

ПРОГНОЗ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИКИ РОССИИ ДО 2050 ГОДА

В. Поташников, с.н.с., РАНХиГС

В первой части статьи приведен сценарий «Бизнес как есть» (BAU) с кратким описанием методологии и основных результатов. Во второй части представлены результаты анализа чувствительности к основным предпосылкам модели: конечному спросу, издержкам добычи ископаемого топлива, технических и экономических параметров технологий генерации электроэнергии. Результатом анализа является оценка распределения первичного потребления основных видов топлива, генерации электроэнергии в целом и солнечной и ветровой электроэнергии. Для проверки устойчивости секторов добычи ископаемых видов топлива к принятию мер по борьбе с изменением климата был проведен второй анализ чувствительности с теми же самими условиями, но с введением минимального налога на эмиссию в 1 \$/CO₂. Налог можно интерпретировать как минимальную плату за риски, связанные с неопределенностью бизнеса к возможным мерам, которые будут приниматься для предотвращения изменения климата. В этом случае сектора добычи, более устойчивые к рискам применения мер предотвращения изменения климата, меньше снизят добычу.

Для корректного прогнозирования топливно-энергетического комплекса (ТЭК) со сложными внутренними технологическими связями существует несколько возможных подходов, которые условно можно разделить на эконометрические оценки и прогнозы на основе моделей общего и частичного равновесия. Использование эконометрических оценок затруднено из-за необходимости интеграции технологических изменений в энергетике, которые еще не представлены в данных. Например, остается открытым вопрос, как осуществить прогноз развития солнечной и ветровой энергетики и их влияния на экономику, – отраслей, которые, вероятно, будут играть существенную роль в энергетическом будущем России, но практически отсутствуют на текущий момент. Корректное моделирование ТЭК моделями общего равновесия затруднено, с одной стороны, из-за ограничений, накладываемых современными методами оптимизации, и с другой – сложной технологической структурой ТЭК, плохо поддающейся агрегации. Как следствие, часто в таких работах используются агрегированные гнездовые энергетические функции с постоянной эластичностью, использование которых часто приводит либо к неадекватным с физической точки зрения результатам, включая нарушение закона сохранения энергии, либо к излишней жесткой системе, исключаяющей значительные изменения в энергетике, которые, вероятно, произойдут в будущем, по причинам, описанным выше. Использование моделей частичного равновесия репрезентативной энергетической системы (РЭС) позволяет корректно моделировать ТЭК при условии известного конечного спроса. Необходимость задания конечного спроса может быть излишне жесткой предпосылкой из-за наличия обратной связи между производственной функцией ТЭК и конечным спросом. Применение анализа чувствительности по ключевым предпосылкам, результатом которого является построение распределения вместо точечной оценки, позволяет частично сгладить жесткую предпосылку о фиксированном конечном спросе.

Сценарий «Бизнес как есть» (BAU)

В этой части приведены основные результаты сценария BAU, построенного с помощью региональной модели РУТАЙМС – репрезентативных энергетических систем (РЭС), которая описана в статьях

