

## ПОДХОДЫ К ФОРМИРОВАНИЮ ПРОГНОЗОВ РАЗВИТИЯ ТЭК РОССИИ КАК СОСТАВНОЙ ЧАСТИ СЦЕНАРИЕВ ДЕКАРБОНИЗАЦИИ ЭКОНОМИКИ СТРАНЫ\*

**ФИЛИППОВ Сергей Петрович**, академик РАН, д.т.н., fil\_sp@mail.ru, Институт энергетических исследований, Российская академия наук, Москва, Россия

ORCID: 0000-0001-5014-174X, Scopus Author ID: 7006004634

**ВЕСЕЛОВ Федор Вадимович**, к.э.н., erifedor@mail.ru, Институт энергетических исследований, Российская академия наук, Москва, Россия

ORCID: 0000-0003-3912-9154, Scopus Author ID: 6504617502

**КЕЙКО Александр Владимирович**, д.т.н., a.keiko@eriras.ru, Институт энергетических исследований, Российская академия наук, Москва, Россия

ORCID: 0000-0001-6982-8154, Scopus Author ID: 8356022800

**ХОРШЕВ Андрей Александрович**, к.э.н., epos@eriras.ru, Институт энергетических исследований, Российская академия наук, Москва, Россия

ORCID: 0000-0002-8089-6171, Scopus Author ID: 36940954600

*В статье рассматриваются актуальные вопросы создания целостной прогностической системы для обоснования сценариев декарбонизации экономики страны, интегрирующей макроэкономические прогнозы с параметрами развития энергетики и учитывающей динамику тенденций в мировой экономике и энергетике. Основное внимание уделяется задачам прогноза энергетики в контексте декарбонизации экономики и структуре соответствующего прогностического модуля. Проанализирован зарубежный опыт организации подобной прогностической деятельности. Предложена структура модуля прогноза энергетики России с учетом имеющихся научных заделов и модельного инструментария. В составе модуля выделяются расчетные блоки: спроса на топливно-энергетические ресурсы, оптимизации развития и технологической структуры ТЭК и его отраслей, оценки экономических параметров развития энергетики; обеспечивающие блоки: технологической информации, координации результатов расчетов. Предложена схема взаимодействия блоков по этапам решения прогностических задач для оперативного согласования прогностических параметров топливно-энергетического и межотраслевого балансов страны и для более детальной проработки технологической и региональной структуры и финансово-экономической оценки по отраслям ТЭК.*

*Ключевые слова:* энергетика, топливно-энергетические ресурсы, парниковые газы, декарбонизация, прогнозирование, моделирование, модельно-информационный комплекс.

DOI: 10.47711/0868-6351-201-67-78

**Роль прогнозов энергетики в формировании сценариев декарбонизации экономики.** Топливо-энергетический комплекс (ТЭК) занимает важное место в структуре экономики России, обеспечивая надежное энергоснабжение внутренних потребителей, формируя значительный объем экспортной выручки от поставок топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) на мировые рынки и налоговых поступлений, поддерживая и создавая миллионы рабочих мест. Энергетика является крупным рынком для высокотехнологичной, инновационной отечественной продукции. Инвестиции в технологическое обновление ТЭК формируют мощные мультипликативные эффекты для промышленности и строительного комплекса.

---

\* Статья подготовлена при поддержке гранта в форме субсидий из федерального бюджета на выполнение научных исследований и работ в рамках реализации инновационного проекта «Единая национальная система мониторинга климатически активных веществ» (соглашение о предоставлении из федерального бюджета грантов в форме субсидий в соответствии с пунктом 4 статьи 78.1 Бюджетного кодекса Российской Федерации от 01.03.2023 № 139-15-2023-003).

Климатическая повестка в XXI веке все более активно влияет на стратегии развития мировой экономики и экономики России. В рамках Киотского протокола развитыми странами впервые были приняты количественные обязательства по ограничению объемов эмиссии парниковых газов (ПГ). В рамках Парижского соглашения подобные обязательства (в разной форме) уже были объявлены большинством стран мира. Более того, все больше государств ставят перед собой амбициозные цели по достижению углеродной нейтральности на горизонте 2050-2070 гг., в том числе за счет резкого сокращения физического объема выбросов ПГ.

Роль энергетики в достижении этих целей – ключевая, поскольку в России (как и в большинстве стран мира), основной объем антропогенной эмиссии ПГ обусловлен энергетическим использованием разных видов органического топлива, включая их преобразование в электрическую и тепловую энергию, а также фугитивными выбросами при его добыче и транспортировке. Сдерживание роста или сокращение объемов эмиссии ПГ в энергетике обеспечивается за счет совместного использования потенциалов:

- повышения энергетической эффективности (снижения удельных расходов и потерь энергии) при добыче, преобразовании, транспорте и конечном потреблении ТЭР;
- замещения органического топлива безуглеродными первичными ресурсами (атомная, гидроэнергия, энергия прочих возобновляемых источников) и энергоносителями (электроэнергия, водород, аммиак, метанол);
- улавливания CO<sub>2</sub> при сжигании органического топлива, его захоронения или последующего полезного использования.

Процессы декарбонизации в энергетическом секторе уже идут, и наиболее активно – в развитых странах, где сложилась устойчивая тенденция снижения суммарных выбросов CO<sub>2</sub> от сжигания топлива. Еще более интенсивно это снижение происходит в электроэнергетике названных стран [1].

Стратегическое планирование с учетом целей по декарбонизации национальной экономики требует гораздо более тесной интеграции между макроэкономическими и энергетическими прогнозами. Декарбонизация экономики неизбежно будет сопровождаться ростом капиталовложений в энергетическое хозяйство, а одной из важнейших задач энергетического планирования становится обоснование наиболее эффективного распределения этих средств между основными технологическими направлениями декарбонизации в отраслях ТЭК и у потребителей ТЭР.

