



ПОЛВЕКА СИСТЕМНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИКИ СССР И РОССИИ – А ЧТО ДАЛЕЕ?

(с) 2020, д. э. н., академик Макаров А. А.

Институт энергетических исследований РАН,
117186, Россия, Москва, ул. Нагорная, д. 31, корп. 2
<https://www.eriras.ru>, e-mail: makarov_ire@zmail.ru

Отмечаемое в этом году столетие принятия плана ГОЭЛРО знаменательно и для энергетической науки: использованный при его разработке комплексно-энергетический метод исследований развивался 50 лет спустя в методологию системных исследований развития энергетики. Рассмотрены доступные автору публикации по предпосылкам для её возникновения и дана характеристика основных научно-методических и прикладных результатов. Они представлены хронологически по этапам: 1970-1980 гг. - создание теории, базовых методов и моделей; 1981-1991 гг. - применение в практике планирования развития энергетики СССР; 1992-1998 гг. - формирование задач управления развитием энергетики в реформируемой России; 1999-2008 гг. - использование адаптированных инструментов системных исследований в рыночных условиях; 2009-2019 гг. - совершенствование инструментов.

Обсуждаются направления развития и возможные приложения этого научного направления в альтернативных – *мобилизационной* или *либеральной* - концепциях организации «информационного общества» будущего (2035-2050 гг.).

Рассмотрены публикации по управлению *развитием* больших систем энергетики, а аспекты их оптимального *функционирования* были предметом другого обзора¹.

Ключевые слова: энергетика, топливно-энергетический комплекс, системные исследования, планирование развития, математические модели, оптимизация

Предпосылки системных исследований развития энергетики. Первое в мире долгосрочное видение развития энергетики во взаимосвязи с экономикой – государственный план электрификации России (План ГОЭЛРО) [1], имея пропагандистско-политическое назначение, сделал революцию в управлении экономикой. В течение 9 месяцев его разработки сформированная Г.М. Кржижановским [2] команда видных учёных и талантливых инженеров не могла заниматься методическими изысками. Тем не менее, материалы Плана демонстрируют передовые для того времени постановки задачи исследования, приёмы обоснования и выбора эффективных решений. Л.А. Мелентьев 60 лет спустя показал, что в плане ГОЭЛРО «...заложена основная идеология народнохозяйственного планирования, базирующаяся на рассмотрении электрификации как ведущего звена развития экономики, и в то же время идеология научного понимания энергетики как единого целого» и конкретизировал это по шести «главным чертам» [3, стр. 73]. Н.Н. Моисеев характеризовал план ГОЭЛРО как первый опыт

¹ Системные исследования в энергетике: ретроспектива научных направлений СЭИ – ИСЭМ. Отв. ред. Н. И. Воропай. Новосибирск: Наука. 2010 – 686 с. Монографии по развитию энергетики из библиографии этой книги вошли в наш обзор, но иначе структурированы, дополнены публикациями последних лет и, главное, других организаций.

применения программно-целевого подхода к задачам экономического планирования [4].

Суровый опыт сталинских пятилеток, второй мировой войны и восстановления народного хозяйства показал огромные мобилизационные возможности плановой экономики и её топливно-энергетической базы, но не дал принципиальных продвижений в методологии и средствах планирования [5, таб. 4]. А к середине 1960-ых гг. созрели предпосылки для качественного скачка в методологии, методах и средствах планирования развития энергетики как одной из основ экономики страны:

- сложилось понимание энергетики как «...совокупности процессов получения, преобразования, распределения и использования потребителями энергетических ресурсов (топлива, энергии рек, ветра, солнца и т. д.) и всех видов энергии» [6 с. 9] и энергетического баланса как метода «...комплексной количественной и качественной характеристики производства и использования топлива и энергии всех видов в национальном хозяйстве в целом, по его отраслям и районам страны» [6 с. 13];
- разработанная Л.В. Канторовичем математическая теория и методы поиска экстремума выпуклых функций на многомерном пространстве линейных ограничений [7], а также их экономическая интерпретация [8, 9] открыли путь к постановке и решению сложных задач оптимального управления и планирования развития экономики, включая оптимизацию топливно-энергетических балансов;
- создание в начале 1950-ых гг. и всё большее применение электронных вычислительных машин (ЭВМ) [10, 11] в научных исследованиях и разработках сделало физически возможным выполнение недоступного ранее объёма вычислительных работ, необходимых для реализации первой (расчёты энергетических балансов производства и потребления всех видов энергоресурсов по территории страны) и особенно второй (оптимизация этих процессов при функционировании и развитии энергетики) предпосылки.

Новая методическая и вычислительная база сделала 1960-ые гг. временем «бури и натиска» в разработках разнообразных экономико-математических моделей и методов оптимизации решений в области энергетики и применении их для решения задач развития энергетического хозяйства страны. Это научное направление возглавил созданный 60 лет назад Сибирский энергетический институт СО АН СССР (СЭИ) разработкой методов определения оптимальной структуры перспективного энергетического баланса. В [14] была адаптирована к условиям энергетики и принципиально обогащена пионерная постановка [12] и параллельно с [13] решалась задача оптимизации поставок взаимозаменяемых продуктов. В [15, 16] описаны первые математические модели для планирования развития топливно-энергетического хозяйства и выпущена коллективная монография по методам применения ЭВМ в энергетических расчётах [17]. Продолжение это направление получило через два года в тематическом сборнике [18] по методам математического моделирования в энергетике.

Проблематика формирования оптимального топливно-энергетического баланса страны дополнялась задачами оптимизации развития электроэнергетики [19 - 22], газовой [23, 24], нефтяной [25, 26] и угольной [27, 28] промышленности и развития энергетического хозяйства регионов страны [29].

А в 1967 г. Л. А. Мелентьев интерпретировал в [30] проблему оптимизации сложных экономических систем (на примере энергетики) в категориях общей теории систем [31, 32], сформулированной ранее Л. Берталанфи [33].

Теория, методы и приложения системных исследований развития энергетики в СССР². Согласно [31, 33], *методология системных исследований* изучает объекты и явления окружающего мира, которые:

- обладают свойством целого, отличающимся от суммы свойств их составных частей,
- имеют сложные внутренние и внешние связи и синергические эффекты взаимодействия элементов, формирующие основные факторы роста эффективности систем - концентрацию, централизацию, комбинирование и специализацию основных составляющих их хозяйственной деятельности,
- включают объект, органы и механизмы (в том числе финансовые) управления, обычно сложной иерархической структуры,
- подчиняются принципу наименьшего действия, оптимизируя свою деятельность,
- имеют неопределённое будущее состояние и поведение, что создаёт риски принимаемых решений и требует адаптивного управления их функционированием и развитием.

Инструментарием системного подхода стал *системный анализ*, обеспечивающий совершенствование существующих и разработку новых средств изучения специфики функционирования и развития систем для обоснования эффективных решений. Его основой служит математическое описание и компьютерная имитация эволюции а) природных, производственных и социально-экономических характеристик системы, размещения и связей её элементов во взаимодействии с другими системами, б) условий и механизмов управления и в) критериев эффективности её функционирования и развития.

Определение состава и взаимосвязей систем обеспечения человеческой деятельности всеми видами энергии, изучение их состояния и перспектив с целью повышения эффективности являются *предметом* системных исследований энергетики³. Отказ от стремления получать результаты «в общем виде» или в форме универсальных правил и нацеленность на *математическое описание (моделирование)* конкретной проблемы во всём многообразии её аспектов и связей составляют основное содержание системных исследований вообще и развития энергетики в частности.

Потребовалось несколько лет, чтобы корректно представить в терминах формальной задачи линейного программирования (решаемой методом Л.В. Канторовича [9]) многообразие видов топлива и энергии, источников их получения, маршрутов транспортировки потребителям, разнообразии технологий и режимов (суточных, недельных, годовых) производства, переработки и потребления. Ещё сложнее было формализовать развитие этих процессов во времени с реконструкцией и выводом из эксплуатации действующих предприятий и строительством новых, что в свою очередь требовало описания производства продукции смежных отраслей экономики. Оптимальное реше-

2 Быстрый рост количества журнальных публикаций вынудил здесь и далее ограничить обзор только доступными монографиями, которые имеют государственную регистрацию – индекс-шифр или ISBN.

