, P., Batibeniz, F., Rising, J. и др. (2024). Прогнозы ущерба от изменения климата за пределами среднегодовой температуры. Nature Climate Change. 14, 592-599.
<https://doi.org/10.1038/s41558-024-01990-8> (дата последнего обращения 10 февраля 2025 г.)
- World Bank (2020). Прогноз цен на сырьевые товары Всемирного банка. Выпуск: 23 апреля 2020 г.
- World Bank (2022). Доклад о климатическом развитии страны: Казахстан.
<https://openknowledge.worldbank.org/server/api/core/bitstreams/e91f4c4e-a61b-507d-bb91-a39c5ad2f499/content>
 (дата последнего обращения 10 февраля 2025 г.)

6 ЭКСКУРС: IO-АНАЛИЗ

Межотраслевая таблица (IO table) является основой межотраслевого анализа, который позволяет выявить, как различные сектора экономики взаимосвязаны между собой и как изменения в одном секторе затрагивают остальные. С помощью IO-анализа можно изучать производственные цепочки, отношения поставщик–потребитель и структуру затрат в различных секторах экономики. Этот метод широко используется для оценки последствий и позволяет определить ключевые отрасли экономики, а также их уязвимость к изменениям объёмов производства и цен. Василий Леонтьев, которого часто называют основателем межотраслевого анализа, разработал первую межотраслевую модель и получил за это Нобелевскую премию в 1973 году.

Межотраслевая таблица (IOT) даёт целостное представление о предложении товаров и услуг за счёт внутреннего производства и импорта, о структуре промежуточных потоков (квадрант I, Рисунок 48), добавленной стоимости (квадрант III), а также об использовании товаров и услуг в конечном спросе (квадрант II).

К IOT прилагаются дополнительные таблицы, отражающие потоки внутренних товаров и услуг, а также распределение импорта между промежуточным и конечным использованием (см. Рисунок 48 для агрегированного вида; полные таблицы включены в набор данных e3.kz).

Столбцы IOT показывают денежную стоимость (промежуточных и трудовых) затрат по секторам экономики (например, обрабатывающая промышленность), которые покрываются либо внутренним производством, либо импортом. Например, обрабатывающая промышленность закупает услуги у казахстанских поставщиков на сумму 2 257 млрд тенге и у зарубежных поставщиков – на 12 млрд тенге для выпуска продукции на 12 123 млрд тенге (средняя и нижняя части Рисунка 48, выделено жёлтым).

Строки матрицы промежуточных потоков показывают стоимость продаж промежуточных или конечных товаров по секторам. Например, поставки «Электроэнергии, газа, воды» составляют 175 млрд тенге от внутренних поставщиков в сектор «Сельское хозяйство, лесное хозяйство...» (и 14 млрд тенге из-за рубежа) в качестве промежуточных затрат, а 1 061 млрд тенге (и 14 млрд тенге – импорт) продаются как конечный спрос (средняя и нижняя части Рисунка 48, выделено оранжевым).

Фактическая симметричная межотраслевая таблица Казахстана включает 68 товарных групп (классификация СРА, см. Приложение 2). Объём выпуска структурирован по следующим компонентам: промежуточное потребление, оплата труда, налоги и субсидии на производство и импорт, амортизация, валовой операционный профицит и смешанный доход. Категории конечного спроса включают: конечные потребительские расходы (домохозяйства, НКО, обслуживающие домохозяйства (НКОД), государство), валовое накопление капитала (валовое накопление основного капитала, изменение запасов, чистые приобретения ценностей) и экспорт товаров и услуг (см. Приложение 3).

Межотраслевые взаимосвязи, отражённые в таблицах, могут быть представлены в виде системы математических уравнений. Для этого вводятся основанные на технологии коэффициенты внутренних затрат A , что позволяет использовать методы матричной алгебры для поиска решений. В результате получается известная *обратная матрица Леонтьева* $(I - A)^{-1}$. Уравнение Леонтьева

позволяет ответить на вопросы: как изменится производство при изменении конечного спроса? Какие отрасли (прямо и косвенно) будут затронуты этими изменениями?

С учётом высокой импортной зависимости Казахстана важно дополнительно учитывать импорт, индуцированный внутренним производством im^X (не путать с импортом конечных товаров), возникающий в результате дополнительного внутреннего выпуска.

$$X = (I - A)^{-1} \cdot Y$$

X - Output; Y - Final demand; I - Identity matrix

$$im^X = (A^{im}) \cdot ((I - A)^{-1} \cdot Y)$$

A^{im} - Input coefficient matrix for imports

IOT (2017, bn. Tenge)	Agriculture, forestry, fishing, mining	Manufacturing	Electricity, gas, water	Construction	Services	Final demand	Total use
Agriculture, forestry, fishing, mining	1,833	3,038	73	96	311	14,267	19,618
Manufacturing	2,320	1,267	470	1,199	3,629	13,378	22,261
Electricity, gas, water	189	96	52	25	777	1,075	2,214
Construction	52	3	19	155	891	4,339	5,459
Services	3,831	2,268	468	1,293	10,284	29,172	47,316
Value added	10,447	5,407	1,040	2,067	29,507		
Output	18,767	12,123	2,128	4,857	45,630		
Imports	850	10,138	85	602	1,686		
Total Supply	19,618	22,261	2,214	5,459	47,316		