Связанные с декарбонизацией национальной и мировой экономики долгосрочные изменения в структуре внутреннего и экспортного спроса на традиционные топливно-энергетические ресурсы (включая электроэнергию) и так называемые «новые» энергоносители приведут к серьезной корректировке в темпах развития отдельных отраслей ТЭК. В зависимости от комбинации технологических приоритетов (включая электрификацию, водородную и биоэнергетику, внедрение систем улавливания выбросов CO<sub>2</sub>) существенно варьируются выпуски в топливных отраслях, объемы производства в электроэнергетике, а также темпы развития отраслей «новых» энергоносителей. Как следствие, будет меняться и вклад ТЭК в показатели социально-экономического развития страны, измеряемый в объемах капиталовложений, полной стоимости энергоснабжения, налоговых поступлений и необходимой бюджетной поддержки, валовой добавленной стоимости. Будет резко меняться и отраслевая структура этого вклада.

В этой ситуации разработка долгосрочных сценариев развития экономики и энергетики должна предусматривать не только их согласование «на входе» по целевым показателям социально-экономического развития, но и согласование «на выходе» – с оценкой влияния прогнозных параметров развития ТЭК и его отраслей на темпы и бюджетные возможности экономического развития. Введение такой обратной связи между процессами энергетического планирования и макроэкономического прогнозирования

позволяет, во-первых, оценить реализуемость исходных сценарных допущений о целях, темпах и механизмах достижения углеродной нейтральности за счет сокращения физического объема эмиссии парниковых газов, посильность сценариев декарбонизации в ТЭКе для экономики и населения страны. Во-вторых, это позволяет получить комплексную оценку системных эффектов от реализации различных технологических стратегий в энергетике (от программ энергоэффективности до водородной энергетики), предложить наиболее приемлемую для экономики в целом комбинацию мер по декарбонизации энергопроизводства и энергопотребления. В-третьих, такая обратная связь позволяет существенно повысить качество обоснования долгосрочных параметров ценовой политики в энергетике, балансируя требования по поддержанию конкурентоспособности российской промышленности, повышению уровня жизни населения с требованиями по финансовой устойчивости отраслей ТЭК при их развитии в условиях новых климатических вызовов.

Опыт стран, которые уже давно и активно проводят климатически-ориентированную энергополитику, показывает, что одним из способов реализации обратной связи является создание новых типов стратегических документов, объединяющих прогнозы развития экономики и энергетики, и цели климатической политики. Примером являются национальные энерго-климатические планы (National Energy and Climate Plans, NECP), которые на регулярной основе разрабатываются в странах Европейского союза (ЕС). Эти документы позволяют обосновать национальные количественные вклады (обязательства) в реализацию условий Парижского соглашения (Nationally Determined Contributions, NDC), оптимизировать вклад каждой страны в достижение общих климатических целей развития ЕС и, в том числе, оценить необходимые объемы финансовой поддержки климатически-ориентированных национальных энергополитик.

В Российской Федерации в 2022 г. была принята Стратегия развития страны с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 г. (СНУР-2050). Реализация ее положений потребует синхронизации целевых параметров для целой линейки документов стратегического планирования, разрабатываемых на федеральном уровне, включая: долгосрочный прогноз социально-экономического развития, прогноз научно-технологического развития (особенно в части ТЭК), энергетическую стратегию. Такая синхронизация должна опираться на научно-обоснованные комплексные сценарии декарбонизации национальной экономики и энергетики, с достаточной отраслевой детализацией, и учитывающие долгосрочные изменения на мировых энергетических и прочих сырьевых и продуктовых рынках.

**Мировая практика создания комплексов прогнозирования национальной экономики и энергетики.** Наиболее детальным и проработанным на сегодняшний день инструментом для моделирования и прогнозирования развития национальной энергетики является модельно-информационный комплекс NEMS (National Energy Modeling System), используемый Администрацией энергетической информации (US EIA) США. С помощью NEMS получают, в частности, сценарные прогнозы развития энергетики США при подготовке ежегодных государственных докладов Annual Energy Outlook (AEO).

NEMS прогнозирует объемы производства, экспорта-импорта, преобразования, потребления энергии, а также цены на нее. Это делается для заданных предпосылок, включающих макроэкономические и финансовые факторы, мировые энергетические рынки, ресурсные возможности и стоимость ресурсов, критерии выбора технологий, поведенческие стереотипы экономических агентов в сфере ТЭК, стоимость и показатели технической эффективности энергетических технологий, демографию. Структура комплекса позволяет реализовать оба принципиальных подхода к системному энергетическому моделированию: как «top-down», так

и «bottom-up». Соответственно, NEMS позволяет не только вырабатывать политику в сферах энергетики, экономики, окружающей среды и безопасности, но и исследовать обратное влияние политики и складывающихся практик регулирования на развитие энергетики и экономики. Горизонт прогноза, для которого настроена модель, в настоящее время достигает 2050 г.

В полном соответствии с идеологией современных модельно-информационных комплексов, NEMS является интегрированной системой, объединяющей целый ряд инструментов, согласованных на трех уровнях: *общей идейной постановки задачи* – исследования развития ТЭК страны; *применяемой исходной информации*, включая базы данных и результаты расчетов; *входов и выходов* компонентов NEMS на уровне программных кодов. Блоки комплекса включают [2]:

- 1) интегрирующий модуль;
- 2) блок выбросов ПГ;
- 3) макроэкономический модуль;
- 4) модуль мировой энергетики;
- 5) модули спроса на энергию: в жилом (коммунальном), коммерческом и промышленном секторах в США, а также энергопотребления на транспорте;
- 6) модули электроэнергетического рынка и возобновляемых топлив;
- 7) модули рынка природного газа, рынка жидких топлив, угольного рынка, а также систем нефте- и газоснабжения.