3 Параллельно выполнялись и взаимно обогащались системные исследования развития транспорта – см. Лившиц В.Н. Системный анализ экономических процессов на транспорте. М.: Транспорт, 1986 - 246 с.

ние этой необозримой задачи нужно было искать в условиях неопределённости (в лучшем случае – вероятности) значений всех используемых в модели численных показателей. Полная постановка такой задачи не существует, а до начала 1970-ых гг. плодились задачи оптимизации развития разных частей энергетики.

Сложный процесс поиска путей достаточно корректного и приемлемого по вычислительным возможностям ЭВМ решения этой «сверхзадачи» отображён в табл. 1. В ней представлены доступные автору советские монографии и нормативные документы по тематике системных исследований развития энергетики. Они сгруппированы по этапам развития теории и методов (1970 – 1980 гг.) и начала их использования в практике планирования (1981 – 1991 гг.), а также по *аспектам* (теория и методы, модели, приложения) и объектам (страна, отрасли, районы) их содержания. Нумерация соответствует времени издания соответствующих публикаций⁴.

Основными задачами теории системных исследований развития энергетики были:

- а) структуризация энергетического хозяйства страны в виде систем по производственному (отрасли, предприятия...) и территориальному (республики, экономические районы...) признакам;
- б) разработка методологии и методов согласования планов оптимального развития во всей иерархии систем;
- в) определение состава и силы проявления основных свойств систем разного уровня и создание методов их учёта при оптимизации развития систем энергетики.

Таблица 1 – Структуризация публикаций по системным исследованиям (СИ) развития энергетики в СССР*.

Этап	Теория, базовые методы и модели СИ 1970 – 1980 гг.			Начало применения СИ в планировании 1981 – 1991 гг.		
	страна	отрасли	районы	страна	отрасли	районы
Аспект						
Теория и методы СИ	34, 35, 38, 40, 42 – 45			57, 59, 62, 63, 73		
Модели и методики СИ	34, 35, 36, 37, 43, 44- 46	34, 35, 36, 41, 43, 46, 47, 48,	34, 35, 36, 37, 41, 43, 45, 46	51 - 56, 60, 61, 63 – 65, 73	51, 53, 60, 61, 63 - 65, 70, 71	51, 53, 60, 61, 63 - 65
Приложения СИ	39, 49			57, 58, 64, 69, 72 - 75		

*Номера по списку публикаций.

В 1970 г. на всесоюзном симпозиуме [34] стартовал процесс формирования теории и методов системных исследований развития энергетики. Большие системы энергетики (БСЭ) трактовались как иерархически организованные человеко-машинные системы сложной структуры, функционирующие при неполной информации. Появились десятки журнальных статей и локальных публикаций, где обсуждались теоретические проблемы, методы и инструменты (математические модели) для исследования структуры и свойств БСЭ и решения широкого круга задач их развития. Применительно к задачам оптимального планирования развития энергетики эти наработки в научно-методическом

⁴ По содержанию многие публикации в табл. 1, 2 относятся к нескольким аспектам и/или объектам планирования развития энергетики и указаны в каждом из них.

аспекте обобщила монография [35], а возможность использования их в практике планирования и проектирования закрепили руководящие документы [36, 37].

Л.А. Мелентьев в [38] на фоне обзора эволюции энергетики мира, США и Западной Европы конкретизировал задачи оптимального управления развитием общеэнергетической системы СССР и входящих в неё электроэнергетической, ядерно-энергетической и трубопроводной систем. Начало разработки автоматизированной системы плановых расчётов (АСПР) для Госплана СССР [39] открыло возможности коренного улучшения организации планирования развития экономики страны и энергетика лидировала в разработке автоматизированных систем развития межотраслевых комплексов.

В результате к концу 1970-ых гг. в СССР сложилось достаточно целостное и полное научное направление – системные исследования в энергетике. Его теоретическую и методическую части составляют [42]:

- изучение природы исследуемых систем, состава и силы проявления объективных тенденций их развития, исследование структуры, внешних и внутренних связей, а также свойств (стохастичность, динамичность, управляемость) и особенностей их проявления;
- совершенствование методов исследования систем энергетики, включая построение их адекватных математических моделей, разработку методов оптимизации динамики при неполной информации об условиях и целях развития систем, а также формирование более совершенных моделей и процедур принятия решений;
- совершенствование информационного обеспечения систем энергетики, в том числе средств сбора, обработки и передачи информации, её верификации и использования.

Названные научнометодические аспекты системных исследований развития энергетики были разработаны в монографиях по методам и моделям, посвящённых:

- согласованию решений в иерархии отраслевых и территориальных систем энергетики, где методами итеративного агрегирования оптимизируются решения разных уровней иерархии [43], а методами блочного программирования – развитие систем каждого иерархического уровня [45];
- определению влияния развития топливно-энергетических отраслей на производственную программу обеспечивающих отраслей экономики [44] и оптимизации взаимосвязей развития энергетики и экономики [52];
- принятию оптимальных решений по развитию БСЭ в условиях неопределённости исходной информации и выбору критериев оптимизации решений [40, 45].

Практические результаты исследования состояния и перспектив развития на 10-15 лет ТЭК и электроэнергетики СССР, основные программы развития ТЭК и особенности топливоснабжения крупных районов страны были представлены в [46]. Там же выполнен анализ устойчивости и определены рекомендуемые значения замыкающих затрат на топливо по районам страны – как инструмента согласования результатов разнообразных технико-экономических расчётов в энергетике с оптимальным развитием ТЭК страны.

Дополнял это системный подход к управлению развитием теплоснабжения [41] и электроэ-

нергетики [47], ядерно-энергетической системы [48] и систем газоснабжения [51], а также взаимосвязей в развитии энергетики и экономики [52, 55]. Разрабатывались также альтернативные модели и методы прогнозирования развития топливно-энергетического комплекса [53, 56]. А практическое использование методов системного анализа развития энергетики было закреплено разработкой первой очереди подсистемы «Топливо-энергетический комплекс» АСПР Госплана СССР [49].

Активное участие советских специалистов в энергетическом проекте созданного в 1972 г. Международного института прикладного системного анализа (IIASA) показало лидирующее место СССР в разработке теории и методов системных исследований развития энергетики [50, 54].

Методы и модели системных исследований развития энергетики прошли «боевое крещение» при разработке в 1979-80 гг. Энергетической программы СССР на длительную перспективу [58]. Различные сценарии оптимального развития энергетического комплекса и его отраслей на период до 2000 г. рассчитывались в вычислительном центре Госплана СССР и анализировались по их влиянию на развитие экономики страны. Результаты этих исследований укрупнённо представлены в [57] и были включены в задания очередного пятилетнего плана развития народного хозяйства СССР. А в методическом плане они были учтены во втором издании монографии по системным исследованиям в энергетике [59].

По результатам разработки Энергетической программы и для «исследования закономерностей и свойств развития энергетики и её связей с экономикой» 35 лет назад был создан Институт энергетических исследований АН СССР (ИНЭИ) во главе с академиком Л.А. Мелентьевым. Совместно с СЭИ и Институтом топливно-энергетических проблем Госплана СССР он разработал методические материалы по определению и использованию приведенных и замыкающих затрат на топливо и энергию [60] и методические рекомендации по технико-экономическому обоснованию проектных решений в энергетике при неоднозначности исходной информации [61]. Опыт системных исследований был обобщён в монографиях СЭИ и ИНЭИ по теоретическим основам системных исследований в энергетике [62], методам исследования и управления системами энергетики [63] и решению комплексных проблем развития энергетики страны [64] и регионов [65].

Однако с середины 1980-х гг. СССР теряет лидерство в методах и инструментах (особенно в производительности ЭВМ) системных исследований развития энергетики. США создают национальную энергетическую модель MARKAL [66], затем IIASA разрабатывает [67] и совершенствует модель развития мировой энергетики MESSAGE с учетом её влияния на окружающую среду [68], а Международное энергетическое агентство систематически использует эти и всё более мощные средства системного анализа для прогнозирования развития энергетики мира и его регионов.

