

## ПРОГНОЗЫ ЭНЕРГОБАЛАНСА И ВЫБРОСОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ НА МОДЕЛИ RU-TIMES ДО 2050 ГОДА

О.Луговой, научный руководитель Центра экономического моделирования энергетики и экологии, РАНХиГС,

В.Поташников, с.н.с., РАНХиГС,

Д.Гордеев, н.с., РАНХиГС

### 1. Модель RU-TIMES

TIMES (The Integrated MARKAL-EFOM System)<sup>1</sup> представляет собой систему экономического моделирования и долгосрочного планирования энергетических систем на уровне технологических процессов. Теоретическая структура модели была разработана в рамках программы Международного Энергетического Агентства<sup>2</sup>. Данная система широко используется для анализа и планирования национальных, отраслевых, региональных энергетических систем.

Модель в системе TIMES для России (RU-TIMES) была разработана Центром экономического моделирования энергетики и экологии Института прикладных экономических исследований РАНХиГС при Президенте РФ в рамках Госзадания за 2013 г. В модель входят сектора – основные производители и потребители энергии: электроэнергетика, цветная и черная металлургия, транспорт (все основные виды), производств Runo цемента, ЖКХ, химия и нефтехимия, домохозяйства, коммерческий сектор, внешняя торговля энергоресурсами. Для каждого сектора и вида продукции в модели экзогенно задается банк технологий для их производства.

С экономической точки зрения, TIMES является моделью частичного равновесия, описывает лишь часть экономической системы – энергетический сектор. В качестве экзогенных параметров задаются спрос на основные виды конечной продукции (производная от экономического роста), а также цены и объемы имеющихся первичных энергетических ресурсов, включая возобновляемые источники энергии, мировые и внутренние цены на первичные энергоресурсы. Результатом решения модели является рекомендуемая технологическая структура производства, выбранная на основе минимальных издержек. Темпы экономического роста являются ключевой предпосылкой модели, определяя динамику спроса на конечные виды продукции. Ниже приводятся подробные результаты расчетов для сценария «средних» темпов экономического роста (см. *Раздел 2*). Сценарии «высоких» и «низких» темпов экономического роста рассматриваются в разделе анализа чувствительности результатов к предпосылкам.

Также были рассмотрены четыре сценария экономической политики, имеющие следующие предпосылки:

**BASE** – предположение, что инвестиции в расширение производства и обновление оборудования будут делаться только в технологии, используемые в экономике в настоящий момент времени. Новые, более энергоэффективные технологии недоступны. Сценарий используется для демонстрации потенциала роста энергоэффективности при сравнении со сценарием BAU;

**BAU** («Business as Usual») – сценарий минимальных издержек при возможности инвестиционного выбора между существующими и более совершенными современными технологиями производства (например, газотурбинные электростанции, супер-критические технологии сжигания угля, гибридные автомобили, и др.);

**CAP50** – сценарий ограничений и торговли выбросами парниковых газов (CAP & Trade) со снижением -50% к 2050 г. относительно уровня 1990 г.;

**CAP75** – сценарий ограничений и торговли выбросами парниковых газов (CAP & Trade) со снижением -75% к 2050 г. относительно уровня 1990 г.

1 Подробнее о системе TIMES см.: <http://www.iea-etsap.org/web/Times.asp>

2 Energy Technology Systems Analysis Program (ETSAP), <http://www.iea-etsap.org/>

## 2. Результаты моделирования

На Рис. 1 представлена динамика эмиссии парниковых газов по рассмотренным сценариям экономической политики для «средних» темпов экономического роста. Отметим, что сценарий BASE является искусственным. Его цель – показать потенциал энергосбережения за счет перехода на новые доступные технологии. Очевидно, что при обновлении основных средств и расширении производства инвестиции будут направляться в наиболее современные доступные технологии, являющиеся более эффективными, что представлено сценарием BAU. Другими словами, сценарий BASE отражает ситуацию отсутствия технического прогресса.

Как видно из рис. 1, уровень эмиссии в сценарии BASE значительно превышает эмиссию в BAU и достигает уровня эмиссии 1990 г. после 2035 г. В сценарии BAU динамика роста эмиссии не столь значительная, а начиная с 2030 г. эмиссия несколько снижается. Сравнение сценариев BASE и BAU демонстрирует влияние постепенного обновления основных фондов на

энергоэффективность и эмиссию парниковых газов.

Сценарий BAU также является сценарием минимальных издержек. Он описывает инвестиционные решения бизнеса в условиях совершенной конкуренции и полной информации. Отметим, что сценарий BAU не гарантирован к исполнению. Для его осуществления необходима конкурентная среда и довольно длинный горизонт планирования.

