

ОСОБЕННОСТИ И СРЕДСТВА ФОРМИРОВАНИЯ ПРОГНОЗОВ НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИКИ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ.

*Филиппов С.П., академик РАН,
Веселов Ф.В., к.э.н.*

Институт энергетических исследований РАН

**XVI международная конференция «Управление развитием крупномасштабных систем»
(MLSD 2023)**

Сентябрь, 2023



*Исследование выполнено при поддержке
гранта РФФИ (проект № 21-79-30013)*

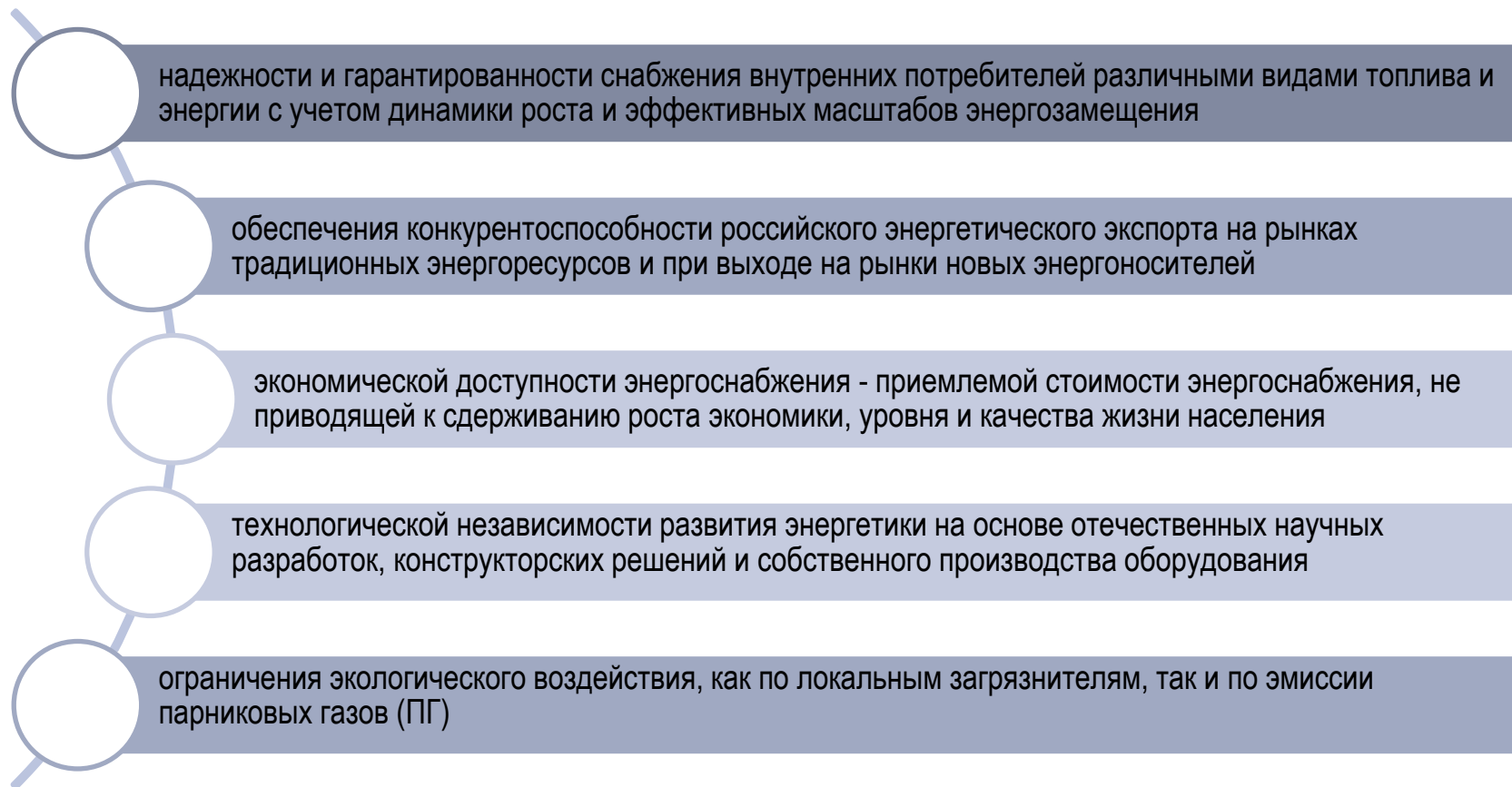
Роль Прогноза НТР энергетики в системе стратегического планирования