В конце 1980-ых гг. системными методами была разработана Комплексная программы научно-технического прогресса (раздел ТЭК) [70] и оптимизировалось развитие отраслевых [71] систем энергетики, минимизировалась эмиссия энергетикой парниковых газов [72] и исследовалась живучесть больших систем энергетики в условиях масштабной войны [73]. Но прогрессирующее замедление развития экономики и ломка внешней политики страны к концу 1980-х гг. сделали неактуальными основные положения и прогнозы Энергетической программы СССР [57, 58]. Это побудило Академию наук разработать и обсудить на мировом уровне обновлённую концепцию развития энергетики СССР до 2010 г. [74, 75], но было уже поздно...

Резюмируя результаты применения в СССР методов системных исследований развития энергетики, испытываешь двойственность. Теоретически они имманентны системе централизованного планирования и успешно применялись для подготовки долгосрочных программ развития - энергетической и научно-технической. При разработке же в Госплане наиболее значимых (годовой и пятилетних) планов развития энергетики как части экономики страны средства АСПР использовались лишь для выполнения обосновывающих вариантных расчётов. Не оправдались большие надежды 1970-х гг. на то, что методы системных исследований принципиально ускорят развитие экономики. Ухудшение в 1980-ые гг. после рыночной реформы А.Н. Косыгина хозяйственной дисциплины и усилившееся искажение исходной и отчётной информации обесценивали использование формализованных методов планирования развития энергетики.

Методы и приложения системных исследований развития энергетики в России. Распад СССР и переход России к «рынку» разрушил систему и органы плановой экономики. Уже в 1992 г. Академия наук инициативно разработала (с Министерством энергетики) и Правительство приняло Концепцию энергетической политики России в новых экономических условиях [76]. С этого началось использование в рыночных условиях методов и инструментов системных исследований развития энергетики.

В их направленности выделяются три временных периода: в 1992-98 гг. формировались задачи государства по средне- и долгосрочному развитию энергетики, в 1999-2008 гг. разрабатывались государственные документы стратегического планирования, а в 2009-20 гг. стала очевидна неосуществимость перспективных планов развития экономики и энергетики страны и системные исследования переключились на перспективы развития энергетики мира и России (см. блоки столбцов табл. 2).

Рост значимости экспорта топлива для экономики России расширил прежние объекты исследования прогнозами развития энергетики мира и его регионов (см. строки табл. 2), а к прогнозированию развития отечественной энергетики добавились аспекты обеспечения энергетической безопасности страны и организации энергетических рынков. Теоретического багажа советского периода хватало для описания особенностей рыночной ситуации. Поэтому системные исследования развития энергетики России сосредоточились на (1) совершенствовании методов и моделей, (2) выполнении прикладных работ по развитию энергетики.

Таблица 2 – Структуризация публикаций по системным исследованиям развития энергетики в России*.

Этап		Формирование задач развития энергетики РФ: 1992 – 1998 гг.			Разработка инструментов и обоснований развития энергетики РФ: 1999 – 2008 гг.			Исследование путей развития энергетики мира, его регионов и России: 2009 – 2019 гг.	
Аспект		Прогнозирование	Энергобезопасность	Энергорынок	Прогнозирование	Энергобезопасность	Энергорынок	Прогнозирование	Энергобезопасность
Объект									
Мир и его регионы		89, 90, 91			95, 104, 105, 110, 114	95, 102	105	115, 126-128, 130-133, 135, 137, 139, 143, 144, 151, 153	125
Страна	1	77, 79-82, 86-88, 90	82, 93	85	94, 97-101, 104, 105, 110, 117	97, 102	104, 105, 109	116, 126, 129-136, 138-140, 143, 144, 146-149, 151, 152	124, 125, 141
	2	76, 78, 86			98, 99, 101	99, 101		118, 132, 133, 137	
Отрасли	1	79, 86-91			96, 97, 100, 101, 107-109, 111-114	102, 105	105, 108, 109	117, 119, 120, 129-133, 135, 138, 139, 142-145, 147-152	
	2	86, 87, 89			99, 101, 107	101		118, 131, 132	
Районы	1	79, 83, 84			99, 100, 101, 103, 110	97, 102	105	125, 128-131, 134, 137	124, 125
	2	83, 84, 86			96, 97, 99, 101, 106			118, 121-123, 138, 139	

*Номера по списку публикаций. Обозначения: 1 – монографии по методам и моделям, 2 – публикации прикладных системных исследований.

1992 – 1998 гг. Была сформулирована концепция энергетической политики [77], разработан прогноз развития энергетики России [78] и подготовлен проект закона РФ «Об основах энергетической политики» [79], определявшего цели, задачи, приоритеты и средства энергетической политики страны. Параллельно велись работы по адаптации методологии [80, 81] и развитию методов системных исследований для решения на уровне страны [82] и регионов (применительно к зонам Сибири и Дальнего Востока) [83, 84] задач развития российской энергетики в рыночных условиях [85].

Эти исследования создали хороший научный задел для разработки Энергетической стратегии РФ на период до 2010 г. [86]⁵ с определением в ней места нефтяной [88] и газовой [89] отраслей, роли энергетического сектора в среднесрочной программе развития экономики России [90], в интеграции стран СНГ [91] и формировании Евразийского энергетического пространства [92], а также в обеспечении энергетической безопасности России [93].

1999 – 2008 гг. Переход к рыночным отношениям потребовал осмыслить состояние и возможности ТЭК России [94]. Ускорение технологического прогресса в мировой энергетике требовало исследования проблем её устойчивого развития [95] и расширения участия России на мировых энергетических рынках в условиях падающего внутреннего спроса. Это усиливало роль ТЭК в экономике страны и ставило задачи его реформирования, что требовало контроля выполнения дей-

5 Мониторинг хода реализации ЭС-2010 показал, что принятые в ней сценарные прогнозы развития ТЭК и его отраслей оказались выполнены по пятилетиям до 2010 г. на 82% [148 табл. 1.2 с. 19-20].

ствовавшей [86] и ставило в повестку дня подготовку следующей версии энергетической стратегии страны с упором на энергетическую и атомную безопасность [96], энергетическую эффективность, региональную энергетическую политику [97] и экологию [98].

Энергетическая стратегия РФ на период до 2020 г. [99] разрабатывалась на принципиально новом модельно-компьютерном комплексе СтраТЭК [100]. С разрушением системы централизованного планирования исчезли необходимые энергетикам источники информации о развитии экономики. В стране ещё не могло быть и ретроспективных данных, достаточных для корректного применения статистических методов прогнозирования. Поэтому инструментарий системных исследований развития энергетики пришлось дополнить полноценной системой *моделей развития экономики*.

Переход к рыночным отношениям заставил адаптировать и расширить возможности советских методов системных исследований развития энергетики, а прогресс вычислительной техники (особенно доступность всё более мощных персональных ЭВМ, объединяемых в сети) позволил на порядки увеличить и усложнить математические модели. Громоздкие *оптимизационные* модели обрамлялись и надстраивались *имитационными* моделями, создаваемыми специалистами для работы в их предметной области. Интеграцию множества частных имитационных моделей в единый инструмент системных исследований развития энергетики обеспечивали *распределённые базы данных*.

Существенно усложнились математические модели развития отраслей ТЭК. Прежде их целью была оптимизации развития и загрузки *производственных мощностей и связей*, а в рынке требовалось оптимизировать также *финансовые потоки и организационные структуры* ТЭК и крупных компаний. Это заставило переходить от многомерных задач линейного программирования к нелинейным задачам намного большей размерности, чтобы исследовать варианты формирования энергетических рынков и реформирования естественных монополий, прежде всего, электроэнергетики и газовой отрасли.