Сценарии CAP50 и CAP75 имеют ограничения на выбросы с принудительным сокращением до уровня 50% и 25% от значения 1990 г. соответственно. Существует множество возможностей и решений достижения заданного сокращения выбросов. Поскольку оптимальный по издержкам рост энергоэффективности уже учтен в сценарии BAU, для дальнейшего сокращения нужно либо использовать более дорогие технологии, либо переключаться на другие виды топлива и источники энергии, также являющиеся относительно более дорогими.

На Рис. 2 представлена структура топливного балан-

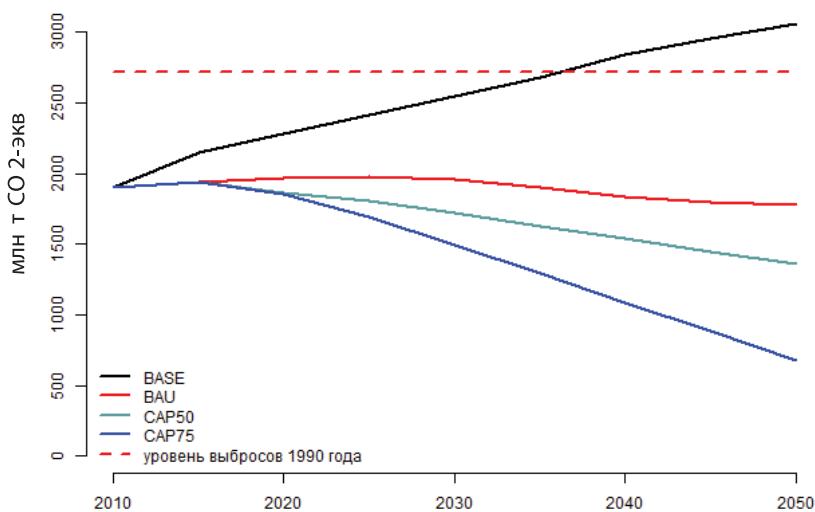


Рис. 1. Динамика выбросов парниковых газов по сценариям

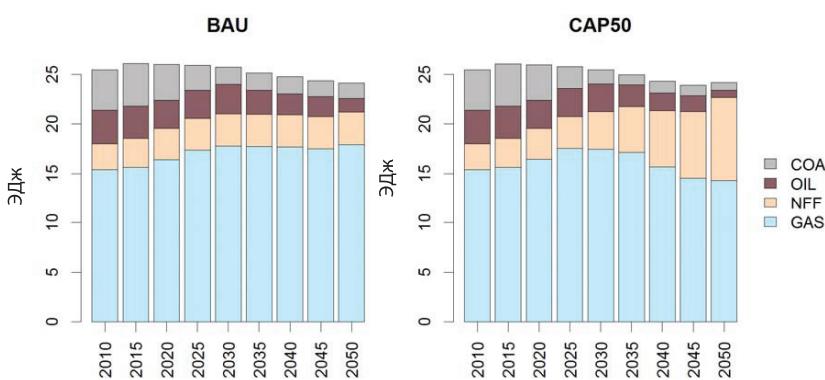


Рис. 2. Прогнозная структура энергобаланса в сценариях BAU и CAP50

**Примечание.** Обозначения основных видов энергоносителей и источников энергии: COA – уголь; OIL – нефть и нефтепродукты; GAS – газ (включая природный газ, попутный нефтяной газ, шахтный метан); HYD – гидроэнергетика (крупные гидроэлектростанции); NUC – атомная энергетика; REN – возобновляемые источники (геотермальная энергетика, ветроэнергетика, солнечная энергетика, малые гидроэлектростанции, приливная энергетика и энергия океанов, биозаводы); NFF – неископаемые виды топлива (группа из HYD, NUC, REN)<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Далее в тексте на Рис. 3–5 мы будем придерживаться таких же обозначений.

са в сценариях CAP50 и BAU. Общий объем потребления топлива примерно одинаков в обоих сценариях. Однако для достижения сокращения требуется заметное увеличение доли неископаемых видов топлива в энергобалансе после 2030 г.

Как показано на Рис. 3, такое расширение может быть осуществлено за счет роста возобновляемых источников и атомной энергетики (к 2050 г.). Дальнейшее сокращение до 25% от уровня 1990 г. требует еще большую долю альтернативных ископаемым видам топлива в энергобалансе (см. Рис. 4). Увеличение может быть осуществлено либо за счет возобновляемых источников (ветро-, солнечная-, гео-, гидро-, приливная-, биоэнергетика), либо атомной энергетики. Вопрос о том, какой из этих видов является наиболее конкурентоспособным, должен решаться отдельно. Международный опыт показывает, что все эти виды могут быть конкурентоспособны. К сожалению, в России реальная практика в этой сфере сильно отстает, несмотря на значительный потенциал для развития.