Разработка прогноза НТР в части технологического обновления энергетического комплекса должна стать интегрирующей основой для нескольких документов стратегического планирования, обеспечивая непротиворечивость целей развития, энергетической безопасности и актуальных планов декарбонизации экономики:

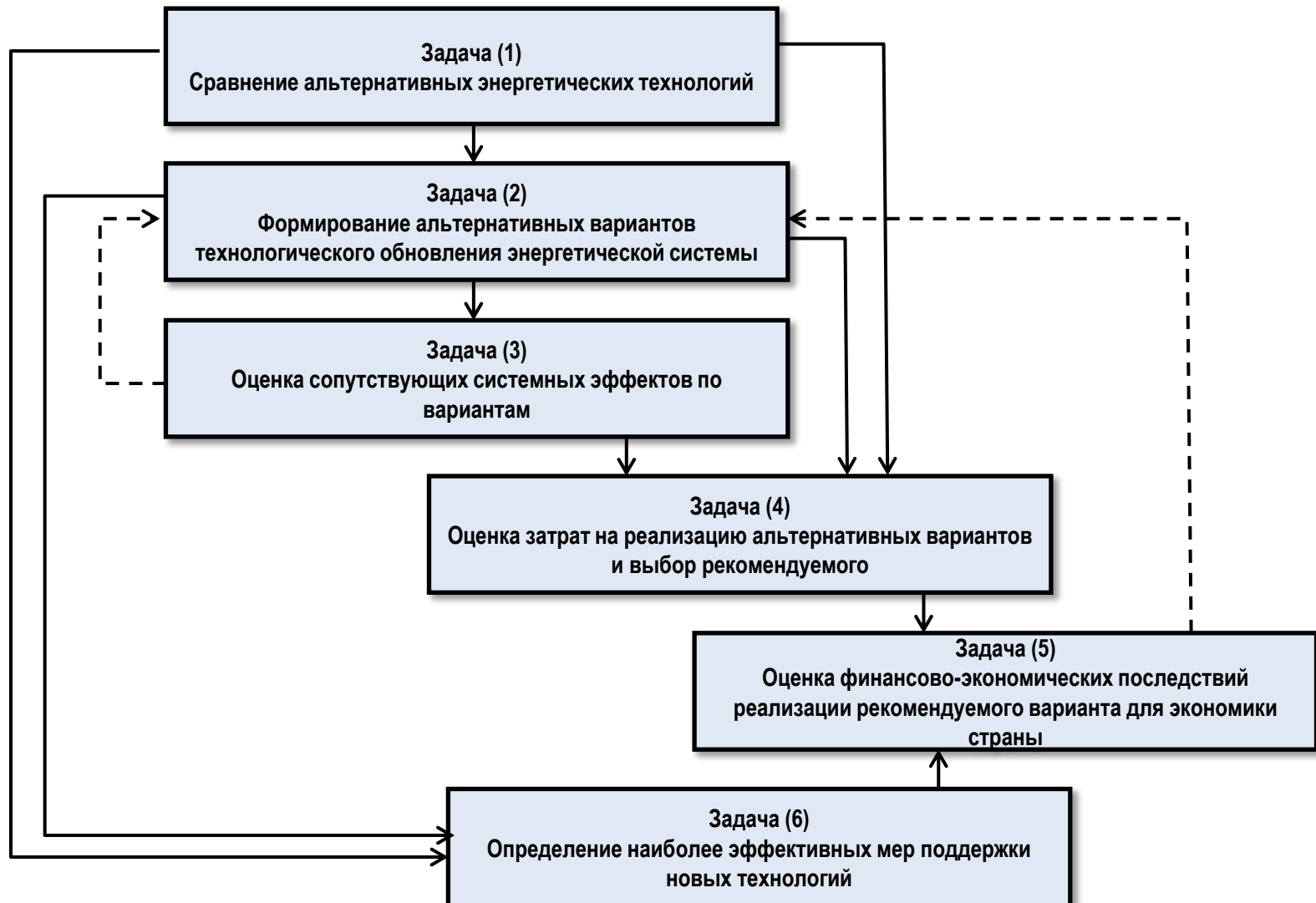


Прогноз НТР энергетики в современных условиях

Задачей прогноза НТР в сфере энергетики является системное обоснование направлений технологического обновления энергетического комплекса страны, исходя из совокупности требований:



Декомпозиция задач Прогноза НТР энергетики



Характеристика расчетных задач Прогноза НТР энергетики

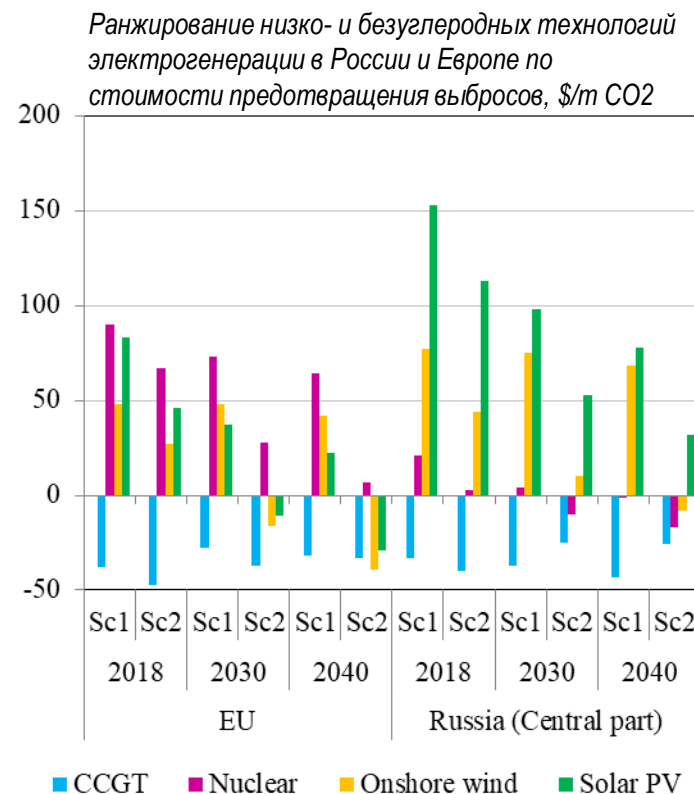
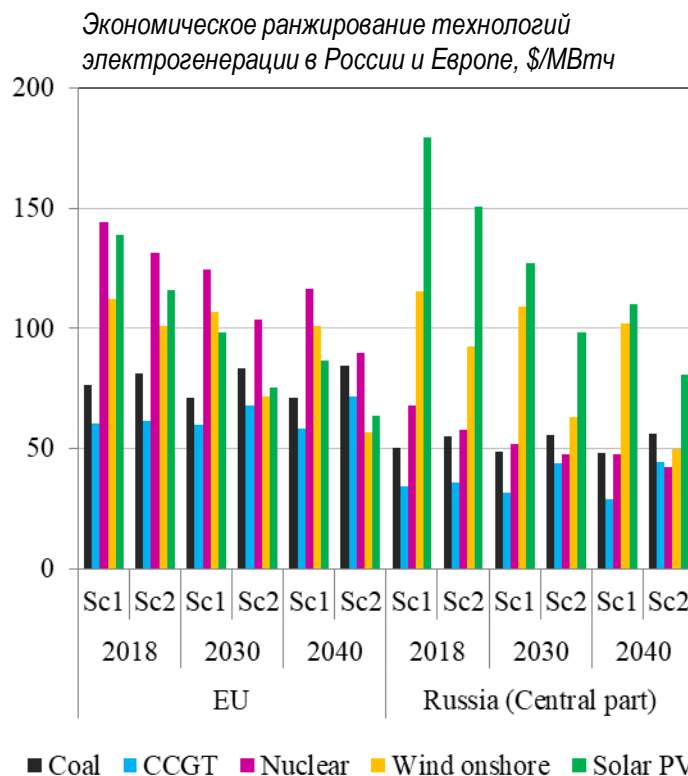
Задача (1) - анализ альтернативных энерготехнологий внутри классов и выбор наиболее эффективных для общесистемной оценки

Функциональный класс энерготехнологий	Используемые ресурсы и способы их преобразования
Производство электроэнергии (генерация с гарантированной мощностью)	ГЭС, АЭС с реакторами разных типов, ТЭС на газе (ПСУ разных параметров пара, ПГУ, ГТУ, с улавливанием CO ₂), ТЭС на угле (ПСУ разных параметров пара, с улавливанием CO ₂), ГеоТЭС, топливные элементы и проч.
Производство электроэнергии (негарантированная выработка на базе ВИЭ)	ВЭС (в т.ч. с накопителями), СЭС (в т.ч. с накопителями), концентраторы СЭС
Производство тепловой энергии	Котельные на газу и угле, электрокотельные, тепловые насосы, технологии использования вторичных энергоресурсов
Комбинированное производство электро- и тепловой энергии	ТЭЦ на газе, биогазе (ПСУ, ПГУ, ГТУ, с улавливанием CO ₂), ТЭЦ на угле (ПСУ, с улавливанием CO ₂), ТЭЦ на твердой биомассе, ТКО, АТЭЦ, ГеоТЭЦ, комбинированные схемы электростанций и котельных
Производство водорода	Электролиз, мембраны, паровая конверсия метана, пиролиз метана и проч.
Автомобильный транспорт по типам (легковой, городской пассажирский, коммерческий грузовой, тяжелый грузовой)	Бензин, дизельное топливо, биодизель, газомоторное топливо, электроэнергия, водород
Накопители электроэнергии	Гидроаккумулирующие станции, электрохимические накопители, сжатый воздух, схемы с производством и использованием водорода