Рыночные отношения по-новому ставили проблему *критериев оптимальности* принимаемых решений. Плановая экономика использовала критерий *экономической (народнохозяйственной) эффективности*. Он корректен и в рыночных условиях для решения таких задач, как разработка энергетической стратегии России. Но большинство практических задач используют локальный *критерий коммерческой эффективности* и нужно настраивать его параметры, чтобы компаниям становились выгодны решения, оптимальные по общенациональному критерию экономической эффективности. Для этого требовалось определить такие значения цен и налогов в отраслях ТЭК, которые обеспечат максимальные темпы роста валового внутреннего продукта страны. Это стало одной из главных задач прогнозирования развития ТЭК в методическом и прикладном аспектах.

Новый инструментарий позволил существенно расширить содержание системных исследований и повысить качество сценарных прогнозов развития энергетики, выполнявшихся при разработке ЭС 2020 г.⁶ Её стратегическими ориентирами были «...энергетическая и экологическая безопасность, а также энергетическая и бюджетная эффективность» [101 с. 173]. Параллельно оценивались и прогнозировались риски чрезвычайных ситуаций в ТЭК страны и регионов [102], совершенство-

6 Развитие ТЭК и его отраслей в период до 2007 г. по некоторым показателям опережало сценарные прогнозы ЭС-2020, но после мирового кризиса 2007-2008 гг. и последовавшего замедления экономики России соответствовало им до 2020 г. на 80% [148 табл. 1.3 с. 20-21].

вались методы модели разработки региональных энергетических программ [103, 106, 110], исследовался мировой опыт формирования энергетических систем [104], а также организации конкурентных рынков в электроэнергетике и его применимость к условиям России [105].

Важной задачей структурной политики ЭС-2020 было «...совершенствование организационной структуры ТЭК ...путём формирования конкурентной среды, в том числе, в ...газовой отрасли и электроэнергетике, стимулирования развития независимых производителей топлива и энергии» [101 с. 175]. На решение этих задач были направлены разработки планов развития электроэнергетики [107], исследования основных параметров [108] и путей реформирования [109] конкурентного рынка газа. Но рекомендации ЭС-2020 по созданию адекватной рыночной среды в энергетике удалось реализовать в гораздо меньшей мере, чем прогнозы развития отраслей ТЭК. Тем не менее, для рыночной реформы электроэнергетики были подготовлены методические основы [111] и разработано видение её развития на период до 2030 г. [112], изучены проблемы развития теплового хозяйства России и пути их решения [113], а также эффективность межгосударственных электрических связей на востоке России [114].

Мировой экономический кризис обрушил в 2008 г. почти на 8% размеры ВВП и на 5% производство всех энергоресурсов, завершив «золотое десятилетие» развития экономики и энергетики России. Со сменой руководства страны прежние цели ускорения экономического роста сменились парадигмой устойчивого развития, а работы по планированию развития энергетики выполнялись всё более формально. ...

2009 – 2019 гг. Уменьшение запросов властей и глобальный экономический кризис⁷ усилили интерес к устойчивому развитию мировой энергетики [115] и методам исследования и прогнозирования взаимосвязей энергетики и экономики [116]. Были обобщён опыт реформирования электроэнергетики России [117], даны предложения к Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2030 г. [118]. Но разработанные для неё Минэкономразвития РФ сценарии развития экономики, в отличие от ЭС-2010 и ЭС-2020, были слишком оптимистичными, что завышало прогнозы внутреннего спроса на топливо и энергию и искажало видение развития ТЭК⁸.

В 2010 г. исполнились полвека Институту систем энергетики (б. СЭИ) и 25 лет ИНЭИ [119]. Возобновились исследования перспектив развития атомной энергетики [120] и энергетики восточных регионов России [121-123]. Методические [124] и содержательные проблемы обеспечения энергетической безопасности страны [125] рассматривались в свете новой роли энергетики в геополитике [126] и с учётом места России в развитии мировой энергетики [127] в её европейском и особенно в азиатском [128] аспектах. Итоги двух прошедших и двух грядущих десятилетий развития ТЭК и экономики России весьма оптимистично обсуждались в [129], но без методологии системного анализа.

ИНЭИ завершил формирование модельно-информационного комплекса SCANNER⁹ [130, 131], который дополнил систему [100] (применявшуюся более 10 лет для прогнозирования развития ТЭК России, его отраслей и регионов) моделями развития мировой энергетики и энергетических рынков.

7 Соизмеримым с Великой депрессией 1929 года назвал этот кризис А. Фаллико (Неолиберальная экономическая модель и социальное неравенство // Эксперт, 2020, № 5 – с. 50 – 55).

8 Прогнозы ЭС-2030 по размерам ВВП России в 2020 г. были завышены в 1,4-1,6 раза и обусловленное этим внутреннее энергопотребление - в 1,1-1,25 раза. Высвободившееся топливо пошло на экспорт и поэтому размеры и структура производства энергоресурсов отличаются от достигнутых ныне всего на несколько процентов [148 рис. 1.1, 1.2 с. 22]

9 Super Complex for Active Navigation in Energy Research.

Комплекс апробировали разработкой прогнозов согласованного развития энергетики мира и России до 2035-2040 гг. [132, 133, 135] с особым вниманием к динамике главных для страны европейских и азиатского рынков топлива. Этим же инструментом исследовались проблемы пространственного развития энергетики России [134]. Отдельно оценивались затраты и выгоды низкоуглеродной энергетики для России [136] и возможности создания в восточной Азии межгосударственного энергообъединения на базе возобновляемых источников энергии [137].

В 2014 г. после многолетних обсуждений был принят федеральный закон о стратегическом планировании в РФ [138], регламентирующий состав и содержание планового процесса в стране. В целом удовлетворительное выполнение предусмотренного им состава и сроков разработки стратегических документов высшего уровня контрастирует с торможением реализации положений о стратегическом планировании развития экономики и её отраслей, особенно энергетики. Начатая в 2013 г. корректировка Энергетической стратегии на период до 2030 г. с её пролонгацией до 2035 г. (ЭС-2035) не была обеспечена. актуальными прогнозами социально-экономического развития страны, а из четырёх отраслей ТЭК только генеральная схема развития электроэнергетики была утверждена правительством. Сократились запросы государства к исследованиям по совершенствованию энергетических рынков и энергетической безопасности страны и регионов. В итоге интересы переключились на обобщение десятилетних наработок по методологии и результатам системных исследований развития энергетики [139], повышению обоснованности долгосрочных прогнозов развития ТЭК [140] и мер обеспечения энергетической безопасности России [141], а также путей инновационного развития электроэнергетики [142, 145].

Специалисты и мощный инструментарий системного анализа в этот период переключились также на исследования проблем развития энергетики мира и России, пока ещё мало используемые правительством и бизнесом. Россия является крупнейшим в мире поставщиком топлив, продавая более половины добываемых энергоресурсов, но (в отличие от США и Международного энергетического агентства) только начала делать регулярные прогнозы развития мировой энергетики. Созданная для этого *системная методология прогнозирования* учитывает ключевые факторы эволюции мировых энергетических рынков [143]. Она применена для обновления прогнозов развития энергетики мира и России с учётом ожидаемых технологических прорывов, изменения состава и поведения основных игроков [143] и ключевых факторов неопределённости развития мировой энергетики [144].

Противоположная по духу *методология энергетического форсайта* изложена и использована в [145] для прогнозирования облика «электрического мира» и формирования концепции электроэнергетической системы будущего - с созданием Глобального энергообъединения с новой генерацией, инновационными сетями и когнитивным управлением..

Удался прорыв в описании развития производственно-хозяйственных систем как множества агентских моделей¹⁰ и применении их в составе комплекса SCANNER для средне- и долгосрочного прогнозирования развития энергетики во взаимодействии с остальными отраслями экономики [146]. Опыт развития методологии и применения межотраслевых моделей экономики для прогнозирования развития энергетики обобщён в [147], а последние достижения в методологии и прило-

10 Развитие системы описывается правилами взаимодействия между собой и с внешним миром автономных агентов (подсистем) со своими условиями (ограничениями) и приоритетами принятия решений.

жения системных исследований в развитии и функционировании энергетики России обобщены в [148].