Еще одной возможностью для сокращения эмиссии является технология улавливания и секвестрирования/захоронения углерода (Carbon Capture and Sequestration/Storage). В отличие от энергосбережения и переключения на другие виды топлива и источники энергии данная технология направлена на непосредственное улавливание выбросов  $\text{CO}_2$  и их за-

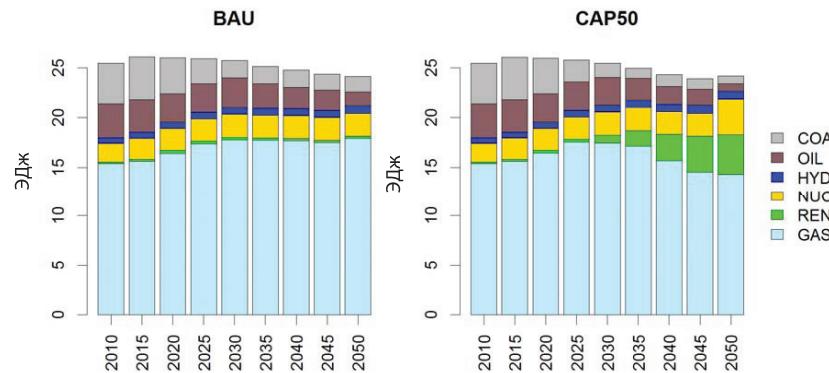


Рис. 3. Прогнозная структура энергобаланса в сценариях BAU и CAP50 с возможной детализацией по группе неископаемых видов топлива

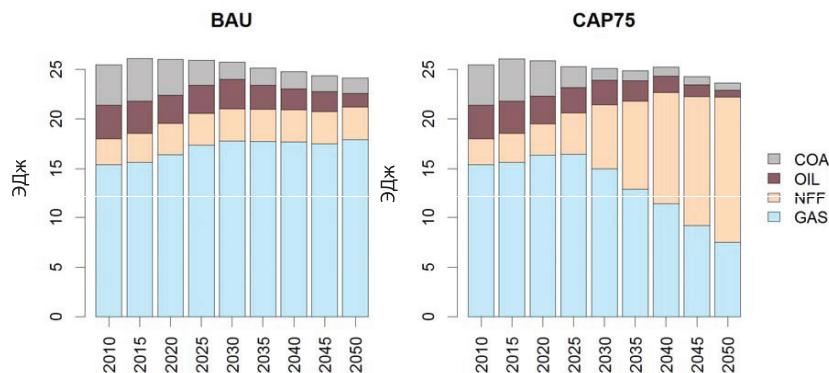


Рис. 4. Прогнозная структура энергобаланса в сценариях BAU и CAP75

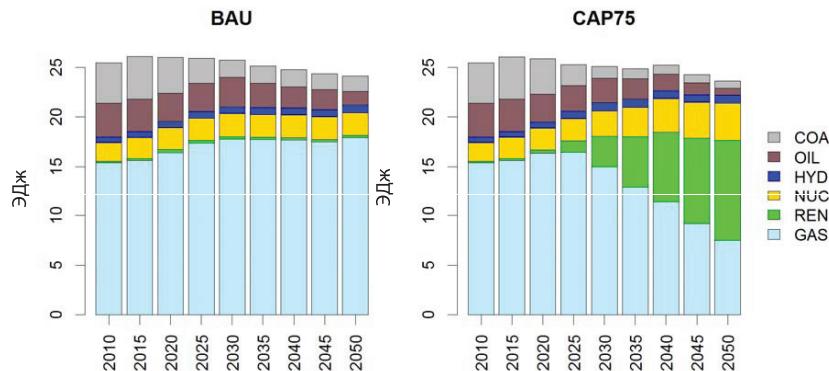


Рис. 5. Прогнозная структура энергобаланса в сценариях BAU и CAP75 с возможной детализацией по группе неископаемых видов топлива