Характеристика расчетных задач Прогноза НТР энергетики

Задача (1) - анализ альтернативных (конкурирующих) энерготехнологий внутри классов и выбор наиболее эффективных для общесистемной оценки

- Экономическое ранжирование - сравнение конкурирующих энерготехнологий по показателям удельной стоимости (levelized cost) или стоимости владения (cost of ownership)
- Ранжирование по стоимости декарбонизации – сравнение по стоимости предотвращения выбросов (carbon avoided cost)

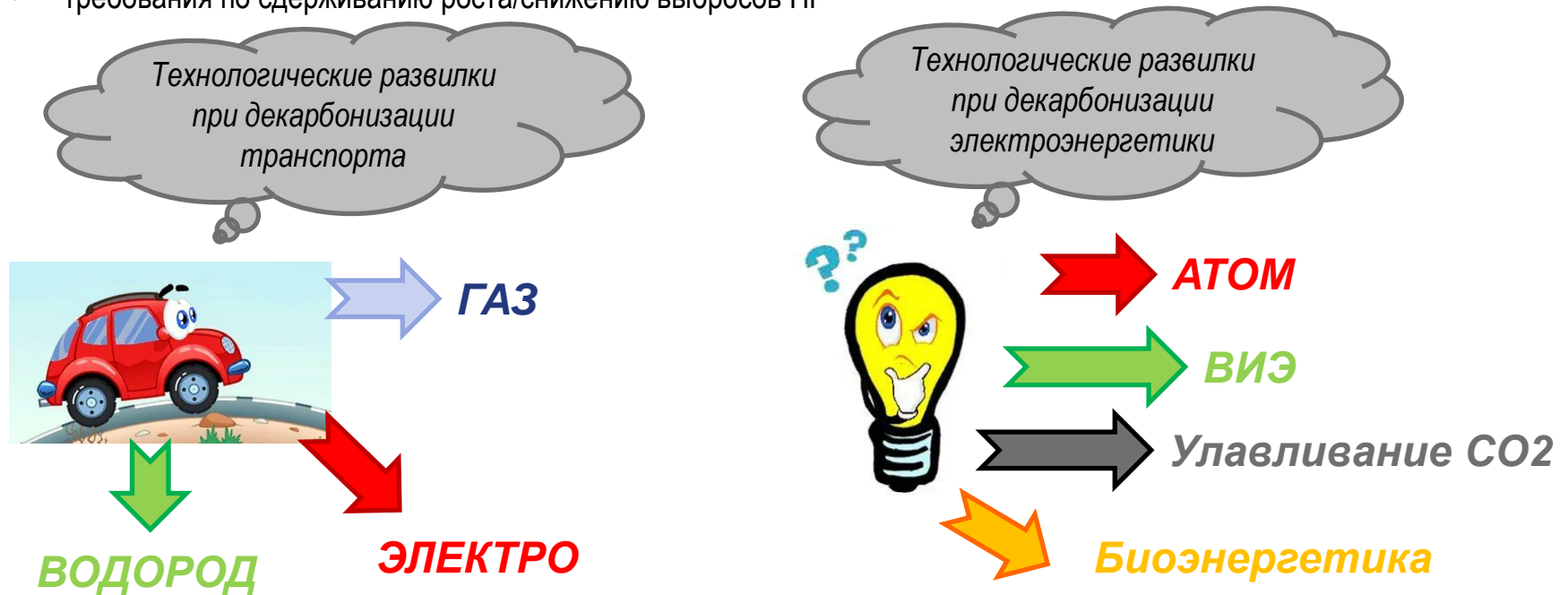


Comparative economic analysis of technological priorities for low-carbon transformation of electric power industry in Russia and the EU / F. Veselov, T. Pankrushina, A. Khorshev // Energy Policy. – 2021. – Vol. 156. – P. 112409. – DOI 10.1016/j.enpol.2021.112409.