В [149] исследованы способы и «цена» адаптации энергетики к посткризисному развитию экономики, а в [150] описаны основы экономики и управления современной электроэнергетики России. В [151, 153] рассмотрено влияние технологического прогресса на развитие энергетики мира и интенсификацию энергетического перехода от органического топлива к неуглеродным энергетическим ресурсам. Обусловленные этим угрозы развитию энергетики (уменьшение экспорта топлива) и экономики России и меры по смягчению их негативного воздействия исследованы в [151, 152].

Но эти результаты не учтены в недавно утверждённой Энергетической стратегии РФ на период до 2035 г. (не опубликована).

А что далее? 2035 – 2050 гг.

Системные исследования развития энергетики увлекательны, но их результаты применяются ещё мало и спонтанно. Это демонстрирует табл. 3, где 16 строк основного *состава плановых работ* по планированию развития экономики и энергетики сгруппированы по трём *аспектам* - стадии и средства планирования, источники необходимой информации и состав результатов планирования.

Как отмечалось, при социализме применение системной методологии в энергетике не пошло дальше разработки в Госплане СССР предложений к долгосрочным планам и оптимизационных расчётов к пятилетнему плану – см. столбец 1 в табл. 3.

При государственном капитализме применение инструментов системных исследований (математических моделей) в планировании развития энергетики России расширилось до разработки (с периодичностью около пяти лет) Энергетической стратегии страны, генеральных схем и программ долгосрочного развития отраслей ТЭК, а также корпоративных стратегий компаний с государственным участием. Все уровни планирования ныне оснащены ЭВМ, электронной почтой и интернетом, а крупные предприятия принимают плановые решения по своим прогнозам рынка – столбец 2 в табл. 3.

По закону [138] стратегирование экономики и энергетики России перестроено с применявшегося в СССР *нормативного* (детальный план для каждого предприятия) на *индикативное* планирование целей развития, основных задач и средств их достижения при ограниченном составе количественных индикаторов успешности реализации плана. Именно так была организована прогностическая деятельность в США с 1990-ых гг., а с начала XXI века на близкую концепцию стратегического планирования экономики (и энергетики в её составе) перешёл социалистический Китай [154]. Но в России реализацию индикативного планирования экономики и энергетики помимо отмеченной выше нерегулярности процесса тормозят ангажированность и низкая обоснованность разрабатываемых документов. Действительно, в США (меньше в Китае) вся иерархия индикативного планирования оснащена публично обсуждаемыми модельными прогнозами, которые разрабатывают на *конкурентной основе* хорошо финансируемые мощные исследовательские организации [154]. В России же обоснование стратегий и программ развития экономики фрагментировано (в основном между ослабленными реформой академическими организациями), а их выборочное обсуждение идёт формально и большей частью игнорируется в плановых документах.

Начатые в последние годы разработки концепций и программ «цифровизации» отраслей и компаний России на период до 2024 г. пока ориентированы на сбор и идентификацию доступной информации¹¹ с использованием её лишь в задачах *оперативного* управления предприятием или отраслью экономики. Но бурно идущая в мире четвёртая (цифровая) технологическая революция [155] не оставит альтернативы широкому использованию методов и средств системных исследований для управления *развитием* экономики вообще и энергетики в частности.

Не обсуждая социальные аспекты грядущего информационного общества (см. [156-158]), обрисовем *альтернативные концепции* применения в перспективе 15-25 лет системной методологии и инструментов в планировании развития энергетики как части экономики страны.

Таблица 3 - Аспекты и этапы эволюции системных исследований развития энергетики*

Аспекты и состав работ		Этапы	Плановое хозяйство (СССР в 1980 – 1991 гг.)	Госкапитализм (Россия в 2000 – 2020 гг.)	Информационное общество (2035 - 2050 гг.)	
					мобилизационное	либеральное
Стадии и средства планирования	Глубина разработки планов	До предприятий	Страна, министерство	Планирование до домохозяйств	План отсутствует	
	Применение математических моделей	Госплан, министерства	От страны до предприятий	Система моделей развития энергетики и/или искусственный интеллект	Агентские модели субъектов энергетики и экономики	
	Применение ЭВМ	-//-	-//-			
	Используемые средства связи	Почта, телефон	То же + интернет	Супер-интернет	Супер-интернет	
	Согласование решений в энергетике	Министерство-предприятия	Страна – министерство	От уровня страны до домохозяйств	Модельная имитация работы рынков при неполной информации	
	Учёт взаимосвязей энергетики с экономикой	Министерство детально	Министерство укрупнённо	Включение энергетики в экономику		
	Принятие плановых решений	Министерство Ниже - задачи плана	Страна, предприятия	Верхний уровень управления	Децентрализованное	
Источники информации	От смежников	Мало	Мало	Интегральные базы данных по энергетике, смежникам и потребителям	Формируется при имитации работы рынка	
	Укрупнённо с верхнего уровня	Министерство	Министерство + госкомпании			
	Собственные прогнозы	Мало	Большинство предприятий			
Результаты планирования	Директивный план	В основном	-	Оптимизированные планы развития производства и нормирование потребления энергии	Субъекты рынка принимают свои плановые решения и риски развития	
	Налоги	Государство	Государство			
	Цены	Государство	Государство частично			
	Инвестиционные программы предприятий	Министерство	Министерство для госкомпаний			
	Правила хозяйствования	Государство	Государство	Государство	Экономический совет	
	Совершенствов. планирования	Государство	Государство	Государство	Экономический совет	

*Жирным шрифтом выделены аспекты плановой деятельности с применением инструментов системных исследований.

11 См. например: <http://www.tadviser.ru/index.php/>: Информационные технологии в Федеральной налоговой службе

При неблагоприятной геополитической ситуации в некоторых странах (включая Россию) возможно формирование *мобилизационной* цифровой экономики, когда централизованное планирование доходит до уровня домохозяйств – столбец 3 в табл. 3. По этой концепции планы развития экономики (и энергетики) рассчитываются на *сетях ЭВМ* с использованием *мегасистемы* производственно-территориальных *математических моделей*¹². Входную информацию для них сформируют *нейронные сети* (НС) с использованием всех *баз отчётных данных* и оценкой их погрешности. По результатам оптимизационных расчётов другие НС сформируют представительные *сценарии развития систем* и соответствующую им директивно установленную *матрицу индикативных показателей*. На этой основе компетентные органы принимают плановые решения, которые автоматически детализируются в планы производства и инвестиций, цены и налоги для предприятий, а также в нормы потребления для населения¹³.

Альтернативная концепция либеральной цифровой экономики соответствует оптимистическому профессиональному видению [159] трендов развития и использования информационных технологий – см. столбец 4 в табл. 3. Он предполагает отсутствие даже индикативного плана и *самоорганизацию* всех участников рынка в сложном процессе предвидения будущего. Входную информацию для них сформируют *НС* и по ней на множестве *агентских моделей* участников в *сетях ЭВМ* разрабатывается множество сценариев эволюции экономики. Модератор рынка (Экономический совет) формирует из этих сценариев предпочтительный (по ансамблю критериев максимума объёма и качества роста при минимуме системных рисков) *коридор* развития экономики (включая энергетику). Каждый участник как *децентрализованная автономная организация (ДАО)* может контролировать *блокчейн-технологиями* [160] все информационные процессы и определять *свои будущие возможности и риски*. А коллегиальные органы рынка корректируют правила его работы и совершенствуют требования к инструментарию.

Таким образом, при реализации либеральной цифровой экономики нужно дополнить традиционные методы исследования операций использованием а) нейронных сетей, методов распознавания образов и других средств искусственного интеллекта, б) агентских моделей и методов их взаимодействия, в) технологий распределённого реестра. Неясно, когда и в какой мере реализуется эта концепция, но освоение названных средств существенно продвинет методологию системных исследований развития энергетики.

12 Хотя успешное развитие методов искусственного интеллекта в принципе позволит отказаться от использования математических моделей.

13 В терминах современных информационных технологий изложена идея разработанной в СССР концепции «цифровизации» экономики: Глушков В. М. Макроэкономические модели и принципы построения ОГАС. М.: Статистика, 1975 – 160 с.