Total supply = total use

DOMESTIC IOT (2017, bn. Tenge)	Agriculture, forestry, fishing, mining	Manufacturing	Electricity, gas, water	Construction	Services	Final demand	Total use
Agriculture, forestry, fishing, mining	1,698	2,740	56	85	264	13,926	18,767
Manufacturing	1,184	680	323	924	1,715	7,297	12,123
Electricity, gas, water	175	93	49	23	727	1,061	2,128
Construction	45	3	16	88	584	4,120	4,857
Services	3,627	2,257	456	1,219	9,420	28,651	45,630
Intermediate use	6,728	5,772	900	2,339	12,711		
Value added	10,447	5,407	1,040	2,067	29,507		
Output	18,767	12,123	2,128	4,857	45,630		
Imports	850	10,138	85	602	1,686		
Total Supply	19,618	22,261	2,214	5,459	47,316		

IMPORTED IOT (2017, bn. Tenge)	Agriculture, forestry, fishing, mining	Manufacturing	Electricity, gas, water	Construction	Services	Final demand	Total use
Agriculture, forestry, fishing, mining	136	299	17	11	47	341	850
Manufacturing	1,136	587	147	274	1,914	6,080	10,138
Electricity, gas, water	14	2	3	2	50	14	85
Construction	7	0	2	67	307	218	602
Services	204	12	11	75	864	521	1,686
Intermediate use	1,497	900	181	428	3,182		

Рисунок: 47 Упрощённая межотраслевая таблица для Казахстана (2017 г.) по импорту (нижняя часть), внутреннему производству (средняя часть) и их совокупности (верхняя часть).

Источник: собственная иллюстрация на основе COMSTAT (Қазақстан Республикасының 2018 жылы «Шығындар - Шығарылым» кестелері, 2019 жыл).

Более подробную информацию можно найти, например, в Eurostat (2008) и UN (2018).

7 ПРИЛОЖЕНИЕ

Приложение: 1 Базовые процедуры модели для использования разработчиками модели

Имя подпрограммы	Описание
Function CreateMat(ByVal rows As Integer, ByVal cols As Integer) As Double()	Создать матрицу заданного размера
Function CreateUnitMatrix(ByVal size As Integer) As Double()	Создать единичную матрицу заданного размера
Function MatAdd(ByVal m1 As Variant, ByVal m2 As Variant) As Variant	Сложить две матрицы
Function MatColSum(ByVal var As Variant, ByVal col) As Double	Вычислить сумму по столбцу матрицы
Function MatColSumRange(ByVal var As Variant, ByVal column As Integer, ByVal firstRow As Integer, ByVal lastRow As Integer) As Double	Вычислить сумму по диапазону строк в столбце
Function MatDivE(ByVal m1 As Variant, ByVal m2 As Variant) As Variant	Позлементное деление двух матриц
Function MatInv(ByVal m1 As Variant) As Variant	Обратная матрица
Function MatMult(ByVal m1 As Variant, ByVal m2 As Variant) As Variant	Умножение двух матриц
Function MatMultE(ByVal m1 As Variant, ByVal m2 As Variant) As Variant	Позлементное умножение двух матриц
Function MatRowSum(ByVal var As Variant, ByVal row) As Double	Сумма по строке матрицы
Function MatRowSumRange(ByVal var As Variant, ByVal row As Integer, ByVal firstColumn As Integer, ByVal lastColumn As Integer) As Double	Сумма по диапазону столбцов в строке
Function MatSub(ByVal m1 As Variant, ByVal m2 As Variant) As Variant	Вычитание одной матрицы из другой
Function MatSum(ByVal var As Variant) As Double	Общая сумма элементов матрицы
Function MatTrans(ByVal m1 As Variant) As Variant	Транспонирование матрицы
Function VecAdd(ByVal v1 As Variant, ByVal v2 As Variant) As Variant	Сложение двух векторов
Function VecSub(ByVal v1 As Variant, ByVal v2 As Variant) As Variant	Вычитание одного вектора из другого
Function VecSum(ByVal var As Variant) As Double	Сумма элементов вектора
Function VecSumRange(ByVal var As Variant, ByVal firstRow As Integer, ByVal lastRow As Integer) As Double	Сумма по диапазону строк вектора
Sub SetTo(ByRef var As Variant, ByVal val As Double)	Заполнение матрицы/вектора заданным значением
Sub Tweak(ByVal t As Integer, ByVal lastData As Integer, ByRef var As Variant, ByVal varName As String)	Применение доступных корректировок (tweaks) к заданной переменной

Приложение: 2 Классификация продукции в межотраслевой таблице Казахстана

№ п/п	Код CPA	Описание строки
1	01	Сельское хозяйство, продукция охоты и сопутствующие услуги
2	02	Лесное хозяйство, продукция лесозаготовок и сопутствующие услуги
3	03	Рыбная продукция, продукция аквакультуры и услуги по рыбному хозяйству
4	05	Каменный и бурый уголь
5	061	Сырая нефть
6	062	Природный газ в жидком и газообразном состоянии
7	071	Железные руды
8	072	Цветные металлы
9	08	Продукция горнодобывающей промышленности
10	09	Вспомогательные услуги для горнодобывающей промышленности
11	10–11	Продукты питания и напитки
12	12	Табачные изделия
13	13	Текстиль
14	14	Одежда
15	15	Кожевенные изделия
16	16	Изделия из дерева и пробки (кроме мебели), изделия из соломы и плетёных материалов
17	17	Бумага и бумажная продукция
18	18	Полиграфическая продукция и услуги по тиражированию
19	191	Продукция коксовых печей
20	192	Нефтепродукты
21	20	Химическая продукция
22	21	Фармацевтические препараты и основные лекарства
23	22	Изделия из резины и пластмасс
24	23	Прочая неметаллическая минеральная продукция
25	241	Черные металлы: железо, чугун, сталь и ферросплавы
26	242	Трубы различных диаметров, полые профили и фитинги из нержавеющей стали
27	243	Прочая стальная продукция первичной переработки
28	244	Драгоценные металлы и прочие цветные металлы
29	245	Литейные услуги
30	25	Металлоизделия (кроме машин и оборудования)
31	26	Компьютеры, электронная и оптическая продукция
32	27	Электрооборудование
33	28	Машины и оборудование, не включённые в другие группы
34	29	Автомобили, прицепы и полуприцепы