Характеристика расчетных задач Прогноза НТР энергетики

Задача (2) - формирование альтернативных вариантов технологического обновления энергетики страны, различающихся составом и масштабами применения новых технологий в энергопроизводстве и энергопотреблении:

- прогноз спроса в секторе конечного энергопотребления на различные виды топлива и энергии, сформированный в увязке с прогнозом социально-экономического развития страны, учитывающий изменение отраслевой структуры экономики, численности и динамики доходов населения
- альтернативные направления технологического развития в отраслях («технологические развилки»), варианты диверсифицированной структуры с учетом ограничений в смежных отраслях (оборудование, строительство, подготовка кадров)
- требования по сдерживанию роста/снижению выбросов ПГ



Характеристика расчетных задач Прогноза НТР энергетики

Задача (3) - оценка по каждому из альтернативных вариантов сопутствующих системных эффектов – дополнительных мер, обеспечивающих адаптацию отраслевых сегментов ТЭК к массовому появлению тех или иных новых технологий.

Технология	Системные эффекты в электроэнергетике и теплоснабжении	Системные эффекты в топливных отраслях
Электростанции на базе ВИЭ (ветряные и солнечные)	- увеличение объемов резервной мощности - мероприятия по повышению регулировочных возможностей (гибкости в энергосистеме) за счет (а) повышения маневренности существующих блоков ТЭС (включая ТЭЦ), (б) развития пиковых источников электроэнергии, (в) развития накопителей электроэнергии разного типа (включая ГАЭС) - изменение режимов работы оборудования ТЭС - усиление распределительной сети для выдачи мощности от ВИЭ-электростанций и балансирования перетоками, рост потерь из-за роста объемов передачи	снижение спроса на котельно-печное топливо со стороны электростанций
Электротранспорт	- дополнительный спрос на электроэнергию и пиковую мощность - мероприятия по повышению регулировочных возможностей (гибкости в энергосистеме) за счет (а) повышения маневренности существующих блоков ТЭС (включая ТЭЦ), (б) развития пиковых источников электроэнергии, (в) развития накопителей электроэнергии разного типа (включая ГАЭС) - усиление распределительной электрической сети для развития зарядной инфраструктуры	снижение спроса на моторное нефтетопливо
Газомоторный транспорт	-	- снижение спроса на моторное нефтетопливо - дополнительный спрос на газ - усиление газораспределительной инфраструктуры

Характеристика расчетных задач Прогноза НТР энергетики

Задача (3) - оценка по каждому из альтернативных вариантов сопутствующих системных эффектов – дополнительных мер, обеспечивающих адаптацию отраслевых сегментов ТЭК к массовому появлению тех или иных новых технологий.

Совокупный прирост электропотребления в транспортном секторе при разных масштабах его электрификации, млрд кВт ч.

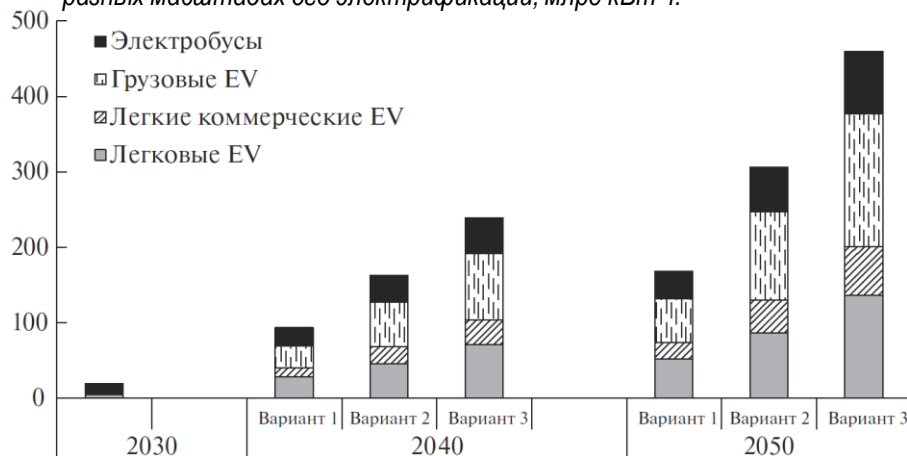
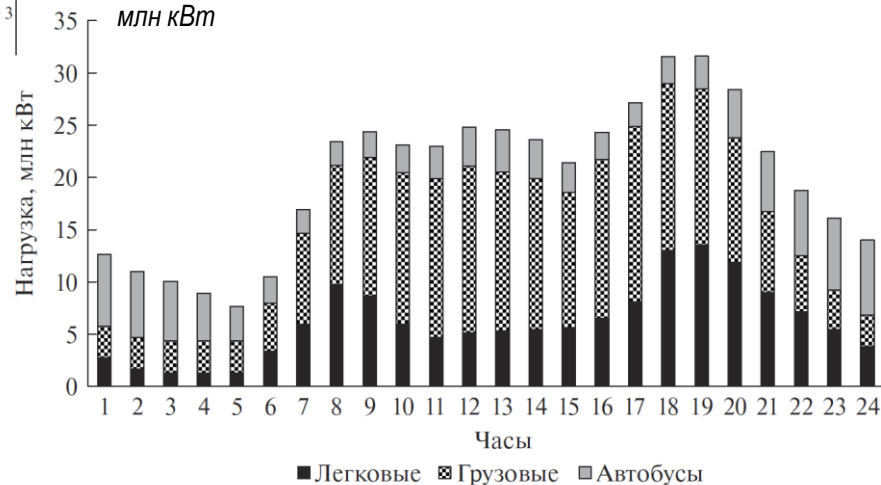