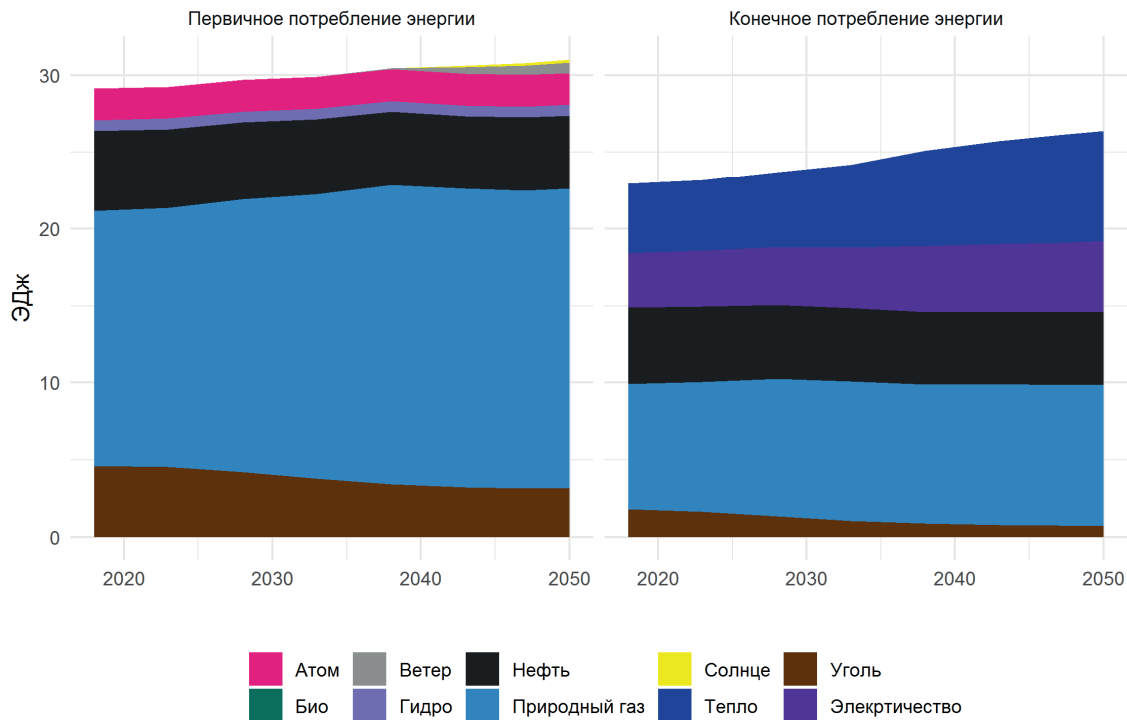


Рис. 1. Первичное и конечное потребление энергии в сценарии BAU

Поташникова, Лугового, Логиновой (2008) и др.¹ Модель реализована в пакете energyRt², написанном на пакете языка R³, и решением линейной задачи оптимизации, выполняемой программой GAMS⁴. В отличие от статьи Поташникова, Лугового, Логиновой (2008) в модели были лучше учтены потери электроэнергии домохозяйств, обновлен список технологий генерации электроэнергии, включая новые данные⁵, скорректированы технические параметры работы ВИЭ. В работе использовались консервативные оценки потенциала и экономических издержек солнечной и ветровой энергетики, чтобы исключить вопросы, связанные с балансировкой энергосистемы с большой долей солнца и ветра.

На рис. 1 показано первичное и конечное потребление энергии в сценарии BAU. К основным выводам следует отнести рост первичного потребления природного газа на 17%, и снижение потребления нефти, и угля на 8% и 30% соответ-

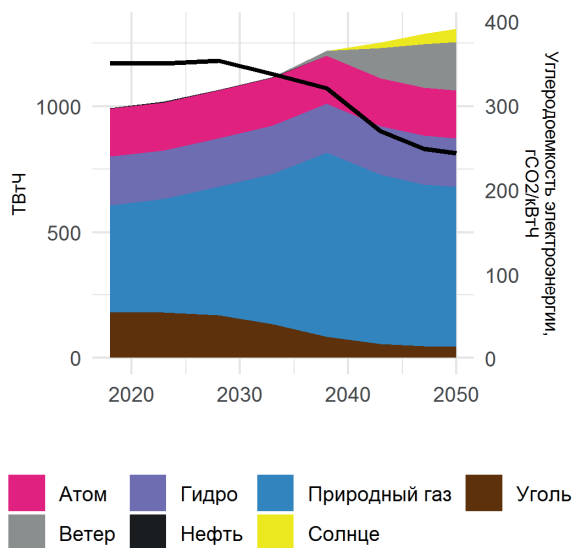


Рис. 2. Генерация электроэнергии по видам источников и средняя углеродоемкость электроэнергии в сценарии BAU

¹ См.: В. Поташников, О. Луговой, А. Логинова. Роль возобновляемых источников энергии в выполнении целей INDC и сценариях низкоуглеродного развития // Научный вестник ИЭП им. Гайдара.ру 12/2008; Steve Pye, Christophe McGlade, Chris Bataille, Gabriel Anandarajah, Amandine Denis-Ryan & Vladimir Potashnikov. Exploring National Decarbonization Pathways and Global Energy Trade Flows: A Multi-Scale Analysis // Climate Policy Vol. 16, No.1, 2016. P. 92-109; Jeffrey Sachs L.T. Pathways to Deep Decarbonization: 2014 Report. 2014; Луговой О.В., Поташников В.Ю. Прогнозы энергобаланса и выбросов парниковых газов на модели RU-TIMES до 2050 года // Научный вестник ИЭП им. Гайдара.ру. 5/2014.

² energyRt // energyRt: [сайт]. URL: <http://olugovoy.github.io/energyRt/>

³ <https://www.r-project.org/>

⁴ <https://www.gams.com/>

⁵ Lazard's Levelized Cost of Energy Analysis – Version 12.0.; IEA. The Energy Technology Systems Analysis Program (ETSAP).