35	30	Прочая транспортная техника
36	31	Мебель
37	32	Прочие готовые изделия
38	33	Ремонт и монтаж машин и оборудования
39	351	Производство и распределение электроэнергии
40	352	Газ, услуги по транспортировке газа по трубопроводам
41	353	Услуги по охлаждению пара и кондиционированию воздуха
42	36–39	Водоснабжение, водоотведение, услуги по утилизации отходов
43	41–43	Строительно-монтажные работы
44	45	Оптовая и розничная торговля; ремонт автотранспортных средств и мотоциклов
45	46	Оптовая торговля (кроме автотранспорта и мотоциклов)
46	47	Розничная торговля (кроме автотранспорта и мотоциклов)
47	49	Наземный транспорт и трубопроводы
48	50	Водный транспорт
49	51	Воздушный транспорт
50	52	Складские услуги и вспомогательные транспортные услуги
51	53	Почтовые и курьерские услуги
52	55	Услуги по размещению (гостиницы, отели)
53	56	Услуги общественного питания
54	58–63, 61 другое	Информационные услуги
55	61	Услуги связи
56	64	Финансовые услуги (кроме страхования и пенсионного обеспечения)
57	65	Страхование, перестрахование и пенсионное обеспечение (кроме обязательного соцстраха)
58	66	Вспомогательные услуги в сфере финансового посредничества и страхования
59	68	Услуги в сфере недвижимости
60	69–75	Профессиональные, научные и технические услуги
61	77–82	Административные и вспомогательные услуги
62	84	Государственное управление и оборона; обязательное социальное страхование
63	85	Образование
64	86	Здравоохранение
65	87–88	Социальные услуги
66	90–93	Искусство, развлечения и досуг
67	94–96	Прочие услуги
68	97–98	Услуги домашних хозяйств по найму персонала и производству продукции и услуг для собственного использования

Приложение: 3 Элементы конечного спроса и общий спрос в межотраслевой таблице Казахстана

№ п/п	Описание столбца
1	Конечные потребительские расходы: домохозяйства
2	Конечные потребительские расходы: государство
3	Конечные потребительские расходы: НКОД (неприбыльные организации, обслуживающие домохозяйства)
4	Конечные потребительские расходы: всего
5	Валовое накопление основного капитала
6	Изменение запасов
7	Приобретение за вычетом выбытия ценностей
8	Валовое накопление капитала
9	Экспорт товаров и услуг
10	Совокупный конечный спрос
11	Совокупный спрос

Приложение: 4 Классификация секторов экономики

№ п/п	Код NACE	Описание строки
1	01	Растениеводство, животноводство, охота и предоставление сопутствующих услуг
2	02	Лесное хозяйство и лесозаготовки
3	03	Рыбное хозяйство и аквакультура
4	05	Добыча каменного и бурого угля
5	06	Добыча сырой нефти и природного газа
6	07	Добыча металлических руд
7	08	Прочие отрасли горнодобывающей промышленности
8	09	Технические услуги в горнодобывающей промышленности
9	10	Производство пищевых продуктов
10	11	Производство напитков
11	12	Производство табачных изделий
12	13	Производство текстиля
13	14	Производство одежды
14	15	Производство кожи и изделий из неё
15	16	Производство изделий из древесины и пробки (кроме мебели); изделий из соломы и материалов для плетения
16	17	Производство бумаги и бумажных изделий
17	18	Печатная деятельность и воспроизведение записей
18	191	Производство продукции коксовых печей

19	192	Производство нефтепродуктов
20	20	Производство химической продукции
21	21	Производство фармацевтических препаратов
22	22	Производство резиновых и пластмассовых изделий
23	23	Производство прочей неметаллической минеральной продукции
24	24	Металлургия
25	25	Производство готовых металлических изделий, кроме машин и оборудования
26	26	Производство компьютеров, электронной и оптической продукции
27	27	Производство электрического оборудования
28	28	Производство машин и оборудования, не включённых в другие группы
29	29	Производство автомобилей, прицепов и полуприцепов
30	30	Производство прочих транспортных средств
31	31	Производство мебели
32	32	Производство прочей готовой продукции
33	33	Ремонт и установка машин и оборудования
34	35	Производство и распределение электроэнергии, газа, пара и кондиционирование воздуха
35	36–39	Водоснабжение; водоотведение, управление отходами и рекультивация
36	41–43	Строительство
37	45	Оптовая и розничная торговля и ремонт автотранспортных средств и мотоциклов
38	46	Оптовая торговля (кроме автотранспорта и мотоциклов)
39	47	Розничная торговля (кроме автотранспорта и мотоциклов)
40	49	Наземный транспорт и трубопроводный транспорт
41	50	Водный транспорт
42	51	Коммерческая авиация
43	52	Складские и вспомогательные транспортные услуги
44	53	Почтовые и курьерские услуги
45	55	Услуги по размещению
46	56	Услуги общественного питания
47	58–63, кроме 61	Информационные услуги
48	61	Услуги связи
49	64	Финансовые услуги (кроме страхования и пенсионных фондов)
50	65	Страхование, перестрахование и пенсионные фонды (кроме обязательного социального страхования)
51	66	Вспомогательные услуги в сфере финансирования и страхования
52	68	Операции с недвижимостью