Источники

Предпосылки системных исследований развития энергетики

1. План электрификации РСФСР, Изд. 2-е. М.: Госполитиздат, 1955 - 667с.
2. Кржижановский Г.М. Избранное. М.: Госполитиздат, 1967 – 568 с.
3. Мелентьев Л.А. Очерки истории отечественной энергетики. М.: Наука, 1987 – 280 с.
4. Моисеев Н.Н. Люди и кибернетика. Гл. IV раздел «О плане ГОЭЛРО». [www.ccar.ru // jsredir.htm](http://www.ccar.ru/jsredir.htm).
5. Макаров А.А., Митрова Т.А. Столетие плана ГОЭЛРО: возможности и проблемы плановой экономики // Теплоэнергетика № 8.
6. Мелентьев Л.А, Штейнгауз Е.О. Экономика энергетики СССР, М.-Л.: Госэнергоиздат, 1959, 1963 – 431 с.
7. Канторович Л.В. Математические методы организации и планирования производства. Л.: 1939 – 130 с.
8. Новожилов В.В. Измерение затрат и их результатов в социалистическом хозяйстве // Применение математики в экономических исследованиях т. 1, М.: 1959 с.
9. Канторович Л.В. Экономический расчёт наилучшего использования ресурсов. М.: Академиздат, 1960 – 350 с.
10. Александриди Т.М. и др. Автоматическая цифровая вычислительная машина М-1. М.: ЭНИН АН СССР, 1951.
11. Глушков В.М. Синтез цифровых автоматов. М.: Физматгиз, 1962 – 476 с.
12. Бирман И.Я. Расчёт оптимальной схемы перевозок взаимозаменяемой продукции // Вестник статистики, 1960, № 6 с. 12-20.
13. Чернявский В.И. Оптимизация топливно-энергетического баланса // Плановое хозяйство, 1962, № 2.
14. Кузнецов Ю.А., Мелентьев Л.А., Меренков А.П., Некрасов А.С. Определение оптимальной структуры перспективного энергетического баланса с использованием вычислительных машин // Теплоэнергетика, 1962, № 5.
15. Маш В.А. Оптимизация топливно-энергетического хозяйства. НИЭИ Госплана СССР, М.: - 1962 – 130 с.
16. Макаров А.А. Математическая модель для планирования развития топливно-энергетического хозяйства СССР // Известия АН СССР. Энергетика и транспорт, 1964, № 3.
17. Методы применения электронно-вычислительных машин в энергетических расчётах. М.: Наука, 1964 – 320 с.
18. Методы математического моделирования в энергетике. Иркутск: Востсибиздат, 1966 – 432 с.
19. Маркович И.М., Браилов В.П., Денисов В.И. Применение методов математического программирования к решению задачи перспективного развития электроэнергетической системы оптимизации выбора топливных баз тепловых электростанций // Известия АН СССР. Энергетика и автоматика, 1962, № 6.
20. Карпов В.Г. Левенталь Г.Б., Сыров Ю.П. Математические модели энергетической системы для выбора её оптимальной структуры и режимов // Известия АН СССР. Энергетика и транспорт, 1963, № 4.
21. Макарова А.С., Макаров А.А. Математическая модель для перспективного планирования развития энергосистемы с использованием ЭВМ // Электрические станции, 1964, № 5.

22. Денисов В.И., Кохов В.И. Крестина Ю.С. Выбор оптимальной структуры мощностей энергосистемы // Применение вычислительной техники в электроэнергетике. М.: ЭНИН 1964.
23. Кузнецов Ю.А. Методика учёта режимов потребления газа в модели топливно-энергетического хозяйства // [16] с. 44 – 59.
24. Гальперин В.М. Об оптимальных условиях дальнего транспорта газа // Газовая промышленность, 1964, № 4.
25. Борисов Ю.П. и др. К обоснованию рационального размещения нефтедобывающей промышленности методами математического программирования // Труды ВНИИ, М.: 1963.
26. Данилов В.Л. и др. Экономико-математические модели для оптимального размещения нефтяной промышленности в перспективном периоде // Экономика нефтедобывающей промышленности, 1966, № 8.
27. Астахов А.С., Саратовский Э.Г. Методы выбора оптимальных вариантов при комплексном проектировании развития бассейна. М.: 1964.
28. Пяткин А.М., Цецоха Л.В. Планирование добычи угля с использованием ЭВМ. Киев: 1966.
29. Рубин М.А. Оптимизация топливно-энергетического баланса района. // Вопросы развития энергетики. М.: Труды ЭНИН, 1964.
30. Мелентьев Л.А. К проблеме оптимизации сложных экономических систем // Экономика и математические методы, 1967, т. 3, вып. 4 с. 500-508.
31. Моисеев В.Д. Центральные идеи и философские основы кибернетики. М.: Мысль, 1965 - ?? с.
32. Общая теория систем. М.: Мир, 1966 – 168 с.
33. Bertalanfy L. An Outline of General Systems Theory // The Brit. J. of the Philos. Of Sci., 1950, v. 1, N 2, p. 134-164.

Теория и методы системных исследований развития энергетики в СССР 1970 – 1980 гг.

34. Оптимизация и управление в больших системах энергетики. Отв. ред. Л.А. Мелентьев, Л.С. Беляев. Иркутск: СЭИ СО АН СССР, 1970, Т. 1 – 449 с.
35. Макаров А.А., Мелентьев Л.А. Методы оптимизации энергетического хозяйства, Новосибирск: Наука, 1973 – 274 с.
36. Руководящие указания к использованию замыкающих затрат на топливо и электроэнергию. М.: 1974 – 55 с.
37. Методические положения оптимизации развития топливно-энергетического комплекса. Утверждены Госпланом СССР. М.: Наука, 1975 – 88 с.
38. Мелентьев Л.А. Оптимизация развития и управления больших систем энергетики. М.: Высшая школа, 1976 – 336 с., 1982 – 319 с.
39. Вопросы создания АСПР. М.: ГВЦ Госплана СССР, 1976, № 1 – 146 с.
40. Беляев Л.С. Решение сложных оптимизационных задач в условиях неопределённости. Новосибирск, Наука СО, 1978 - 127 с.
41. Хрилёв Л.С. Теплофикация и топливно-энергетический комплекс. Новосибирск: Наука СО, 1979 – 280 с.
42. Мелентьев Л.А. Системные исследования в энергетике. М.: Наука, 1979 – 416 с.
43. Методы и модели согласования иерархических решений. Под ред. А. А. Макарова. Новосибирск: Наука СО, 1979 – 239 с.
44. Kononov Yu., Por A. The Economic Impact Model. IIASA, Laxenburg, Austria: 1979 – 98 p.

45. Методы анализа и модели структуры территориально-производственных комплексов. Часть I. Учёт условий неопределённости при исследовании территориально-производственных систем. Новосибирск: Наука СО, 1979 – с. 8-127.
46. Макаров А.А., Вигдорчик А.Г. Топливо-энергетический комплекс. М.: Наука, 1979 – 280 с.
47. Беляев Л.С. и др. Системный подход при управлении развитием электроэнергетики. Новосибирск, Наука СО, 1980 - 240 с.
48. Чернавский С.Я. Системное прогнозирование развития ядерной энергетики. М.: Наука, 1980 – 238 с.
49. Автоматизированная система плановых расчётов. М.: Экономика, 1980 – 375 с.
50. Energy in a Finite World - IIASA Laxenburg, Austria: 1980.

1981 – 1991 гг.