График суточного потребления электротранспорта в 2050 г. (годовое потребление 168 млрд кВт ч, разуплотненный график), млн кВт



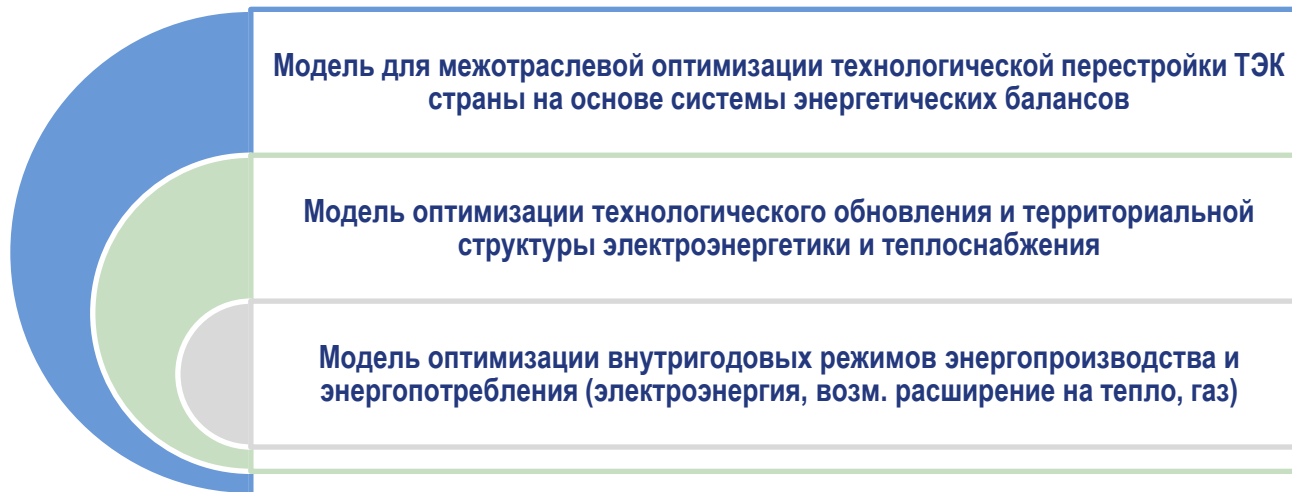
Влияние электрификации в секторе дорожного транспорта на уровень электропотребления и суточный график нагрузки в ЕЭС России / Ф. В. Веселов, А. И. Соляник, Р. О. Аликин // Известия Российской академии наук. Энергетика. – 2023. – № 1. – С. 57-71. – DOI 10.31857/S0002331023010077

Характеристика расчетных задач Прогноза НТР энергетики

Задача (4) - оценка совокупных дисконтированных затрат на реализацию рассматриваемых вариантов технологического обновления (с учетом дополнительных затрат или экономии за счет сопутствующих системных эффектов).

- оценка экономических последствий выбора той или иной системы приоритетов при технологическом обновлении энергетики и ее отдельных отраслей
- определение экономически наилучшего (рекомендуемого) варианта
- оценка чувствительности затрат на реализацию этого варианта при изменении внешних факторов
- исследование возможностей (и приростных затрат) для адаптивного перехода к следующему по эффективности варианту развития при существенном изменении внешней среды.