53	69	Юридическая деятельность и бухгалтерский учёт
54	70	Деятельность головных компаний; управленческое консультирование
55	71	Архитектурная и инженерная деятельность; технические испытания и анализ
56	72	Научные исследования и разработки
57	73	Исследования рекламной деятельности и рыночной конъюнктуры
58	74	Прочая профессиональная, научная и техническая деятельность
59	75	Ветеринарная деятельность
60	77	Аренда, лизинг
61	78	Занятость
62	79	Туроператоры, агентства и прочие услуги в сфере туризма
63	80	Охрана и расследования
64	81	Обслуживание зданий и прилегающих территорий
65	82	Административные, хозяйственные и прочие вспомогательные услуги
66	84	Государственное управление и оборона; обязательное соцстрахование
67	85	Образование
68	86	Здравоохранение
69	87-88	Социальные услуги
70	90-93	Искусство, развлечения и отдых
71	94-96	Прочие услуги
72	97-98	Услуги домашних хозяйств по найму персонала и собственное производство товаров и услуг

Приложение: 5 Классификация занятости по секторам экономики

№ п/п	Описание строки
1	Сельское, лесное и рыбное хозяйство
2	Добыча полезных ископаемых
3	Обрабатывающая промышленность
4	Электро-, газо-, паро- и кондиционирование
5	Водоснабжение; водоотведение, управление отходами и рекультивация
6	Строительство
7	Оптовая и розничная торговля; ремонт автотранспорта и мотоциклов
8	Транспортировка и хранение
9	Размещение и питание
10	Информация и связь
11	Финансовая и страховая деятельность
12	Операции с недвижимостью

13	Профессиональная, научная и техническая деятельность
14	Административная и вспомогательная деятельность
15	Государственное управление и оборона; обязательное соцстрахование
16	Образование
17	Здравоохранение и социальная работа
18	Искусство, развлечения и отдых
19	Прочие виды услуг
20	Деятельность домашних хозяйств по найму персонала; собственное потребление
21	Деятельность экстерриториальных организаций

Приложение: 6 Показатели национальных счетов

№ п/п	Код	Описание строки
1	P1	Выпуск по базовым ценам (получено)
2	D21-D31	Налоги минус субсидии на продукты
3	P2	Промежуточное потребление (оплачено)
4	B1g	Валовая добавленная стоимость
5	D1	Оплата труда (оплачено)
6	D29	Прочие налоги на производство (оплачено)
7	B2g/B3g	Валовой операционный профицит, валовой смешанный доход
8	D1	Оплата труда (получено)
9	D2-D3	Налоги минус субсидии на производство и импорт
10	D4	Доход от собственности (получено)
11	D4	Доход от собственности (оплачено)
12	B5g	Валовой национальный доход
13	D5	Текущие налоги на доход, имущество (получено)
14	D61	Взносы в социальное страхование (получено)
15	D62	Социальные пособия, кроме соцпомощи в натуральной форме (получено)
16	D7	Прочие текущие трансферты (получено)
17	D5	Текущие налоги на доход, имущество (оплачено)
18	D61	Взносы в социальное страхование (оплачено)
19	D62	Социальные пособия, кроме соцпомощи в натуральной форме (оплачено)
20	D7	Прочие текущие трансферты (оплачено)
21	B6g	Валовой располагаемый доход
22	D63	Социальные трансферты в натуральной форме (получено)
23	D63	Социальные трансферты в натуральной форме (оплачено)

24	B7g	Скорректированный располагаемый доход
25	D8	Корректировка на изменение чистой стоимости пенсионных фондов (получено)
26	D8	Корректировка пенсионных прав домашних хозяйств (оплачено)
27	P3	Конечные потребительские расходы (оплачено)
28	B8g	Валовые сбережения
29	D9	Капитальные трансферты (получено)
30	D9	Капитальные трансферты (оплачено)
31	P51g	Валовое накопление основного капитала (оплачено)
32	P51c	Потребление основного капитала (оплачено)
33	P52 AN12	Изменение запасов (оплачено)
34	B9	Чистое кредитование (+) / чистое заимствование (-)
35		Статистическая погрешность

Приложение: 7 Компоненты ВВП (по методу расходов)

№ п/п	Описание строки
1	Совокупные конечные потребительские расходы
2	Конечные потребительские расходы: домохозяйства
3	Конечные потребительские расходы: государство
4	Конечные потребительские расходы: НКОД
5	Валовое накопление капитала
6	Валовое накопление основного капитала
7	Изменение запасов
8	Чистый экспорт
9	Экспорт товаров и услуг
10	Импорт товаров и услуг
11	Статистическая погрешность
12	Валовой внутренний продукт (ВВП)

Приложение: 8 Структура населения

№ п/п	Описание строки
1	Общая численность населения
2	Население младше 16 лет
3	Трудоспособное население (16–59 лет (до 1998 г.) / 16–62 лет (с 1999 г.))
4	Население старше 59 лет (до 1998 г.) / старше 63 лет (с 1999 г.)