51. Сухарев М.Г., Ставровский Е.Р., Брянских В.Е. Оптимальное развитие систем газоснабжения. М.: Недра, 1981 – 294 с.
52. Кононов Ю.Д. Энергетика и экономика - М.: Наука, 1981 – 189 с.
53. Оптимизация развития топливно-энергетического комплекса. Под ред. А.С. Некрасова. М.: Энергоиздат, 1981 – 240 с.
54. Soviet Technology Reviews, Section A. Energy Reviews. USA, N. Y., 1982, Vol. 1 – p. 31-132.
55. Гершензон М.А. Моделирование динамики межотраслевых связей энергетики. Новосибирск: Наука СО, 1983 – 239 с.
56. Криворучий Л.Д. Имитационная система для исследования развития топливно-энергетического комплекса. Новосибирск: Наука СО, 1983 – 125 с.
57. Энергетический комплекс СССР. Под ред. Л.А. Мелентьева и А.А. Макарова. М.: Экономика, 1983 – 264 с.
58. Основные положения энергетической программы СССР на длительную перспективу. М.: Политиздат, 1984 – 33 с.
59. Мелентьев Л.А. Системные исследования в энергетике. Изд. 2. М.: Наука, 1983 – 456 с.
60. Методические материалы по определению и использованию приведенных и замыкающих затрат на топливо и энергию. М.: Госплан, ГКНТ и АН СССР, 1987 – 126 с.
61. Методические рекомендации по технико-экономическому обоснованию проектных решений в энергетике при неоднозначности исходной информации. М.: АН и ГКНТ СССР, 1987 – 74 с.
62. Теоретические основы системных исследований в энергетике. Отв. ред. Л.С. Беляев, Ю.Н. Руденко. Новосибирск: Наука СО, 1986 – 334 с.
63. Методы исследования и управления системами энергетики. Отв. ред. А.П. Меренков, Ю.Н. Руденко. Новосибирск: Наука СО, 1987 – 373 с.
64. Комплексные проблемы развития энергетики СССР. Отв. ред. А.А. Макаров, А.А. Папин. Новосибирск: Наука СО, 1988 – 287 с.
65. Энергетика страны и регионов. Теория и методы управления. Отв. ред. И.П. Дружинин. Новосибирск: Наука СО, 1988 – 222 с.
66. MARCAL. Brookhaven National Laboratory. USA, Upton, 1978 – 40 p.
67. Agnew M., Schrattenhilzer L., Voss A. A model for Energy Supply Systems Alternatives and Their General Environmental Impact – WP-79-6. IIASA, Laxenburg, Austria: 1979.
68. Schrattenhilzer L. The Energy Supply Model MESSAGE - RR-81-31. IIASA, Laxenburg, Austria: 1981.

69. Makarov A. A new concept for energy development in the USSR // Annual review of energy, vol. 14, 1989 - p. 469–488.
70. Веницкий М.М. и др. Научно-техническая политика развития нефтедобычи и механизм её реализации. М.: ВНИИОЭНГ, 1989 – 238 с.
71. Нефть в структуре энергетики. Отв. ред. В.И. Эскин. М.: Наука, 1989 - 268 с.
72. Bashmakov I.A., Makarov A.A. The Soviet Union: A Strategy of Energy Development with minimum Emission of Greenhouse Gasses. USA, Pacific Northwest Laboratory, 1990 – 102 p.
73. Антонов Г.Н., Криворучий Л.Д. и др. Методы и модели исследования живучести систем энергетики. Новосибирск: Наука СО, 1990 – 285 с.
74. Scenarios for Energy Development in the USSR // The MIEC Seminar, Paris, 1990 – 110 p.
75. Proceedings of the Workshop on Soviet Energy Policy. USA, Princeton, The Center for Energy & Environment Studies, 1991 – 280 p.

Методы и приложения системных исследований развития энергетики России 1992 – 1998 гг.

76. Концепция энергетической политики России в новых экономических условиях. М.: ИНЭИ РАН, 1992 – 65 с.
77. Basic Concepts of Energy Policies for Russia and Ukraine. USA, Washington, The Atlantic Council of the USA, 1993 – 112 p.
78. Бушуев В.В., Вольфберг Д.Б., Макаров А.А. Прогноз развития энергетики России // Экономика ТЭК № 1, 1994 – 92 с.
79. Закон Российской Федерации «Об основах энергетической политики». Проект 1994 г. // Энергетика России т. II. М.: Энергия, 2010 – с. 362 – 383.
80. Энергетика России в переходный период: проблемы и научные основы развития и управления. Новосибирск: Наука, 1995 – 358 с.
81. Системные исследования в энергетике в новых экономических условиях. Под ред. Л.С. Беляева, Ю.Д. Кононова. Новосибирск: Наука, 1995 – 190 с.
82. Криворучий Л.Д., Массель Л.В. Информационная технология исследований развития энергетики. Новосибирск: Наука, 1995 – 160 с.
83. Study on comprehensive energy plan in East Siberia and Far East of the Russian Federation / The Energy research Institute RAS, Siberian Energy Institute - The Institute of Energy Economics, Japan: First Phase, 1994 – 323 p., Second Phase: IEEJ - 141 p.
84. Региональные энергетические программы: методические основы и опыт разработки. Под ред. Б.Г. Санеева. Новосибирск: Наука, 1995 – 246 с.
85. Папин А.А. Системный подход к прогнозированию энергетических рынков. – Апатиты: КНЦ РАН, 1995 – 161 с.
86. Новая энергетическая политика России. Под ред. Ю.К. Шафраника. М.: Энергоатомиздат, 1995 – 512 с.
87. Энергетика России в переходный период: проблемы и научные основы развития и управления. Под ред. А.П. Меренкова. Новосибирск: Наука, 1996 – 359 с.
88. Нефтяная промышленность. Приоритеты научно-технического развития. М.: Внешторгиздат, 1996 – 238 с.
89. Стратегия развития газовой отрасли России. Под. ред. Р.И. Вяхирева, А.А. Макарова. М.: Энергоатомиздат, 1997 – 344 с.

90. Энергетический сектор в среднесрочной программе развития экономики России // Энергетическая политика. Ред. В.В. Бушуев. М.: ООО ВНИИОЭНГ. 1997 – 73 с.
91. Роль газовой промышленности в интеграции стран СНГ. М.: Газойл пресс, 1998 – 272 с.
92. Макаров А.А. Мировая энергетика и Евразийское энергетическое пространство. М.: Энергоатомиздат, 1998 – 279 с.
93. Бушуев В. В. и др. Энергетическая безопасность России – М.: Наука, 1998 – 301 с.

1999 – 2008 гг.

94. Топливо-энергетический комплекс России: современное состояние и взгляд в будущее. Под ред. А.П. Меренкова, Н.И. Воропая, Ю.Д. Кононова, Б.Г. Санеева. Новосибирск: Наука СО, 1999 – 312 с.
95. Беляев Л.С., Марченко О.В., Филиппов С.П. и др. Мировая энергетика в переходе к устойчивому развитию. Новосибирск: Наука СО, 2000 – 269 с.
96. Стратегия развития атомной энергетики России в первой половине XXI века
97. Энергетическая политика России на рубеже веков. Т. 1 Формирование энергетической стратегии России. М.: Парус ПРО, 2001 – 985 с.
98. Выбросы парниковых газов энергетическим комплексом России. М.: ИНЭИ РАН, 2001 - 54 с.
99. Энергетическая стратегия России на период до 2020 года. М.: Папирус ПРО, 2001 – 572 с.
100. Модельно-компьютерный комплекс для разработки Энергетической стратегии и мониторинга хода её реализации // Энергетика России: стратегия развития. М.: Минэнерго РФ, 2003 – с. 677-750.
101. Энергетика России. Стратегия развития. М.: Энергия, 2003 – 800 с.
102. Стратегические риски чрезвычайных ситуаций: оценка и прогноз. Материалы конференции. М.: ЦСИ, 2003 – 400 с.
103. Методы и модели разработки региональных энергетических программ. Отв. ред. Санеев Б.Г. – Новосибирск: Наука, 2003. – 140 с.
104. Подковальников С.В., Сендеров С.М., Стенников В.А. и др. Энергетика XXI века: системы энергетики и управление ими. Отв. ред. Н.И. Воропай. Новосибирск: Наука, 2004 – 364 с.
105. Беляев Л.С., Подковальников С.В. Рынок в электроэнергетике: проблемы развития генерирующих мощностей. Новосибирск: Наука, 2004 – 220 с.
106. Топливо-энергетический комплекс Хабаровского края: состояние и стратегия развития. Под ред. В.И. Ишаева. СО РАН – ДВО РАН. Владивосток, Хабаровск: 2005 – 155 с.
107. Прогнозный баланс электроэнергетики и холдинга РАО ЕЭС России. М.: Изд-во РАО ЕЭС России, 2005 – 136 с.
108. Макаров А. А. и др. Обоснование основных параметров конкурентного рынка газа // Газовый бизнес № 3-4, 2006 - 18 с.
109. Елисеева О. А., Макаров А. А. Реформирование рынка газа России. Перспективы энергетики // т. 10 № 2, 2006 – 22 с.
110. Программа создания в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке единой системы добычи, транспортировки газа и газоснабжения с учётом возможного экспорта газа на рынки Китая и других стран АТР. М.: Минэнерго РФ, 2007 – 290 с.
111. Макаров А. А. и др. Методические основы разработки перспектив развития электроэнергетики – М.: ИНЭИ, 2007 – 102 с.

