

## Разработана низкоуглеродная модель энергетического перехода и динамики ВВП



Разработана низкоуглеродная модель энергетического перехода и динамики ВВП и проведены пилотные расчеты и сценарии перехода к модели низкоуглеродной экономики для пяти стран (Дания, Португалия, Казахстан, Индия, Турция)

Парижским климатическим соглашением ООН, вступившим в силу 4 ноября 2016 г, поставлена задача удержания глобального потепления в пределах 1.5–2°C. Это возможно только при условии, если к 2040–2050 гг. будет осуществлён так называемый Великий энергетический переход от использования доминирующих в настоящее время ископаемых углеводородных видов топлива (угля, нефти и природного газа) к возобновляемым источникам энергии, когда их доля в общем энергобалансе достигнет 40% и выше.

Ситуация требует регулярного обновления стратегий для оптимизации путей развития.

В рамках этой работы среди важных научно-исследовательских задач реализации Мегагранта «Технологические вызовы и социально-экономическая трансформация в

условиях энергетических переходов» в 2022 г. в соответствии с Планом работ научного исследования обозначены следующие:

1. Определение целевых моделей экономики с учётом энергетического перехода (низкоуглеродной экономики);
2. Разработка, анализ и оценка сценария перехода к модели низкоуглеродной экономики;

Для этого исследовательской группой проведён системный анализ 18 основных сценариев энергетического перехода, в основе которых положены те или иные модели декарбонизации экономики и энергетических переходов. Все сценарии сходны в признании значительной роли водорода, ключевой роли электрификации конечного энергопотребления, важности роли возобновляемых источников энергии. Различия сценариев связаны с отношением к роли биоэнергетики и вариантов управления CO<sub>2</sub> (подземное хранение и использование CO<sub>2</sub> для производства материалов, топлива и т.д.), использованию УХУ (улавливание и хранение углерода) и биомассы, удалению диоксида углерода на основе изменения землепользования и лесного хозяйства.

Для описания энергоперехода используются следующие классы математических моделей:

Модели изменения климата (модель TIMES и её модификации).

Модели равновесия экономических систем (Computable general equilibrium - CGE) в контексте энергетической и экологической политики.

Модели системной динамики (System Dynamics Modeling).

Макроэкономический модуль в рамках более широкой модели системной динамики (MEDEAS).

Модели энергетического перехода в Германии с использованием обыкновенных дифференциальных уравнений и принципов системной динамики; (это многомерная модель диффузии, основанная на обыкновенных дифференциальных уравнениях, для исследования энергетического перехода в Германии и которая, в частности, способна оценивать динамические взаимозависимости между углем, газом и возобновляемыми источниками энергии на энергетическом рынке).

Модели перехода к возобновляемым источникам энергии с использованием rumedas, новой модели энергетических систем с открытым исходным кодом.

Модели энергетических переходов также разрабатываются российскими учеными - А.А. Макаров, Ю.А.Плаkitкин, А.М.Тарко.

Рассмотренные модели отличаются тем, что рыночные "проблемы" и другие факторы, определяющие поведение потребителей, в них не учитываются, и, п, а также действия

и реакции в рамках более широкого принятия решений

На этом основании научным коллективом разработаны теоретические основы для построения собственной низкоуглеродной математической модели энергетического перехода. Разработанная научным коллективом «Низкоуглеродная модель энергетического перехода и динамики ВВП» обладает следующими отличительными особенностями:

- её нелинейный и динамический характер;
- принцип стабилизации мирового душевого энергопотребления;
- симбиоз использования ядерной, водородной энергетики и ВИЭ как наиболее реальный сценарий осуществления глобального энергетического перехода;
- учет демографического фактора, как одного из ключевых, при определении сценариев энергетического перехода;
- учет технологий энергоэффективности при формировании сценариев декарбонизации.

На основе предложенной модели проведены пилотные расчеты и определены различные сценарии перехода к модели низкоуглеродной экономики, включая планирование снижения выбросов CO<sub>2</sub> на горизонте до 2100 года для пяти стран (Дания, Португалия, Казахстан, Турция, Индия). Выбор стран для верификации разработанной модели был осуществлен исходя из следующих соображений:

- они должны представлять разные географические регионы и находиться в разной степени зависимости от поставок российских энергоносителей;
- каждая страна должна иметь свою собственную стратегию декарбонизации;
- в энергобалансе этих стран должна быть разная композиционная составляющая по первичным источникам энергии в энергетическом балансе;
- наличие разной регуляторной базы для реализации программ декарбонизации.

Дания и Португалия, являясь членами Евросоюза, подчиняют свои стратегии декарбонизации генеральным решениям Евросоюза. Турция самостоятельно формирует свою энергетическую стратегию, но зависит от внешних поставок энергоносителей (Россия, Казахстан, Азербайджан). Индия не зависит от поставок российских энергоносителей, большую роль в первичном энергопотреблении играет биомасса, а вся электроэнергия производится за счет использования угля. Казахстан полностью обеспечен собственными источниками энергии, но около 75% электроэнергии производится за счет угля.

В результате проведенной работы получены следующие выводы:

Глобальный энергетический переход от доминирующих в настоящее время ископаемых углеводородов к преимущественному использованию ВИЭ, когда их доля в общем энергобалансе превысит 40%, может состояться в 2060-е годы, но только при следующих условиях:

**в случае реализации амбициозного сценария** распространения возобновляемых источников энергии REmapCase от IRENA и энергетического сценария Unfinished Symphony от МИРЭС, связанного **с развитием АЭС**.

При этом **доля ядерной энергетики** в общем энергобалансе должна увеличиться с нынешних 4.9 **до 13.5%**.

Только **симбиоз ВИЭ и АЭС** с ядерными реакторами малой и средней мощности последнего поколения позволит в достаточной мере вытеснить и заместить углеводороды для достижения климатической безопасности, не нанося ущерба экономике.

Без динамичного развития ядерной энергетики как низкоуглеродного источника генерации, обеспечивающего базовые и пиковые потребности, необходимые для создания стабильной и устойчивой энергосистемы, глобальный энергопереход невозможен.

Подход к моделированию энергоперехода, а также разработанные на его основе сценарии для отдельных стран, предложенные научным коллективом проекта, будут доложены и обсуждены на следующих мероприятиях:

Совместном казахстанско-российском семинаре «Технологические и экономические барьеры декарбонизации экономики», 19-20 сентября 2022 г., Астана, Казахстан;

Международной конференции «Модели, сценарии, материалы и технологии для зеленого перехода» (Green Transition Landscape: models, scenarios, materials and technologies) (GT-2022)), 13-14 декабря 2022 г., Санкт-Петербург, РФ;

а также будут обсуждены и уточнены со специалистами в вопросах энергоперехода в рамках прохождения обучения членами научного коллектива по теме «Технологические, социальные и экономические факторы развития энергетики в условиях энергетических переходов», 28 ноября – 9 декабря 2022 г.