Приложение: 9 Упрощённая система национальных сче

		Uses	Resources
		PRODUCTION ACCOUNT	
Gross Output	P1		sna_v(t)(1)
Taxes less subsidies on products	D21-D31		sna_v(t)(2)
Intermediate consumption	P2	sna_v(t)(3)	
Gross domestic product/ gross value added	B1g		sna_v(t)(4)
		GENERATION OF INCOME ACCOUNT	
Gross domestic product/ gross value added	B1g		sna_v(t)(4)
Compensation of employees	D1	sna_v(t)(5)	
Other taxes on production (and imports minus subsidies)	D29	sna_v(t)(6)	
Gross operating surplus and gross mixed income	B2g/B3g		sna_v(t)(7)
		ALLOCATION OF PRIMARY INCOME ACCOUNT	
Operating surplus and mixed income	B2g/B3g		sna_v(t)(7)
Compensation of employees	D1		sna_v(t)(8)
Taxes on production and imports minus subsidies	D2-D3		sna_v(t)(9)
Property income	D4	sna_v(t)(11)	
Property income	D4		sna_v(t)(10)
Gross national income / primary income	B5g		sna_v(t)(12)
		SECONDARY DISTRIBUTION OF INCOME ACCOUNT	
Gross national income / primary income	B5g		sna_v(t)(12)
Current taxes on income, wealth	D5	sna_v(t)(17)	
Current taxes on income, wealth	D5		sna_v(t)(13)
Social security contributions	D61	sna_v(t)(18)	
Social security contributions	D61		sna_v(t)(14)
Social benefits, except for social transfers in kind	D62	sna_v(t)(19)	
Social benefits, except for social transfers in kind	D62		sna_v(t)(15)
Other current transfers	D7	sna_v(t)(20)	
Other current transfers	D7		sna_v(t)(16)
Gross disposable income	B6g		sna_v(t)(21)
Social transfers in kind	D63	sna_v(t)(23)	
Social transfers in kind	D63		sna_v(t)(22)
Adjusted disposable income	B7g		sna_v(t)(24)
		USE OF DISPOSABLE INCOME ACCOUNT	
Gross disposable income	B6g		sna_v(t)(21)
Adjust. for the change in net equity of households in pension funds	D8	sna_v(t)(26)	
Adjust. for the change in net equity of households in pension funds	D8		sna_v(t)(25)
Final consumption expenditure	P3	sna_v(t)(27)	
Gross saving	B8g		sna_v(t)(28)

	Change in assets	Changes in liabilities and net worth
	Capital Account	
Gross saving	B8g	sna_v(t)(28)
Capital transfer	D9 (-)	sna_v(t)(30)
Capital transfer	D9 (+)	sna_v(t)(29)
Gross fixed capital formation	P51g	sna_v(t)(31)
Changes in inventories	P52AN12	sna_v(t)(33)
Statistical discrepancy		sna_v(t)(35)
Net lending/net borrowing	B9	sna_v(t)(34)

Приложение: 10 Структура энергетического баланса

№ п/п	Описание строки
1	Производство
2	Импорт
3	Экспорт
4	Международное бункерование морского транспорта
5	Международное бункерование авиационного транспорта
6	Изменение запасов
7	Валовое внутреннее потребление энергии (TPES)
8	Передачи
9	Статистические расхождения
10	Электростанции
11	ТЭЦ
12	Тепловые станции
13	Газовые заводы
14	Нефтеперерабатывающие заводы
15	Преобразование угля
16	Заводы по сжижению
17	Прочие преобразования
18	Собственное потребление энергетического сектора
19	Потери
20	Совокупное конечное потребление
21	Промышленность
22	Черная металлургия
23	Химическая и нефтехимическая промышленность
24	Цветная металлургия

25	Неметаллические минеральные продукты
26	Транспортное оборудование
27	Машиностроение
28	Добыча полезных ископаемых
29	Пищевая промышленность и табак
30	Целлюлозно-бумажная промышленность и полиграфия
31	Древесина и изделия из дерева
32	Строительство
33	Текстиль и кожа
34	Неуточнённое
35	Транспорт
36	Домохозяйства (население)
37	Коммерческий и государственный сектор
38	Сельское и лесное хозяйство
39	Рыболовство
40	Неуточнённое
41	Нересурсное (неэнергетическое) использование
№ п/п	Описание колонки
1	Уголь
2	Сырая нефть
3	Нефтепродукты
4	Природный газ
5	Гидроэнергия
6	Ветер, солнце и др. ВИЭ
7	Биотопливо и отходы
8	Электроэнергия
9	Тепло
10	Всего

Приложение: 11 Мировые рыночные цены на энергоносители

№ п/п	Описание строки
1	Мировая цена на сырую нефть, средняя (долл. США/баррель)
2	Мировая цена на уголь, Австралия (долл. США/тонна)
3	Мировая цена на природный газ, Европа (долл. США/mmbtu)

Приложение: 12 Цены на энергоносители

№ п/п	Описание строки
1	Цены для домохозяйств: уголь (тенге/т)
2	Цены для домохозяйств: нефтепродукты (средневзвешенные бензин и дизель, тенге/литр)
3	Цены для домохозяйств: природный газ (тенге/м³)
4	Цены для домохозяйств: электроэнергия (тенге/100 кВт·ч)
5	Цены для домохозяйств: тепло (тенге/Гкал)
6	Цены для промышленности: уголь (тенге/т)
7	Цены для промышленности: нефтепродукты (дизель, тенге/т)
8	Цены для промышленности: природный газ (тенге/1000 м³)
9	Цены для промышленности: электроэнергия (тенге/1000 кВт·ч)

Приложение: 13 Средние индексы цен на энергию по отраслям

№ п/п	Описание строки
1	Черная металлургия
2	Химическая и нефтехимическая промышленность
3	Цветная металлургия
4	Неметаллические минеральные продукты
5	Транспортное оборудование
6	Машиностроение
7	Добыча полезных ископаемых
8	Пищевая промышленность и табак
9	Целлюлозно-бумажная промышленность и полиграфия
10	Древесина и изделия из дерева
11	Строительство
12	Текстиль, кожа
13	Неуточнённое
14	Транспорт
15	Население
16	Коммерческий и государственный сектор
17	Сельское и лесное хозяйство
18	Рыболовство
19	Неуточнённое
20	Нересурсное (неэнергетическое) использование

Приложение: 14 Выбросы CO₂ по секторам

№ п/п	Описание строки
1	Черная металлургия
2	Химическая и нефтехимическая промышленность
3	Цветная металлургия
4	Неметаллические минеральные продукты
5	Транспортное оборудование
6	Машиностроение
7	Добыча полезных ископаемых
8	Пищевая промышленность и табак
9	Целлюлозно-бумажная промышленность и полиграфия
10	Древесина и изделия из дерева
11	Строительство
12	Текстиль, кожа
13	Неуточнённое
14	Транспорт
15	Население
16	Коммерческий и государственный сектор
17	Сельское и лесное хозяйство
18	Рыболовство
19	Неуточнённое
20	Нересурсное (неэнергетическое) использование