ственно. Внешний спрос на ископаемые топлива России (экспорт) снижается, в основном за счет нефти, при росте спроса на природный газ. Конечное потребление энергии растет на 15% за счет увеличения на четверть генерации электроэнергии и природного газа на 10%, и снижения потребления угля вдвое.

На рис. 2 показана генерация электроэнергии по видам источников и средняя углеродоемкость электроэнергии. В сценарии BAU генерация электроэнергии на угле снижается, а на природном газе растет до 2040 г. После 2040 г. генерация электроэнергии природным газом вытесняется солнечной и ветровой электроэнергией, доля которой достигает 19%. Оценку доли электроэнергии солнца и ветра с учетом используемых предпосылок следует считать консервативной, она не требует дополнительных существенных затрат на балансировку. На протяжении всего периода средняя углеродоемкость генерации электроэнергии снижается.

Анализ чувствительности полученных результатов

Для проверки устойчивости полученных результатов к критически важным предпосылкам проведен анализ чувствительности сценария BAU к ценам на энергоресурсы, инвестиционные издержки и конечный спрос. Цены на энергоресурсы, инвестиционные издержки и изменение конечного спроса умножались на случайную величину $\sim \ln N(0, 0.1)$ (95% значений содержатся в интервале (.082, 1.22)). В каждом состоянии мира для каждого вида топлива, для инвестиционных издержек и роста конечного спроса генерировался свой коэффициент (всего 5 коэффициентов на каждое состояние мира).

На рис. 3 показаны доверительные множества добычи ископаемых топлив (уголь, природный газ, нефть) и генерации электроэнергии при анализе чувствительности сценария BAU.

Наиболее вероятно, что добыча угля и нефти снизится при росте добычи природного газа и генерации угля. В проведенном эксперименте в 83% случаев добыча угля снижается.

На рис. 4 показаны доверительные множества генерации электроэнергии солнечной и ветровой энергетикой при анализе чувствительности сценария BAU. Вероятно, активная фаза внедрения солнечной и ветровой энергетикой в России произойдет после 2030 г., в первую очередь за счет развития ветровой энергетикой. При использовании более оптимистичных оценок потенциала и экономических параметров солнечной и ветровой электроэнергетики фаза активной постройки солнечных и ветровых электростанций происходит раньше. Доля солнечной и ветровой энергетикой в генерации электроэнергии с вероятностью 95% может составить от 8% до 31% в 2050 г.

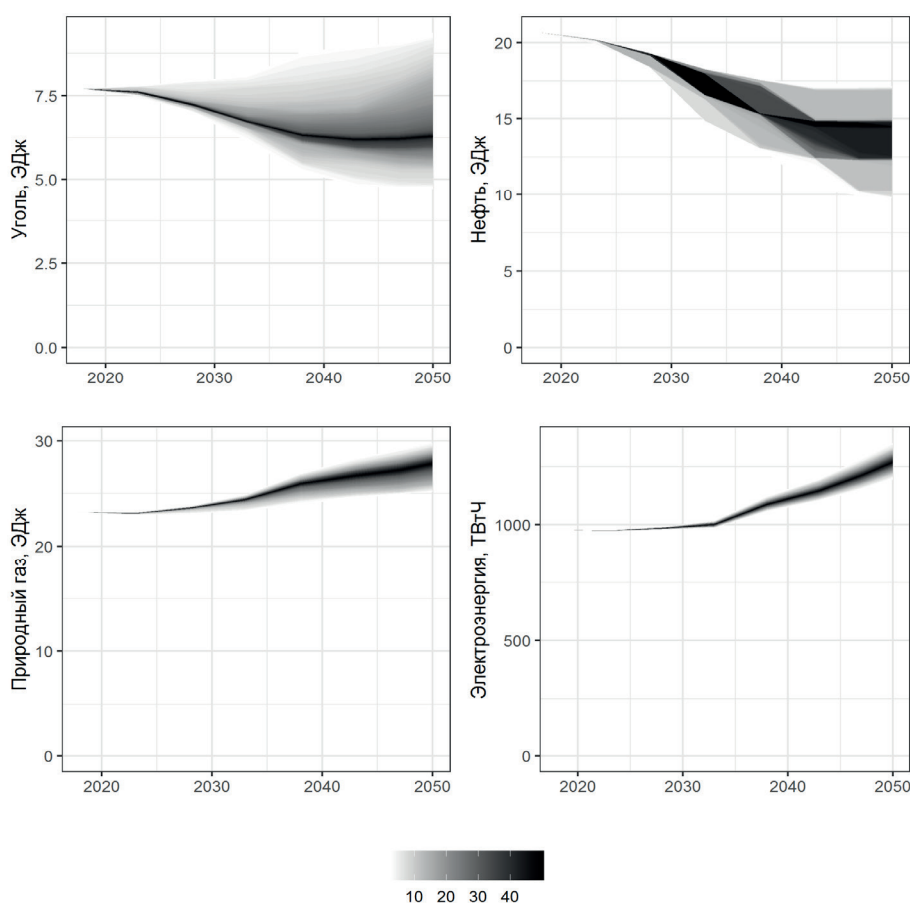


Рис. 3. Доверительные множества добычи ископаемых топлив (уголь, природный газ, нефть) и генерации электроэнергии при анализе чувствительности сценария BAU