Связь национальной энергетической системы с остальной экономикой обеспечивается макроэкономическим модулем (Macroeconomic activity module) [3]. Именно этот модуль определяет исходные показатели для прогноза конечного потребления в задаче «top-down». Модуль включает: модель экономики США, отраслевые модели, связывающие валовой выпуск с занятостью, и региональные модели.

Модель экономики США представляет собой прогнозную эконометрическую модель, разработанную и поддерживаемую компанией IHS Markit Ltd. Точно такую же модель компания использует для разработки своих квартальных прогнозов развития экономики США, которые широко известны в стране.

Отраслевые модели в составе макроэкономического модуля также являются производными от модели IHS Markit. Они призваны согласовать данные о конечном спросе (потреблении, инвестициях, господдержке, экспорте-импорте) из модели экономики с продолжительностью рабочей недели и трендами производительности труда.

Региональные модели позволяют адаптировать общие по экономике параметры, включая экономическую активность, выпуск продукции в связи с занятостью по отраслям и коммерческие площади, к условиям конкретных регионов.

В Европейском союзе гармонизация прогнозов развития экономики и энергетики обеспечивается связкой моделей GEM-E3 и PRIMES.

GEM-E3 представляет собой рекурсивную модель общего равновесия с модульной архитектурой и настраиваемой региональной и отраслевой структурой, которая описывает взаимодействия в триаде (Е3) «экономика, энергетика и окружающая среда» [4-6]. Инструмент создавался для оценки и согласования климатической и энергетической политики, включая ее фискальные аспекты.

Заказчиками прогнозов, получаемых с помощью GEM-E3, выступают несколько генеральных дирекций Европейской комиссии, национальные правительства стран – членов ЕС, а также крупные промышленные заказчики, такие как европейские отраслевые ассоциации. Решаемые задачи обычно ориентированы на представление данных индивидуально для 27 стран-членов ЕС, стран ОЭСР, либо стран группы G20. Отраслевая структура охватывает от 30 до 35 отраслей, среди которых наиболее подробно описана энергетика. Модуль энергетики оперирует десятью базовыми

технологиями: сжигание угля, нефти и нефтепродуктов, природного газа, угольные и газовые технологии с улавливанием CO<sub>2</sub>, технологии биомассы, ядерные технологии, фотовольтаика, гидроэнергетика, ветровая энергетика.

GEM-E3 осуществляет поиск равновесия между производством и потреблением товаров и услуг, а также между производством с одной стороны и трудом (занятостью) и инвестициями – с другой. Экономические агенты оптимизируют свою целевую функцию (максимальный доход для домохозяйств и минимальные затраты для компаний). При этом рыночные цены гарантируют глобальное равновесие эндогенно (т. е. без привлечения внешней информации). Конкурентное рыночное равновесие (по закону Вальраса) автоматически включает частные равновесия между спросом на энергию и ее производством, а также баланс выбросов и их сокращений. Структурные особенности модели позволяют гибко настраивать такие параметры, как налогообложение и двусторонние пошлины в торговле.

Модель учитывает выбросы шести парниковых газов, включая CO<sub>2</sub> и метан. В расчет попадают выбросы ПГ как связанные с энергетикой, так и не связанные с ней. В модели предусмотрены явным образом три механизма сокращения выбросов: замещение топлив в качестве энергоносителей и в качестве промышленного сырья, снижение производства или потребления соответствующих углерод-интенсивных продуктов и внедрение оборудования для снижения выбросов.

В связке с GEM-E3 используется модель PRIMES [7], созданная для более детального прогнозирования цен на европейских энергетических рынках, балансировки спроса и предложения энергии, а также изменений в структуре энергетических технологий. Модель PRIMES так же, как GEM-E3, применяет агентный подход, но в большей степени ориентирована на средне- и долгосрочное прогнозирование энергетических технологий. В ней более тщательно учтены инженерные аспекты как в энергетике, так и в ряде других секторов.

В модульную структуру PRIMES входят следующие секторальные модули: транспортный, коммунально-бытовой, промышленный, биомассы, электро- и теплоснабжения, газоснабжения и газового рынка, новых энергоносителей и накопителей (включая улавливание CO<sub>2</sub>), режимов функционирования внутреннего энергетического рынка. Модель учитывает нелинейный характер потенциала первичных ТЭР, а также эффект технологического обучения. Горизонт прогноза достигает 2070 г. и разбит на пятилетние периоды.

**Состав прогнозных задач при формировании прогнозов развития ТЭК России в рамках сценариев декарбонизации экономики страны.** Создание прогностической системы, сопоставимой по своим функциональным возможностям с инструментами долгосрочного стратегического планирования в крупнейших экономиках мира, является одной из целей важнейшего инновационного проекта государственного значения «Единая национальная система мониторинга климатически активных веществ», запущенного решением Правительства России в 2022 г. Общая структура прогностической системы для формирования сценариев декарбонизации экономики и энергетики включает в себя четыре взаимосвязанных модуля: мировой экономики, экономики России, мировой энергетики и российской энергетики.

Основой для такой прогностической системы являются имеющиеся научные заделы и модельные инструменты, разработанные в институтах Российской академии наук. В частности, для модулей российской и мировой энергетики предложена технология прогнозирования развития ТЭК, реализованная на базе постоянно развивающегося модельно-информационного комплекса SCANNER [8], который успешно применяется на протяжении последнего десятилетия, в том числе для исследования:

– роли научно-технического прогресса в технологической перестройке ТЭК и ускорении экономического роста [9; 10];

– возможностей и последствий активной политики по снижению выбросов парниковых газов, в том числе за счет механизмов углеродных платежей [11-13];

– влияния сценариев ценовой политики на внутренних энергорынках на динамику экономического роста [14].