Приложение: 15 Косвенные коэффициенты выбросов (имплицитные эмиссионные факторы)

№ п/п	Описание строки
1	Производство электроэнергии и тепла
2	Переработка нефти
3	Производство твердого топлива и прочие энергетические отрасли
4	Обрабатывающая промышленность и строительство
5	Черная металлургия
6	Химическая промышленность
7	Цветная металлургия
8	Неметаллические минеральные продукты
9	Переработка пищевых продуктов, напитков и табака
10	Целлюлозно-бумажная промышленность и печать

11	Транспорт
12	Население
13	Коммерческий и государственный сектор
14	Сельское, лесное хозяйство и рыболовство
№ п/п	Описание колонки
1	Уголь
2	Сырая нефть
3	Нефтепродукты
4	Природный газ

Приложение: 16 Соответствие 19-классификации и 72-классификации секторов экономики

19 Классификация секторов экономики		72 Классификация секторов экономики	
№ п/п		№ п/п	Описание
17	Сельское хозяйство / лесное хозяйство	1	Растениеводство, животноводство, охота и предоставление сопутствующих услуг
		2	Лесное хозяйство и лесозаготовки
18	Рыболовство	3	Рыболовство и аквакультура
7	Добыча полезных ископаемых	4	Добыча каменного и бурого угля
		5	Добыча сырой нефти и природного газа
		6	Добыча металлических руд
		7	Прочие отрасли горнодобывающей промышленности
		8	Технические услуги в горнодобывающей промышленности
8	Продукты питания и табак	9	Производство пищевых продуктов
		10	Производство напитков
		11	Производство табачных изделий
12	Текстиль и кожа	12	Производство текстиля
		13	Производство одежды
		14	Производство кожи и изделий из неё
10	Древесина и изделия из нее	15	Производство изделий из дерева и пробки (кроме мебели); изделий из соломы
9	Целлюлозно-бумажная промышленность и полиграфия	16	Производство бумаги и бумажных изделий
		17	Полиграфия и воспроизведение записей
-	-	18	Производство коксовых продуктов
-	-	19	Производство нефтепродуктов
2		20	Производство химической продукции

Химическая и нефтехимическая промышленность	21	Производство фармацевтических препаратов
13 Неуточнённое	22	Производство резиновых и пластмассовых изделий
4 Неметаллические минеральные продукты	23	Производство прочих неметаллических минеральных изделий
1 Черная металлургия	24	Металлургия
3 Цветная металлургия	—	
13 Неуточнённое	25	Производство готовых металлических изделий, кроме машин и оборудования
	26	Производство компьютеров, электронной и оптической продукции
	27	Производство электрического оборудования
6 Машиностроение	28	Производство машин и оборудования, не включённых в другие категории
5 Транспортное оборудование	29	Производство автотранспортных средств
	30	Производство прочих транспортных средств
13 Неуточнённое	31	Производство мебели
	32	Производство прочей готовой продукции
	33	Ремонт и установка машин и оборудования
	34	Производство и распределение электроэнергии, газа, пара
	35	Водоснабжение, водоотведение, управление отходами
11 Строительство	36	Строительство
16 Коммерческие и государственные услуги	37	Торговля и ремонт автотранспорта
	38	Оптовая торговля
13 Неуточнённое	39	Розничная торговля
14 Транспорт	40	Наземный транспорт и трубопроводы
	41	Водный транспорт
	42	Воздушный транспорт
	43	Складские и транспортно-вспомогательные услуги
16 Коммерческие и государственные услуги	44	Почтовые и курьерские услуги
	45	Услуги размещения
	46	Услуги питания
	47	Информационные услуги
	48	Связь
	49	Финансовые услуги (без страхования и пенсионных фондов)
	50	Страхование и пенсионные фонды

	51	Финансовое посредничество и страхование
	52	Операции с недвижимостью
	53	Юридические и бухгалтерские услуги
	54	Деятельность головных компаний и консалтинг
	55	Архитектура, инжиниринг, технический анализ
	56	Научные исследования и разработки
	57	Рекламная и маркетинговая деятельность
	58	Прочая профессиональная деятельность
	59	Ветеринарная деятельность
	60	Аренда и лизинг
	61	Занятость
	62	Туризм и агентства
	63	Охрана и расследования
	64	Обслуживание зданий и территорий
	65	Административные и управленческие услуги
	66	Государственное управление и оборона
	67	Образование
	68	Здравоохранение
	69	Социальные услуги
	70	Искусство, культура, досуг
	71	Прочие услуги
	72	Услуги домашних хозяйств по найму домашнего персонала и производству товаров и услуг для собственного потребления
15	Жилье	- -

Приложение: 17 Соответствие 21-классификации и 72-классификации секторов экономики

21 Классификация секторов экономики		72 Классификация секторов экономики	
№ п/п	Описание	№ п/п	Описание
1	Сельское, лесное хозяйство и рыболовство	1	Растениеводство, животноводство, охота и предоставление услуг в этих областях
		2	Лесное хозяйство и лесозаготовки
		3	Рыболовство и аквакультура
2	Добыча полезных ископаемых	4	Добыча каменного и бурого угля
		5	Добыча сырой нефти и природного газа
		6	Добыча металлических руд