Применение оптимизационных методов при решении задач 2-4 позволяет перейти от анализа точечных решений к исследованию всей области допустимых решений, автоматизировать поиск наилучшего из возможных вариантов



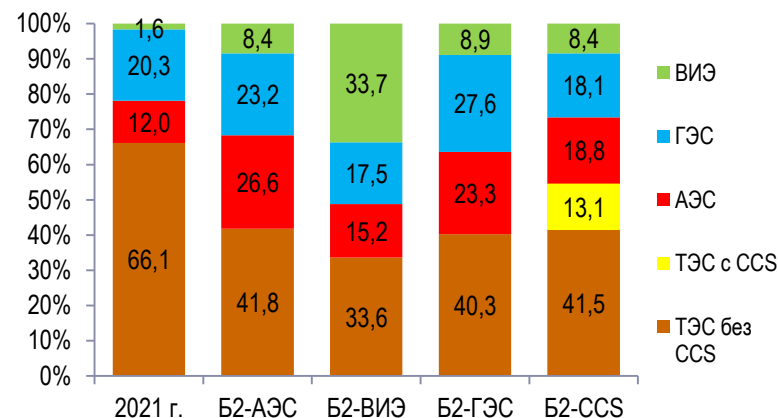
Триада моделей
ИНЭИ РАН для
формирования
сценариев
технологической
трансформации
ТЭК

Характеристика расчетных задач Прогноза НТР энергетики

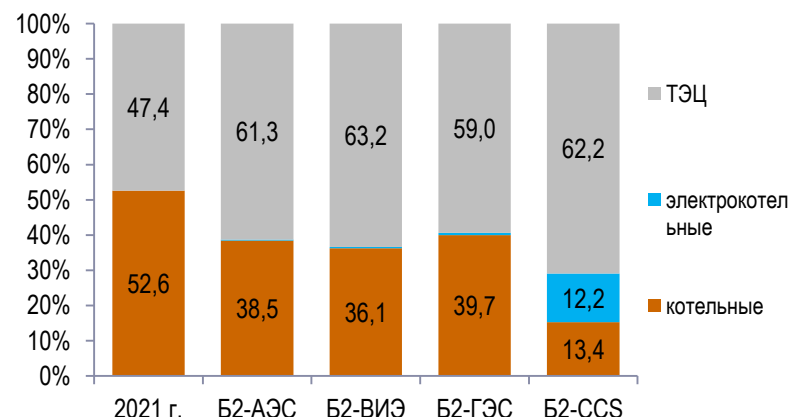
Оценка альтернативных вариантов снижения выбросов при производстве электроэнергии и тепла на 25% к 2050 г. за счет различных технологических стратегий

Показатель	Варианты			
	Б2-АЭС	Б2-ВИЭ	Б2-ГЭС	Б2-CCS
Выбросы ПГ в 2050 г. – всего, % от уровня 2021 г., в т. ч.	75	75	75	75
Котельные	51	50	52	33
ТЭС	84	84	83	91
Доля неуглеродных источников в структуре производства электроэнергии в 2050 г., %	64,4	63,7	65,0	47,4
Уровень электрификации теплоснабжения в 2050 г., %	0,2	0,3	0,6	12,2
Потребление топлива в 2050 г., млн т у.т., в т. ч.				
Газ	226,0	229,5	227,8	232,7
Уголь	30,1	29,4	28,4	107,9
Суммарные капиталовложения до 2050 г., в % относительно варианта Б2-АЭС, из них	-	+13,3	+6,9	+39,8
Суммарные дисконтированные затраты на энергоснабжение экономики (с учетом последствий), в % относительно варианта Б2-АЭС	-	+0,8	+0,4	+8,1

Структура генерирующей мощности в ЕЭС России в 2050 г.