При разработке прогнозов развития энергетики России и мира в рамках подготовки сценариев декарбонизации мировой и российской экономики потребуются адаптация уже используемой технологии прогнозирования в следующих направлениях:

а) информационно-методическое согласование существующих модельных инструментов для прогнозирования развития ТЭК с модельными инструментами макроэкономического прогнозирования, используемыми в создаваемой прогностической системе [15];

б) модельное и информационное обеспечение работ по межотраслевой оптимизации развития ТЭК для достижения заданных целей по декарбонизации с учетом расширяющихся технологических возможностей для межтопливной конкуренции органического топлива и безуглеродных (низкоуглеродных) энергоносителей, конкуренции безуглеродных технологий с технологиями улавливания CO<sub>2</sub>, влияния ограничений на объемы эмиссии ПГ на развитие отдельных типов технологий, введения углеродных платежей [16];

в) расширение и унификация функциональных возможностей модельных инструментов для прогноза финансово-экономических показателей развития отраслей ТЭК, обеспечивающих их интеграцию с инструментами макроэкономического прогнозирования;

г) разработка двухконтурной системы согласования решений в системе «экономика – энергетика», где:

– первый контур обеспечивает согласование параметров топливно-энергетического баланса и межотраслевых балансов на уровне страны в целом и может применяться для оперативной оценки условий и экономических последствий различных сценариев декарбонизации или реализации технологических стратегий в ТЭК;

– второй контур обеспечивает более глубокую проработку производственных и инвестиционных программ в отраслях ТЭК (газовая, нефтяная, угольная, электроэнергетика и теплоснабжение, водородная энергетика и «новые» энергоносители) с учетом технологического разнообразия и территориальной специфики, оптимальных пропорций модернизации и технического перевооружения существующих производственных мощностей, а также развития транспортной инфраструктуры.

Формирование прогнозов развития энергетики страны как составной части сценариев декарбонизации экономики, на наш взгляд, целесообразно организовать по следующей схеме (см. Рисунок): Процесс прогнозирования представляется в виде совокупности информационно связанных между собой расчетных и обеспечивающих задач, объединяемых в несколько блоков:

а) расчетные блоки: прогноз спроса на ТЭР, оптимизация развития и технологической структуры ТЭК и его отраслей, оценка экономических параметров развития ТЭК;

б) обеспечивающие (для данного процесса) блоки: прогноз развития национальной экономики, прогноз мировой энергетики, технологической информации, координации результатов расчетов.

Базой для начала расчетов является долгосрочный прогноз социально-экономического развития страны, содержащий в себе минимально необходимый набор макроэкономических и демографических показателей. Параметры данного прогноза, с одной стороны, далее детализируются в отраслевом и территориальном разрезах (задачи 1 и 2 на Рисунке) для целей прогноза динамики и структуры энергопотребления (задача 3).