3	Обрабатывающая промышленность	7	Прочие отрасли горнодобывающей промышленности
		8	Технические услуги в горнодобывающей промышленности
		9	Производство пищевых продуктов
		10	Производство напитков
		11	Производство табачных изделий
		12	Производство текстиля
		13	Производство одежды
		14	Производство кожи и изделий из неё
		15	Производство изделий из дерева и пробки (кроме мебели); изделий из соломы
		16	Производство бумаги и бумажной продукции
		17	Полиграфия и воспроизведение записей
		18	Производство коксовых продуктов
		19	Производство нефтепродуктов
		20	Производство химической продукции
		21	Производство фармацевтической продукции
		22	Производство резиновых и пластмассовых изделий
		23	Производство прочей неметаллической минеральной продукции
		24	Металлургия
		25	Производство готовых металлических изделий (кроме машин и оборудования)
		26	Производство компьютеров, электронной и оптической продукции
		27	Производство электрического оборудования
		28	Производство машин и оборудования, не включённых в другие категории
		29	Производство автотранспортных средств, прицепов и полуприцепов
		30	Производство прочих транспортных средств
		31	Производство мебели
		32	Производство прочей готовой продукции
		33	Ремонт и установка машин и оборудования
4	Электроэнергия, газ, пар и кондиционирование	34	Электроэнергия, газ, пар и кондиционирование воздуха
5	Водоснабжение; водоотведение, управление отходами и рекультивация	35	Водоснабжение; водоотведение, управление отходами и рекультивация
6	Строительство	36	Строительство

7	Оптовая и розничная торговля; ремонт автотранспортных средств и мотоциклов	37	Оптовая и розничная торговля; ремонт автотранспорта
		38	Оптовая торговля (кроме автотранспорта и мотоциклов)
		39	Розничная торговля (кроме автотранспорта и мотоциклов)
8	Транспортировка и хранение	40	Наземный транспорт и трубопроводный транспорт
		41	Водный транспорт
		42	Воздушный транспорт
		43	Складские и транспортно-вспомогательные услуги
		44	Почтовые и курьерские услуги
9	Услуги размещения и питания	45	Услуги размещения
		46	Услуги питания
10	Информационные и коммуникационные услуги	47	Информационные услуги
		48	Связь
11	Финансовая и страховая деятельность	49	Финансовые услуги (за исключением страхования и пенсионных фондов)
		50	Страхование, перестрахование и пенсионные фонды (за исключением обязательного соцстрахования)
		51	Вспомогательная деятельность в сфере финансов и страхования
12	Операции с недвижимостью	52	Операции с недвижимостью
13	Профессиональная, научная и техническая деятельность	53	Юридическая и бухгалтерская деятельность
		54	Деятельность головных компаний и консалтинг
		55	Архитектурная, инженерная деятельность и технические испытания
		56	Научные исследования и разработки
		57	Рекламная деятельность и маркетинговые исследования
		58	Прочая профессиональная, научная и техническая деятельность
		59	Ветеринарная деятельность
14	Административная и вспомогательная деятельность	60	Аренда, прокат, лизинг
		61	Деятельность в сфере трудоустройства
		62	Туроператоры, турагентства и прочие услуги в сфере туризма
		63	Охранная деятельность и расследования
		64	Обслуживание зданий и территорий
		65	Административная, управленческая и вспомогательная деятельность
15	Государственное управление и оборона; обязательное соцстрахование	66	Государственное управление и оборона; обязательное соцстрахование

16	Образование	67	Образование
17	Здравоохранение и социальная работа	68	Здравоохранение
		69	Социальные услуги
18	Искусство, развлечения и отдых	70	Искусство, развлечения и отдых
19	Прочие услуги	71	Прочие услуги
20	Деятельность домашних хозяйств по найму персонала и собственному потреблению	72	Услуги домашних хозяйств по найму персонала и производству товаров и услуг для собственного использования
21	Деятельность экстерриториальных организаций и органов		Растениеводство и животноводство, охота и предоставление услуг в этих областях

Приложение: 18 Соответствие 72-классификации и 68-классификации секторов экономики

72 Классификация секторов экономики		68 Классификация секторов экономики	
№ п/п	Описание	№ п/п	Описание
1	Растениеводство и животноводство, охота и предоставление услуг в этих областях	1	Сельское хозяйство, охота и сопутствующие услуги
2	Лесное хозяйство и лесозаготовки	2	Лесное хозяйство, лесозаготовки и сопутствующие услуги
3	Рыболовство и аквакультура	3	Рыбная продукция, аквакультура, вспомогательные услуги в рыболовстве
4	Добыча каменного и бурого угля	4	Каменный и бурый уголь
5	Добыча сырой нефти и природного газа	5	Сырая нефть
		6	Природный газ в жидком и газообразном состоянии
6	Добыча металлических руд	7	Железные руды
		8	Цветные металлы
7	Прочие отрасли горнодобывающей промышленности	9	Продукция горнодобывающей промышленности
8	Технические услуги в горнодобывающей промышленности	10	Вспомогательные услуги в горнодобывающей промышленности
9	Производство пищевых продуктов	11	Продукты питания, напитки
10	Производство напитков		—
11	Производство табачных изделий	12	Табачные изделия
12	Производство текстиля	13	Текстиль
13	Производство одежды	14	Одежда
14	Производство кожи и изделий из неё	15	Кожевенные изделия и изделия из кожи