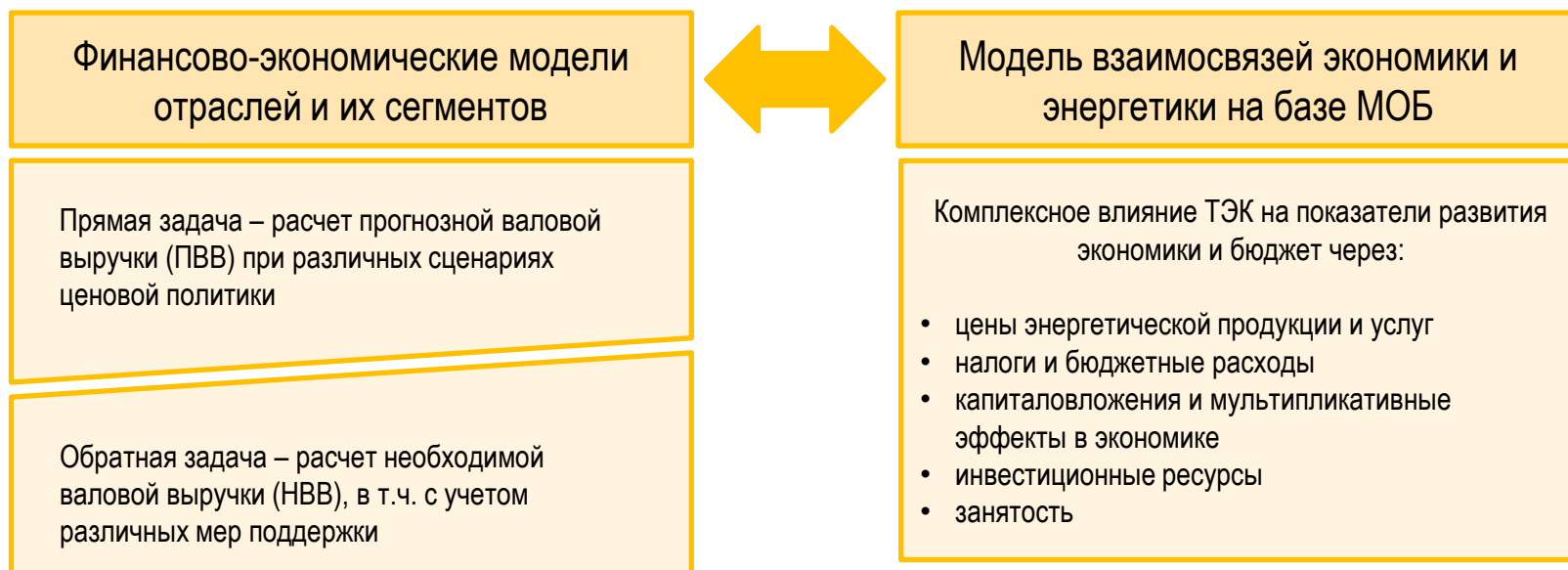
Структура производства тепла в ЕЭС России в 2050 г.



Характеристика расчетных задач Прогноза НТР энергетики

Задача (5) - оценка финансово-экономических последствий реализации выбранного варианта технологического обновления энергетики для экономики страны, включая ценовую и инвестиционную нагрузку, рост энергетических затрат потребителей, вклад в формирование бюджета и общий рост ВВП.

Задача (6) - Выбор наиболее эффективных мер поддержки новых технологий (ценовые/тарифные, налоговые, кредитные, инвестиционные, инфраструктурные, регуляторные и проч.), обеспечивающие их коммерческую привлекательность/востребованность у энергетических компаний или потребителей



Модели ИНЭИ РАН, используемые для финансово-экономической оценки сценариев технологической трансформации ТЭК

Заключение. Выводы

Будущий технологический облик энергетики определяется набором разнородных требований, включая доступность и надежность энергоснабжения, технологическую независимость, глобальную конкурентоспособность энергопроизводства. Все большую роль играют экологические и климатические требования, связанные с декарбонизацией экономики.

Системный подход к формированию прогноза НТР позволяет выделить несколько взаимосвязанных (в т.ч. итеративно) задач:

- сравнение альтернативных энергетических технологий,
- формирование альтернативных вариантов технологического обновления энергетики,
- оценка сопутствующих системных эффектов по вариантам,
- оценка затрат на реализацию альтернативных вариантов и выбор рекомендуемого,
- оценка финансово-экономических последствий реализации рекомендуемого варианта для экономики страны,
- определение наиболее эффективных мер поддержки новых технологий.

Для решения этой совокупности задач ведущую роль играют оптимизационные модели, обеспечивающие выбор наилучшего (по минимуму стоимости энергоснабжения) технологический облик всей энергетики и ее отдельных отраслей с учетом экологических, инвестиционных (финансовых), режимных ограничений, а также с учетом межотраслевых последствий и влияния на динамику экономического роста.

Прогнозирование научно-технологического развития национальной энергетики является важной частью системы стратегического планирования. Поэтому при создании эффективной модельно-информационной системы для обоснования параметров НТР в энергетике России важно обеспечить интеграцию (вплоть до общих модельных инструментов) с аналогичными работами по усилению прогнозной составляющей в системе стратегического планирования, прежде всего – связанными с формированием сценариев декарбонизации экономики и энергетики России.

Институт энергетических исследований РАН

www.eriras.ru

info@eriras.ru, erifedor@mail.ru

Спасибо за внимание!