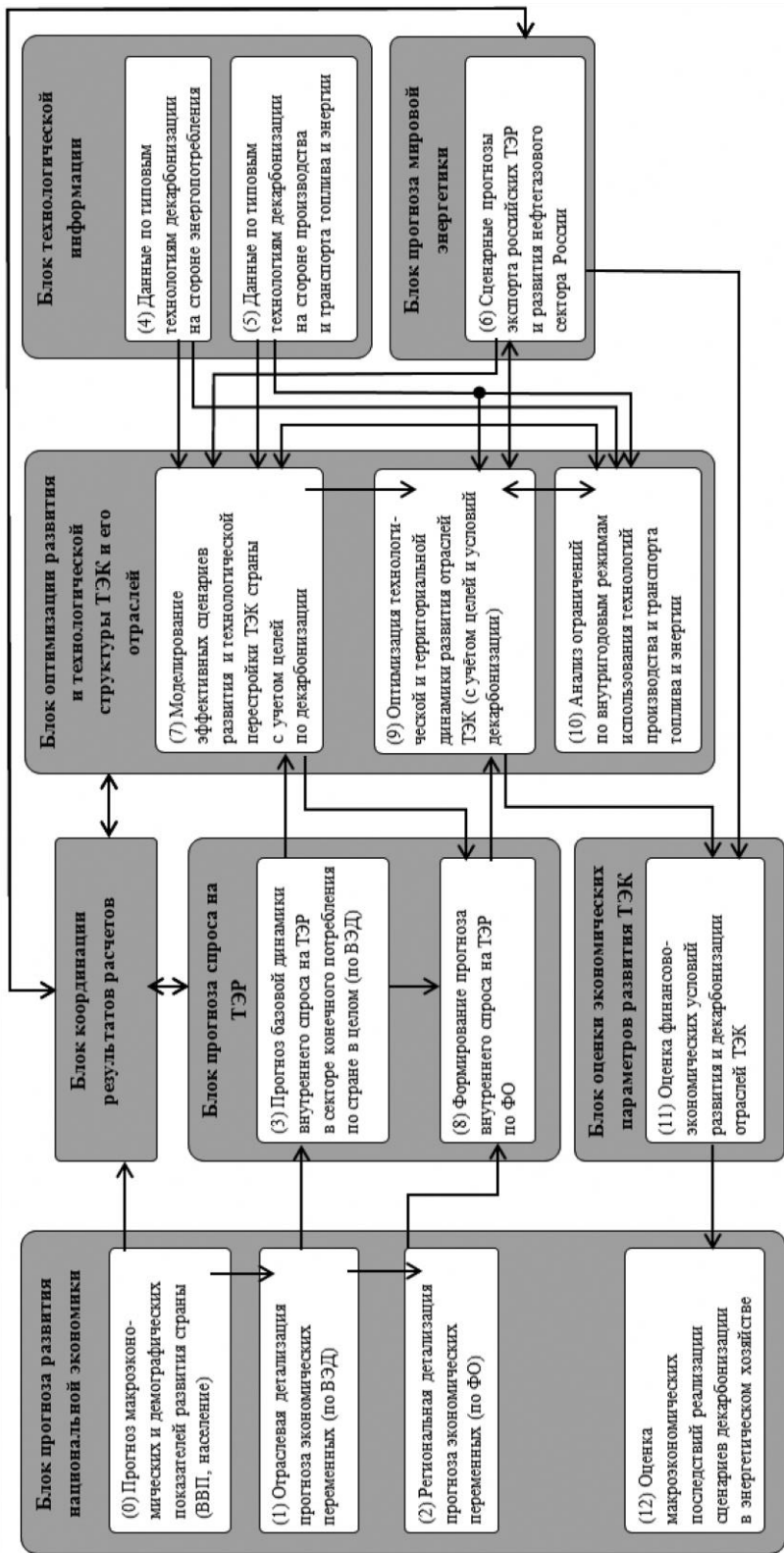


Рисунок. Декомпозиция расчетных и обеспечивающих задач при формировании сценариев развития энергетики России

На первом шаге ключевые макроэкономические и демографические показатели прогноза социально-экономического развития (ВВП, численность населения) передаются на вход блока координации расчетов, где на основе экстраполяции ретроспективных тенденций энергопотребления, экспорта, структуры потребления первичных ТЭР в электроэнергетике, в теплоснабжении и в секторе конечного потребления формируются начальные параметры для запуска последующих расчетных процедур по оптимизации спроса и параметров развития отраслей ТЭК.

Эти начальные параметры, по сути, соответствуют сценарию развития ТЭК «по тенденции» (business as usual). Параметры внутреннего энергопотребления «запускают» процесс расчетов в блоке *прогноза мировой энергетики* и задают важную границу для детализированных расчетов в блоке *прогноза спроса на ТЭР*. Регулярная актуализация по отчетной информации и текущим результатам работы других блоков позволяет в блоке *координации расчетов* эффективно оценивать согласованность частных решений прогнозных задач и в постоянной готовности выдавать экспресс-информацию в укрупненных сводных формах прогнозов развития ТЭК, содержащих показатели энергетического баланса, капиталовложений, оценки объемов и структуры выбросов ПГ в энергетическом хозяйстве.

Следующим (вторым) шагом является прогноз базовой динамики детализированного по видам экономической деятельности (ВЭД) внутреннего спроса на отдельные ТЭР в секторе конечного потребления по стране в целом (задача 3).

Для каждого ТЭР по каждому ВЭД прогнозная оценка спроса формируется как произведение значений экономических (валовые выпуски) и энергетических переменных (частных энергоемкостей: электроемкости, теплоемкости, газоемкости, углеемкости и т. д.), характеризующих интенсивность потребления данного ТЭР. Динамика энергетических переменных рассматривается как функция от кумулятивных капиталовложений данного ВЭД, т. е. также зависит от экономических переменных, определяемых в прогнозе экономики [17]. Таким образом, для формирования прогноза спроса на ТЭР требуется детализированная по ВЭД характеристика прогноза экономики с выделением отраслевых выпусков и капиталовложений (задача 1).

Третьим шагом является межотраслевое исследование эффективных сценариев развития и технологической перестройки ТЭК страны с учетом целей по декарбонизации (задача 7). При решении этой задачи выполняется оптимизация динамики годовых объемов предложения и внутреннего потребления отдельных ТЭР по реперным временным периодам (пятилеткам или декадам) на горизонте прогноза (до 2060 г.) с учетом прогнозной динамики внутреннего спроса и экспорта российских ТЭР (задача 6). Важной особенностью оптимизации технологической перестройки ТЭК в контексте декарбонизации является расширенное моделирование вклада технологий энергоэффективности, энергозамещения, а также улавливания ПГ как на стороне производства, так и потребления топлива и энергии. Для этого потребуется обеспечить сбор, систематизацию и актуализацию информации о технико-экономических показателях данных технологий (задачи 4 и 5). На этом шаге оптимизация технологической структуры ТЭК, производства, преобразования и конечного потребления отдельных ТЭР (в том числе «новых» энергоносителей) выполняется в целом по стране. Однако при этом целесообразно учесть существенные различия в условиях энергоснабжения (по составу технологий и стоимости энергоснабжения) для потребителей, расположенных в зонах концентрированных (условно «городских») и распределенных (условно «сельских») нагрузок. Такая дополнительная детализация системы балансов потребует соответствующей детализации прогнозов спроса на ТЭР на предыдущем шаге.

Четвертым шагом является формирование полного внутреннего спроса по видам топлива и энергии (задача 8), который, помимо базовой динамики спроса в секторе



конечного потребления (задача 3), учитывает оптимизированные на предыдущем шаге (задача 7) расходы ТЭР на стороне энергопроизводства, а также технологический вклад энергосбережения и энергозамещения на стороне потребления. Территориальная детализация спроса по федеральным округам (ФО), необходимая для последующей оптимизации как объемов производства, так и транспорта энергетической продукции в отраслях ТЭК, потребует дополнительной детализации экономических переменных (валовых выпусков ВЭД) также по федеральным округам (задача 2).

На пятом шаге выполняется моделирование изменений в технологической и территориальной структуре отдельных энергетических отраслей с учетом оптимизированных параметров развития и технологической перестройки ТЭК страны, определенных на третьем шаге (задача 7), и оценка параметров их производственной и инвестиционной программы по всей производственной цепочке (производство/добыча, транспорт, преобразование) с учетом объемов внутреннего и экспортного спроса (задачи 6 и 8) и технико-экономических показателей существующих и новых отраслевых технологий (задача 5).