15	Производство изделий из дерева и пробки (кроме мебели); изделий из соломы и материалов для плетения	16	Изделия из дерева и пробки (кроме мебели), изделия из соломы и плетёных материалов
16	Производство бумаги и бумажной продукции	17	Бумажные изделия
17	Полиграфия и воспроизведение записей	18	Полиграфические услуги
18	Производство коксовых продуктов	19	Продукция коксовых печей
19	Производство нефтепродуктов	20	Нефтепродукты
20	Производство химической продукции	21	Химическая продукция
21	Производство фармацевтической продукции	22	Фармацевтическая продукция и базовые препараты
22	Производство резиновых и пластмассовых изделий	23	Изделия из резины и пластмасс
23	Производство прочей неметаллической минеральной продукции	24	Прочая неметаллическая минеральная продукция
24	Металлургия	25	Основные черные металлы: железо, чугун, сталь и ферросплавы
		26	Трубы различных диаметров, полые профили и фитинги из нержавеющей стали
		27	Прочая стальная продукция первичной переработки
		28	Драгоценные металлы и прочие цветные металлы
		29	Литейное производство
25	Производство готовых металлических изделий (кроме машин и оборудования)	30	Металлоизделия (кроме машин и оборудования)
26	Производство компьютеров, электронной и оптической продукции	31	Компьютеры, электроника и оптическая продукция
27	Производство электрического оборудования	32	Электрооборудование
28	Производство машин и оборудования, не включённых в другие категории	33	Машины и оборудование (прочее)
29	Производство автотранспортных средств, прицепов и полуприцепов	34	Автомобили, прицепы и полуприцепы
30	Производство прочих транспортных средств	35	Прочие транспортные средства
31	Производство мебели	36	Мебель
32	Производство прочей готовой продукции	37	Прочие готовые изделия
33	Ремонт и установка машин и оборудования	38	Ремонт и установка машин и оборудования
34	Электроэнергия, газ, пар и кондиционирование	39	Производство и распределение электроэнергии
		40	Газ, распределение газа по трубопроводам
		41	Поставка пара и кондиционированного воздуха

35	Водоснабжение; водоотведение, управление отходами и рекультивация	42	Водоснабжение; водоотведение, услуги по управлению отходами
36	Строительство	43	Строительные работы
37	Оптовая и розничная торговля; ремонт автотранспорта	44	Оптовая и розничная торговля; ремонт автотранспорта
38	Оптовая торговля (кроме автотранспорта)	45	Оптовая торговля (кроме автотранспорта)
39	Розничная торговля (кроме автотранспорта)	46	Розничная торговля (кроме автотранспорта)
40	Наземный транспорт и трубопроводы	47	Наземный транспорт и трубопроводы
41	Водный транспорт	48	Водный транспорт
42	Воздушный транспорт	49	Воздушный транспорт
43	Складские и вспомогательные транспортные услуги	50	Складские и вспомогательные транспортные услуги
44	Почтовые и курьерские услуги	51	Почтовые и курьерские услуги
45	Услуги размещения	52	Услуги размещения
46	Услуги питания	53	Услуги общественного питания
47	Информационные услуги	54	Информационные услуги
48	Связь	55	Услуги связи
49	Финансовые услуги (за исключением страхования и пенсионных фондов)	56	Финансовые услуги (кроме страхования и пенсионных фондов)
50	Страхование, перестрахование и пенсионные фонды (кроме обязательного соцстрахования)	57	Страхование, перестрахование и пенсионные фонды (без обязательного соцстраха)
51	Финансовое посредничество и страхование	58	Вспомогательные услуги в сфере финансового посредничества и страхования
52	Операции с недвижимостью	59	Операции с недвижимостью
53	Юридическая и бухгалтерская деятельность	60	Профессиональные, научные и технические услуги
54	Деятельность головных компаний и консалтинг	—	—
55	Архитектурная, инженерная деятельность и технические испытания	—	—
56	Научные исследования и разработки	—	—
57	Рекламная деятельность и маркетинговые исследования	—	—
58	Прочая профессиональная, научная и техническая деятельность	—	—
59	Ветеринарная деятельность	—	—
60	Аренда, прокат, лизинг	61	Административная и вспомогательная деятельность
61	Занятость	—	—
62	Туризм и агентства	—	—
63	Охрана и расследования	—	—
64	Обслуживание зданий и территорий	—	—

65	Административная и управленческая деятельность	—	
66	Государственное управление и оборона	62	Государственное управление и оборона
67	Образование	63	Образование
68	Здравоохранение	64	Здравоохранение
69	Социальные услуги	65	Социальные услуги
70	Искусство, развлечения и отдых	66	Искусство, развлечения и отдых
71	Прочие услуги	67	Прочие услуги
72	Услуги домашних хозяйств	68	Услуги домашних хозяйств по найму персонала и производству товаров и услуг для собственного потребления

Приложение: 19 Уровень NUTS1 (регионы Казахстана)

№ п/п	Описание строки
1	Казахстан
2	Акмолинская область
3	Актюбинская область
4	Алматинская область
5	Атырауская область
6	Западно-Казахстанская область
7	Жамбылская область
8	Карагандинская область
9	Костанайская область
10	Кызылординская область
11	Мангистауская область
12	Павлодарская область
13	Северо-Казахстанская область
14	Южно-Казахстанская область
15	Восточно-Казахстанская область
16	Астана (Нур-Султан)
17	Город Алматы
18	Абайская область
19	Жетысуская область
20	Улытауская область
21	Шымкент

Приложение: 20 Валовой региональный продукт по отраслям экономики

№ п/п	Описание строки
1	Всего
2	Сельское, лесное хозяйство и рыболовство
3	Добыча полезных ископаемых
4	Обрабатывающая промышленность
5	Электроэнергия, газ, пар и кондиционирование
6	Водоснабжение; водоотведение и управление отходами
7	Строительство
8	Оптовая и розничная торговля; ремонт автотранспорта
9	Транспортировка и хранение
10	Размещение и питание
11	Информация и связь
12	Финансовая и страховая деятельность
13	Операции с недвижимостью
14	Профессиональная, научная и техническая деятельность
15	Административная и вспомогательная деятельность
16	Государственное управление и оборона; соцстрахование
17	Образование
18	Здравоохранение и социальные услуги
19	Искусство, развлечения и отдых
20	Прочие услуги
21	Чистые налоги