Для проверки устойчивости секторов добычи ископаемых видов топлив к принятию мер по борьбе с изменением климата было проведено сравнение осуществленных вычислений с расчетами с введением минимального налога на эмиссию в 1 \$/CO₂. Налог можно интерпретировать как минимальную плату за риски, связанные с неопределенностью бизнеса в результате возможного применения мер для предотвращения изменения климата. На рис. 5 представлена гистограмма изменения первичного потребления ископаемых видов топлив с 2020 по 2050 гг.

Меньше всего налог влияет на добычу нефти, что соответствует интуиции, так как нефть самый дорогой из рассмотренных источников энергии и налог вносит наименьший вклад в конечную цену топлива. Уголь наиболее грязный и наиболее дешевый источник энергии, добыча которого сильнее всего снижается. На природный газ влияют два разнонаправленных фактора: сокращение добычи из-за введения налога и, как следствие, снижение цены, и фактор увеличения добычи для замещения угля.

* * *

Выявление основных тенденций ТЭК России является сложной, но важной задачей из-за доли ТЭК в российской экономике. К основным выводам из проведенного анализа следует отнести неустойчивость добычи угля к рискам введения мер по борьбе с изменением климата. Даже введение минимального налога на эмиссию в 1 \$/CO₂ (который можно интерпретировать как минимальную плату за риски, связанные с неопределенностью бизнеса в результате возможного применения мер для предотвращения изменения климата) может, при прочих равных, существенно снизить добычу угля в период с 2020 по 2050 гг. Добыча природного газа как альтернатива углю, наоборот, может вырасти.

При консервативных оценках потенциала солнечной и ветровой энергетики доля генерации электроэнергии этими источниками с вероятностью 95% может составить от 8% до 31%, а их активное внедрение начнется после 2030 г. При использовании более оптимистичных оценок потенциала и экономических издержек фаза активной постройки солнечных и ветровых электростанций происходит раньше. ▀

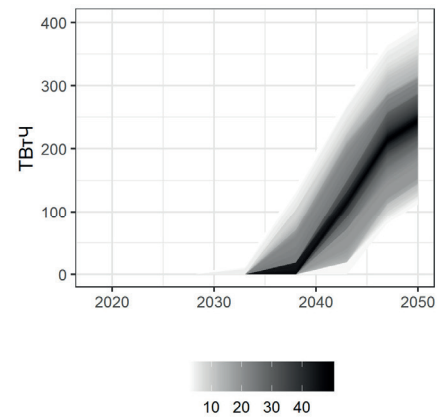


Рис. 4. Доверительные множества генерации электроэнергии солнечной и ветровой энергетикой при анализе чувствительности сценария BAU

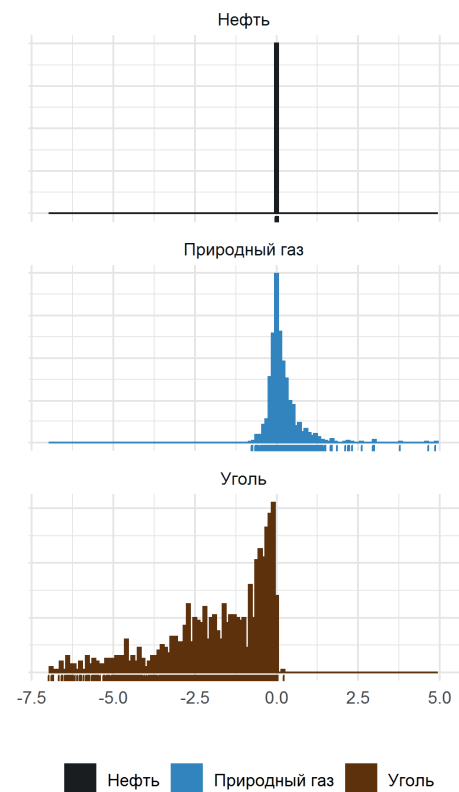


Рис. 5. Изменение первичного потребления ископаемых видов топлив с 2020 по 2050 гг., %