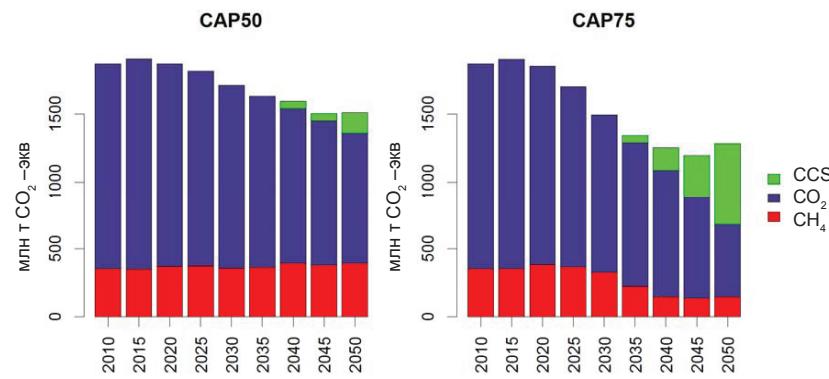


Рис. 6. Структура эмиссии и использование CCS в сценариях с регулированием выбросов

хоронение. Технология является затратной и увеличивает потребление топлива. Вместе с тем, Международное энергетическое агентство прогнозирует значительное распространение этой технологии после 2030 г. и практически 100%-ное использование CCS на тепловых угольных и газовых электростанциях, а также в ряде отраслей промышленности к 2050 г. Отметим, что ее использование целесообразно лишь при существовании регулирования выбросов CO<sub>2</sub>, что подразумевается в сценариях CAP50 и CAP75. На Рис. 6 представлен вариант распространения технологии в случае сдержанного развития возобновляемой энергетики.

### 3. Анализ чувствительности результатов к предпосылкам

С целью проверки устойчивости полученных результатов был проведен анализ чувствительности – «Монте-Карло» эксперимент, – в процессе которого случайным образом изменялись параметры экономического роста («драйверы спроса») в диапазоне ±20% к 2050 г. от среднего (базового) уровня и динамика мировых и внутренних цен на энергоносители (от -50% до +50% к базовому уровню ввиду высокой неопределенности и волатильности). Результаты анализа

для эмиссии парниковых газов приведены на Рис. 7.

Верхняя и нижняя границы прогнозов демонстрируют возможный диапазон оптимальных инвестиционных решений при различных параметрах экономического роста и цен на первичные энергоресурсы.

Существующий разброс говорит о пределах нашего знания об оптимальной траектории выбросов, когда мы не обладаем строгим знанием о необходимых предпосылках. Отметим, что ни при каких из рассмотренных условий экономического роста и цен на энергоресурсы достижения уровня выбросов 1990 г. не происходит. Это во многом связано со значительным неиспользованным ростом энергоэффективности, который остается экономически целесообразным.

### 4. Предельные издержки сокращения

Потенциал сокращения выбросов сложно обсуждать отдельно от издержек. На Рис. 8 приводится оценка предельных издержек сокращения выбросов МАСС (Marginal