Ввиду высокой интегрированности российского нефтегазового сектора в глобальные энергетические рынки будет разумно прогноз изменений технологической и территориальной структуры газовой и нефтяной отраслей страны (включая нефтепереработку) формировать совместно с прогнозированием долгосрочной динамики мирового рынка газа и рынка нефти. Таким образом, при моделировании рассматривается единая система балансов производства и потребления газа, нефти и нефтепродуктов по территории страны и регионам мира (крупным странам) [18]. В этом случае входной информацией для такой совместной задачи является детализированный по территории прогноз спроса на газ и нефтепродукты в секторе конечного потребления (задача 8) и оптимизированный по территории спрос на газ в электроэнергетике и теплоснабжении (задача 9).

На шестом шаге для отдельных энергоносителей выполняется дополнительный анализ параметров прогнозной технологической структуры их производства с учетом ограничений по внутригодовым режимам использования отдельных технологий (задача 10). Такой анализ в наибольшей степени необходим для электроэнергетики из-за особенностей балансирования производства и потребления электроэнергии:

- высокой неравномерности почасового потребления электроэнергии в течение суток (а также и на более длинных, месячных и сезонных интервалах); при этом активная электрификация экономики может существенно изменить сложившийся суточный (почасовой) профиль электрической нагрузки за счет влияния новых типов потребителей, например, электротранспорта [19];

- ограниченности по режимам использования мощности ряда электростанций, использующих безуглеродные энергоресурсы (погодозависимого режима работы ветряных и солнечных электростанций, сезонной неравномерности производства электроэнергии и ограниченности годового объема производства водно-энергетическими характеристиками гидроэлектростанций);

- ограниченных маневренных характеристик оборудования тепловых и атомных электростанций.

Результатом этого анализа является возможное уточнение параметров технологической структуры электроэнергетики за счет увеличения доли более маневренных мощностей или развития систем накопления электроэнергии.

Для централизованного тепла, а также природного газа (с учетом того, что электростанции и котельные являются его крупнейшими внутренними потребителями) на данном шаге также могут быть исследованы сезонные неравномерности производства и потребления этих энергоносителей.

На последнем, седьмом шаге выполняется оценка финансово-экономических условий декарбонизации отраслей ТЭК (задача 11). Для этого на основе оптимизированных параметров производственной и инвестиционной программы каждой отрасли ТЭК проводится финансово-экономическое прогнозирование совокупности параметров себестоимости, прибыли, движения денежных средств, располагаемых собственных и внешних инвестиционных ресурсов [20]. Полученный прогноз интегральных экономических характеристик позволяет далее в рамках межотраслевого макроэкономического прогнозирования оценить последствия реализации сценариев декарбонизации в энергетическом хозяйстве страны (задача 12).

Как было отмечено выше, для оперативного согласования прогнозных параметров топливно-энергетического и межотраслевого балансов страны может быть реализована сокращенная схема прогноза, предусматривающая выполнение задач 3 и 7 без проработки детализированного прогноза развития отраслей ТЭК (задачи 8 и 9), с укрупненным анализом режимных особенностей использования технологий (задача 10) и укрупненной финансово-экономической оценкой (задача 11).

\* \* \*

Включение климатического фактора в систему стратегического планирования требует модифицировать научно-методические подходы и модельный инструментарий, применяемые при разработке макроэкономических и энергетических прогнозов развития России.

Актуальной задачей является создание межотраслевой прогностической системы для комплексного обоснования параметров развития экономики и энергетики в рамках единых сценариев декарбонизации и достижения углеродной нейтральности (с учетом ситуации в мировой экономике и энергетике). При этом прямая связь между прогнозами экономики и энергетики, определяющая динамику внутреннего энергопотребления, дополняется обратной связью, которая обеспечивает оценку приемлемости сценариев декарбонизации производства и потребления ТЭР для потребителей и макроэкономической ситуации в целом.

Структура модуля энергетики этой прогностической системы, в соответствии с существующей мировой и российской практикой энергетического планирования, определяется разумной декомпозицией прогнозной задачи с выделением:

- расчетных блоков: прогноза спроса на ТЭР, оптимизации развития и технологической структуры ТЭК и его отраслей, оценки экономических параметров развития ТЭК; прогнозные функции каждого из блоков обеспечиваются имитационными и/или оптимизационными экономико-математическими моделями;
- обеспечивающих (для данного процесса) блоков: прогноза развития национальной экономики, прогноза мировой энергетики, технологической информации, координации результатов расчетов.

Разработка модуля энергетики опирается на технологию формирования прогнозов, разработанную специалистами ИНЭИ РАН на базе модельно-информационного комплекса SCANNER, и успешно применяемую при исследовании сценариев долгосрочной эволюции российской и мировой энергетики и энергетических рынков. Однако при адаптации к более широкой постановке задачи потребуются (и уже проводится) модификация существующей технологии, включая расширение потенциала существующих и создание новых модельных инструментов, а также расширение направлений их информационного обеспечения.