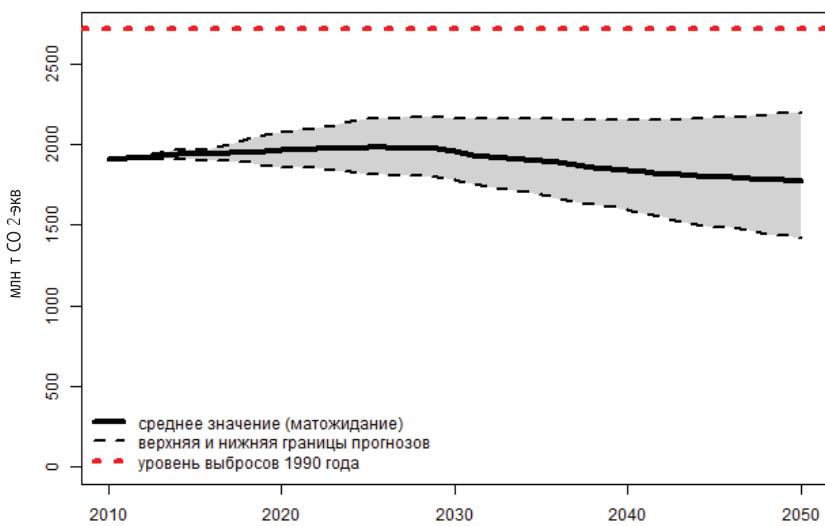


Рис. 7. Диапазон «оптимального» колебания выбросов парниковых газов

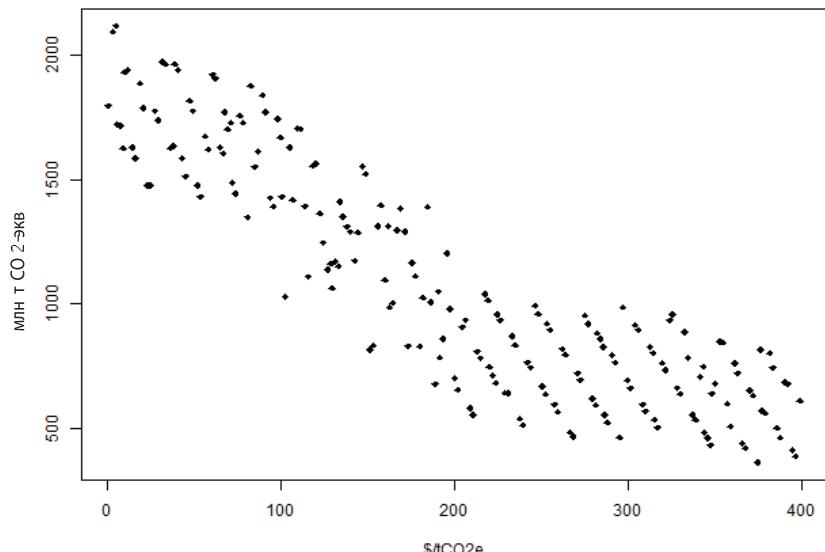


Рис. 8. Оценка предельных издержек сокращения выбросов ПГ к 2050 г. относительно сценария BAU

Abatement Cost Curve), рассчитанная на основе введения различных уровней налога на углерод. Кривая показывает, какими будут выбросы (вертикальная ось) для определенного уровня налога на 1 т СО<sub>2</sub>-экв. (горизонтальная ось). Разброс точек по вертикали является результатом анализа чувствительности, описанного выше.

В соответствии с полученными оценками при уровне налога в 100 долл. за 1 тонну СО<sub>2</sub> можно ожидать снижение выбросов примерно до 50% к 2050 г. Если цена достигнет 200 долл./т СО<sub>2</sub>, то можно ожидать еще двукратного сокращения.

Отметим, что в модели учтены далеко не все возможности сокращения выбросов. Например, позиция по возобновляемым источникам должна быть уточнена. Развитие атомной энергетики и крупных гидроэлектростанций ограничивалось ввиду высокой экологической нагрузки, рисков, социальных проблем.

### 5. Выводы

По результатам расчетов, следует ожидать стабилизации выбросов ПГ на текущем уровне. Связано это с большим неиспользованным потенциалом энергоэффективности. Постепенное обновление устаревших основных фондов приведет к тому, что, несмотря на существенный заложенный рост экономики, выбросы парниковых газов в сценарии BAU (без какой-либо климатической политики) практически не растут. Рост эффективности происходит со стороны как предложения, так и спроса на энергоресурсы. Такая модернизация является экономически эффективной, а связанное с ней снижение выбросов не требует дополнительных затрат.

Существенным фактором, сдерживающим рост выбросов ПГ, является увеличение доли некипаемых источников энергии в энергобалансе. В рассмотренных сценариях использовались целевые параметры Энергостратегии 2030 роста атомной энергетики и доли возобновляемых источников. Отметим, что рост атомной энергетики является довольно амбициозным, тогда как доля возобновляемой энергии сильно отстает от прогнозов в других странах.

Со стороны предложения электроэнергетика обладает наибольшим потенциалом сокращения выбросов ПГ. Связано это с более широким спектром технологий, позволяющих либо переключиться с некипаемых видов топлива на альтернативные (атом, гидро-, возобновляемые источники), а также с существующими технологиями улавливания и захоронения двуокиси углерода (CCS). При установленных лимитах на атомную энергию и возобновляемую генерацию технология CCS востребована начиная с 2030 г. в сценариях сокращения на 50 и 75% относительно 1990 г.

Анализ чувствительности результатов к ряду предпосылок (темперы экономического роста, цены на первичные энергоресурсы) говорит об устойчивости результатов. Диапазон колебания выбросов дает оценку пределам нашего незнания. При этом верхняя граница не достигает уровня выбросов 1990 г., что говорит о том, что этот рубеж вряд ли когда-либо опять будет пройден.

Предельная стоимость сокращения эмиссии парниковых газов в значительной степени зависит от горизонта планирования. Более четкие сигналы для бизнеса относительно климатической политики позволяют значительно снизить издержки от сокращения эмиссии парниковых газов в будущем за счет инвестиционных решений, принятых в условиях определенности. Сокращение выбросов на 50% к 2050 г. требует цены на тонну СО<sub>2</sub> примерно в 100 долларов. Данная оценка не учитывает возможные сопутствующие выгоды от использования инвестиций в энергосберегающее оборудование. Также полностью не учтен потенциал возобновляемых источников, требующий дополнительного исследования.