Литература / References

1. Веселов Ф.В., Хоршев А.А., Ерохина И.В., Аликин Р.О. Исследование направлений и сопутствующих затрат при снижении эмиссии углерода в электроэнергетике до 2050 года с учетом межотраслевых факторов // Проблемы прогнозирования. 2023. № 6 (201). С. 79-90. DOI: 10.47711/0868-6351-201-79-90 [Veselov F.V., Khorshhev A.A., Erokhina I.V., Alikin R.O. Study of Directions and Associated Costs in Reducing Carbon Emissions in the Electric Power Industry until 2050, Taking into Account Cross-Sectoral Factors // Studies on Russian Economic Development. 2023. Vol. 34. No. 6. Pp 778-785. (In Russ.)]
2. The National Energy Modeling System: An Overview 2018. Rep. of US EIA, April 2019. 73 p.
3. Macroeconomic Activity Module of the National Energy Modeling System: Model Documentation 2022. Rep. of US EIA, March 2022. 156 p.
4. Van Regemorter D., Paroussos L., Kouvaritakis N. The macroeconomic evaluation of energy tax policies within the EU, with the GEM-E3-Europe model. Rep. of Natl. Tech. Univ. Athens and CES-KULeuven under the EC DG TAXUD contract no. TAXUD/2002/DE/302. Athens. 2003. 66 p.
5. Paroussos L., Tasios N., Fragkos P., et al. Energy system impacts and policy implications of the European Intended Nationally Determined Contribution and low-carbon pathway to 2050 // Energy Policy. 2017. No. 100 (1), Pp. 216-226. DOI: 10.1016/j.enpol.2016.10.023
6. Carpos P., Van Regemorter D., Paroussos L., Karkatsoulis P. GEM-E3 Model Documentation. Rep. of EU JRC #EUR 26034 EN. Luxembourg, 2013. 156 p.
7. PRIMES MODEL. Version 2018. Detailed model description. Rep. of E3Modelling. October 2018. 220 p.
8. Veselov F.V., Khorshhev A.A. Integrated modeling and information technology for strategic planning in the energy sector of Russia. IEEE 11th International Conference on Application of Information and Communication Technologies (AICT). Moscow. Russia. 2017. Pp 1-5. DOI: 10.1109/ICAICT.2017.8687058
9. Роль научно-технического прогресса в развитии энергетики России. М., Институт энергетических исследований РАН, 2019. 252 с. URL: [https://www.eriras.ru/files/2019\\_rol\\_npr\\_v\\_razviti\\_energetiki\\_rossii.pdf](https://www.eriras.ru/files/2019_rol_npr_v_razviti_energetiki_rossii.pdf) [Roľ naučno-tehnického progressa v rozvííí jenergetiki Rossii. M., ERI RAS. 2019. 252 s. (In Russ.)]
10. Макаров А.А., Веселов Ф.В., Макарова А.С., Урванцева Л.В. Комплексная оценка технологической трансформации электроэнергетики России // Теплоэнергетика. 2019. № 10. С. 3-18. DOI: 10.1134/S0040363619100047. [Makarov A.A., Veselov F.V., Makarova A.S., Urvantseva L.V. Comprehensive Assessment of Russia's Electric Power Industry's Technological Transformation. Thermal Engineering. 2019. No. 66. Pp. 687-701. (In Russ.)]
11. Веселов Ф.В., Макаров А.А., Малахов В.А. Влияние мер по ограничению эмиссии парниковых газов на развитие экономики и энергетики России // Известия Российской академии наук. Энергетика. 2010. № 4. С. 66-81. DOI: 10.1093/ijlct/ciq0340 [Veselov F.V., Makarov A.A., Malakhov V.A. Impact of restriction measures for greenhouse gas emission on development of electric power industry in Russia. International Journal of Low-Carbon Technologies. 2010. Vol. 5. Issue 4. Pp. 303-310. (In Russ.)]
12. Малахов В.А., Несытых К.В. Долгосрочные макроэкономические потери и выгоды России от низкоуглеродного развития мира и отечественной энергетики // Проблемы прогнозирования. 2022. № 4 (193). С. 55-67. DOI 10.47711/0868-6351-193-55-67. [Malakhov V.A., Nesutykh K.V. Russia's Long-Term Macroeconomic Losses and Benefits from the Low-Carbon Development of the World and Domestic Energy Industry // Studies on Russian Economic Development. 2022. Vol. 33. No. 4. Pp. 392-401. (In Russ.) DOI 10.1134/S1075700722040050]
13. Макаров А.А., Кейко А.В., Малахов В.А. и др. Исследование путей и темпов развития низкоуглеродной энергетики России / под ред. А.А. Макарова. М., ИНЭИ РАН. 2022. 138 с. URL: [https://www.eriras.ru/files/inei\\_2022\\_makarov.pdf](https://www.eriras.ru/files/inei_2022_makarov.pdf) [Makarov A.A., Kejko A.V., Malakhov V.A. i dr. Issledovanie putej i tempov razvitiija nizkouglerodnoj jenergetiki Rossii. M., ERI RAS. 2022. 138 s. (In Russ.)]
14. Макаров А.А., Митрова Т.А. Влияние роста цен на газ и электроэнергию на развитие экономики России. М., ИНЭИ РАН. 2013. 35 с. URL: <https://www.eriras.ru/files/vliyanie-rosta-tsen-na-gaz-i-elektroenergiyu-na-razvitiie-ekonomiki-rossii.pdf> [Makarov A.A., Mitrova T.A. Vliyanie rosta cen na gaz i jelektrojenergiju na razvitie jekonomiki Rossii. M., ERI RAS. 2013. 35 s. (In Russ.)]
15. Широ А.А., Янговский А.А. Межотраслевая макроэкономическая модель как ядро комплексных прогнозных расчетов // Проблемы прогнозирования. 2014. № 3 (144). С. 18-31. [Shirov A.A., Yantovsky A.A. Input-output macroeconomic model as the core of complex forecasting calculations // Studies on Russian Economic Development. 2014. Vol. 25. No. 3. Pp. 225-234. DOI:10.1134/S1075700714030125. (In Russ.)]
16. Филиппов С.П., Веселов Ф.В., Кейко А.В., Панкрушина Т.Г. Информационно-модельная поддержка стратегического управления декарбонизацией в энергетическом хозяйстве страны. Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2022). Труды Пятнадцатой международной конференции / Под общ. ред. С.Н. Васильева, А.Д. Циркуна. М., ИИУ РАН. 2022. С. 31-42. DOI: 10.25728/mlsd.2022.0031. [Filippov S., Veselov F., Keiko A., Pankrushina T. Information and Model Support for Decarbonization Management in the Russia Energy Sector. Proceedings of 15th International Conference on Management of Large-Scale System Development (MLSD). M., IPU RAN. 2022. Pp. 1-3. (In Russ.). DOI: 10.1109/MLSD55143.2022.9934541]
17. Филиппов С.П., Малахов В.А., Веселов Ф.В. Долгосрочное прогнозирование спроса на энергию на основе системного анализа // Теплоэнергетика. 2021. № 12. С. 5-19. DOI: 10.1134/S0040363621120043. [Filiprov S.P., Malakhov V.A., Veselov F.V. Long-Term Energy Demand Forecasting Based on a Systems Analysis. Thermal Engineering. 2021. Vol. 68. No. 12. Pp. 881-894. (In Russ.). DOI: 10.1134/S0040601521120041]
18. Митрова Т.А., Кулагин В.А., Галкина А.А. и др. Эволюция мировых энергетических рынков и ее последствия для России / под ред. А. Макарова, Л. Григорьева, Т. Митровой. М., ИНЭИ РАН. Аналитический Центр при Правительстве РФ. 2015. 395 с. [Mitrova T.A., Kulagin V.A., Galkina A.A. i dr. Jevoljucija mirovyh jenergeticheskikh rynkov i ejo posledstviya dlja Rossii / pod red. A. Makarov, L. Grigor'ev, T. Mitrova. M., ERI RAS. Analiticheskij Centr pri Pravitel'stve RF. 2015. 395 s. (In Russ.)]
19. Веселов Ф.В., Соляник А.И., Аликин Р.О. Влияние электрификации в секторе дорожного транспорта на уровень электропотребления и суточный график нагрузки в ЭЭС России // Известия Российской академии наук. Энергетика. 2023. № 1. С. 57-71. DOI: 10.31857/S0002331023010077 [Veselov F.V., Solyanik A.I., Alikin R.O. Impact of electrification in the road transport sector on the level of electricity consumption and daily load curve in the UES of Russia // Izvestiya Rossiiskoi akademii nauk. Energetika. 2023. No. 1. Pp. 57-71. (In Russ.)]

20. Веселов Ф.В., Соляник А.И. Многоуровневый подход к финансово-экономической оценке параметров ценовой политики государства в электроэнергетике и долгосрочных последствий принимаемых решений // Известия Российской академии наук. Энергетика. 2016. № 4. С. 37-48. DOI: 10.1109/MLSD.2017.8109704 [Veselov F.V., Solyanik A.I. Methodological approach for harmonization of the investment and pricing policy options in the electric power industry. Proceedings of 10th International Conference on Management of Large-Scale System Development (MLSD). Moscow, Russia. 2017. Pp. 1-5. (In Russ.)]



Статья поступила в редакцию 07.06.2023. Статья принята к публикации 30.06.2023.

**Для цитирования:** С.П. Филиппов, Ф.В. Веселов, А.В. Кейко, А.А. Хоршев. Подходы к формированию прогнозов развития ТЭК России как составной части сценариев декарбонизации экономики страны // Проблемы прогнозирования. 2023. № 6 (201). С. 67-78.  
DOI: 10.47711/0868-6351-201-67-78

## Summary

### APPROACHES TO THE FORECAST FORMATION OF THE DEVELOPMENT OF THE RUSSIAN ENERGY SECTOR AS A COMPONENT PART OF SCENARIOS FOR DECARBONIZATION OF THE COUNTRY'S ECONOMY

**S.P. FILIPPOV**, Academician of the Russian Academy of Science, Energy Research Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

ORCID: 0000-0001-5014-174X, Scopus Author ID: 7006004634

**F.V. VESELOV**, Cand. Sci. (Econ.), Energy Research Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia, Moscow, Russia

ORCID: 0000-0003-3912-9154, Scopus Author ID: 6504617502

**A.V. KEIKO**, Doct. Sci. (Tech.), Energy Research Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

ORCID: 0000-0001-6982-8154, Scopus Author ID: 8356022800

**A.A. KHORSHEV**, Cand. Sci. (Econ.), Energy Research Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

ORCID: 0000-0002-8089-6171, Scopus Author ID: 36940954600

**Abstract:** The article deals with topical issues of creating an integral prognostic system to substantiate decarbonization scenarios for the country's economy, integrating macroeconomic forecasts with energy development parameters and taking into account the dynamics of trends in the global economy and energy. The main attention is paid to the problems of energy forecasting in the context of decarbonization of the economy and the structure of the corresponding forecasting module. The foreign experience of organizing such forecasting activities is analyzed. The structure of the Russian energy forecasting module is proposed, taking into account the existing scientific background and modeling tools. The module includes calculation blocks: demand for fuel and energy resources, optimization of the development and technological structure of the national energy sector and its industries, assessment of the economic parameters of their development; supplementing blocks: technological information, coordination of calculation results. A scheme of interaction of blocks according to the stages of solving forecast problems for the operational coordination of the forecast parameters of the country's fuel and energy and inter-sectoral balances and for a more detailed study of the technological.

**Keywords:** energy, fuel and energy resources, greenhouse gases, decarbonization, forecasting, modeling, model-information complex.

Received 07.06.2023. Accepted 30.06.2023.

**For citation:** S.P. Filippov, F.V. Veselov, A.V. Keiko and A.A. Khorshev. Approaches to the Forecast Formation of the Development of the Russian Energy Sector as a Component Part of Scenarios for Decarbonization of the Country's Economy // Studies on Russian Economic Development. 2023. Vol. 34. No. 6. Pp. 769-777.

DOI: 10.1134/S1075700723060035