112. Макаров А.А. Электроэнергетика России в период до 2030 года: контуры желаемого будущего. М.: ИНЭИ РАН, 2007 – 180 с.
113. Стенников В.А. Проблемы развития теплового хозяйства России и пути их решения. М.: ИНП РАН, 2008. – 93 с.
114. Беляев Л.С., Подковальников С.В., Савельев В.А., Чудинова Л.Д. Эффективность межгосударственных электрических связей. Новосибирск: Наука, 2008. – 239 с.

2009 – 2019 гг.

115. Глобальная энергетика и устойчивое развитие. Под ред. Бушуева В.В., Мастепанова А.М. М.: VIAL Communications, 2009 – 374 с.
116. Кононов Ю. Д. и др. Методы и модели прогнозных исследований взаимосвязей энергетики и экономики. Новосибирск: Наука, 2009 – 178 с.
117. Экономика и управление в современной электроэнергетике России. Под ред. А.Б. Чубайса. М.: НП «КОНЦ ЕЭС», 2009 – 615 с.
118. Энергетика России. Взгляд в будущее. М.: Энергия, 2010 – 609 с.
119. Спецвыпуск Института энергетических исследований // Известия РАН. Энергетика. 2010, № 4 – 176 с.
120. Волкова Е.А., Макарова А.С. и др. Перспективы развития атомных электростанций до середины XXI века. М.: ИНЭИ РАН, 2010 – 210 с.
121. Энергетическая стратегия Республики Саха (Якутия) на период до 2030 года. Под ред. Г.Ф.Алексеева, Н.А. Петрова, Б.Г. Санеева. Якутск-Иркутск, 2010 – 328 с.
122. Топливо-энергетический комплекс Амурской области: современное состояние и перспективы развития. Под ред. Б.Г. Санеева, В.Е. Пескова. М.: Энергия, 2010 – 240 с.
123. Топливо-энергетический комплекс Сахалинской области: современное состояние и перспективы развития. Под ред. Б.Г. Санеева, В.Н. Тихоньких. М.: Энергия, 2010 – 240 с.
124. Методические рекомендации по оценке состояния энергетической безопасности. Иркутск: ИСЭМ, 2010 – 421 с.
125. Энергетическая безопасность России: Проблемы, пути решения. Новосибирск: Наука СО, 2011 – 197 с.
126. Энергетика и геополитика. Под ред. В.В. Костюка, А.А. Макарова. М.: Наука, 2011 – 396 с.
127. Мировая энергетика – 2050 (Белая книга). Под ред. В.В. Бушуева, В.А. Каламанова. М.: Энергия, 2011 – 355 с.
128. Восточный вектор энергетической стратегии России: современное состояние, взгляд в будущее. Под ред. Н.И. Воропая, Б.Г. Санеева. Новосибирск: Изд. ГЕО, 2011 – 368 с.
129. ТЭК и экономика России: вчера, сегодня, завтра. М.: Энергия, 2011 – 488 с.
130. SCANNER. Модельно-информационный комплекс. Отв. ред. А. А. Макаров. М.: ИНЭИ, 2011 – 72 с.
131. Макаров А. А. Модельно-информационная система для исследования перспектив развития энергетики России (SCANNER) // Управление развитием крупномасштабных систем. М.: Физматлит, 2012 – с. 102-184.
132. Прогноз развития энергетики мира и России до 2035 года. М.: ИНЭИ - РЭА МЭ РФ, 2012 – 195 с.
133. Прогноз развития энергетики мира и России до 2040 года. М.: ИНЭИ - АЦ Прав. РФ, 2013 – 107 с.
134. Макаров А. А., Малахов В.А., Филиппов С.П. Основы пространственного развития энергетики // Фундаментальные проблемы пространственного развития Российской Федерации. М.: Медиа-Пресс, 2013 – с. 257 – 305.

135. Прогноз развития энергетики мира и России. М.: ИНЭИ - АЦ Прав. РФ, 2014 – 172 с.
136. Затраты и выгоды низкоуглеродной экономики для трансформации общества в России. Перспективы до и после 2050 г. Под ред. И.А. Башмакова. М.: ЦЭНЭФ, 2014 – 208 с.
137. Mano S., Ovgor B., Samadov Z., Sokolov D., Saneev B. etc. Gobitec and Asian Supergrid for Renewable Energies in Northeast Asia. Brussels: 2014 – 110 p.
138. Федеральный закон РФ от 28.06.2014 № 172-ФЗ «О стратегическом планировании в Российской Федерации // Российская Газета, 3.07.2014.
139. Макаров А.А. Системные исследования развития энергетики. М.: Изд. МЭИ, 2015 – 280 с.
140. Кононов Ю.Д. Пути повышения обоснованности долгосрочных прогнозов развития ТЭК. Новосибирск: Наука, 2015 – 147 с.
141. Энергетическая безопасность России: проблемы и пути решения. Отв. ред. Н.И. Воропая, М.Б. Чельцова. Новосибирск: Наука, 2015 – 145 с.
142. Воропай Н.И., Подковальников С.В., Труфонов В.В. и др. Обоснование развития электроэнергетических систем: Методология, модели, методы, их использование. Отв. ред. Н.И. Воропая. Новосибирск: Наука, 2015 – 448 с.
143. Эволюция мировых энергетических рынков и её последствия для России. М.: ИНЭИ - АЦ Прав. РФ, 2015 – 395 с.
144. Прогноз развития энергетики мира и России. М.: ИНЭИ - АЦ Прав. РФ, 2016 – 199 с.
145. Инновационная электроэнергетика – 21. Под ред. В.М. Батенина, В.В. Бушуева, Н.И. Воропая. М.: Энергия, 2017 – 594 с.
146. Малахов В.А., Несытых К.В., Дубынина Т.Г. Многоагентный подход к межотраслевому моделированию экономики России. Труды MLSД'2017. М.: ИПУ РАН, 2017.
147. Шапот Д.В., Малахов В.А. Опыт развития методологии и разработки управленческих моделей межотраслевого баланса. М.: Изд. дом МЭИ, 2018 – 176 с.
148. Системные исследования в энергетике: методология и результаты. М.: МЭИ, 2018 - 308 с.
149. Исследование адаптация энергетики России к посткризисному развитию экономики. Под ред. А.А. Макарова, Ф.В. Веселова. М.: Т8 Изд. Технологии, 2018 – 184 с.
150. Экономика и управление в современной электроэнергетике России. 2-е изд. Под ред. Е.В. Амелистова, А.Ю. Шаровой. НП «КОНЦ ЕЭС», 2019 – 725 с.
151. Прогноз развития энергетики мира и России. М.: ИНЭИ – МШУ СКОЛКОВО, 2019 – 210 с.
152. Роль научно-технического прогресса в развитии энергетики России. Под ред. А.А. Макарова и Ф. В. Веселова. М.: ИНЭИ, 2019 – 240 с.
153. Перспективы развития мировой энергетики с учётом влияния технологического прогресса. М.: ИНЭИ, 2020 – 320 с.

А что далее? 2035 – 2050 гг.

154. Актуальный опыт зарубежных стран по развитию государственных систем стратегического планирования. НИУ ВШЭ, 2016 – 40 с.
155. Четвертая промышленная революция: целевые ориентиры развития промышленных технологий и инноваций // Всемирный экономический форум, 2019.
156. Барлоу Дж. П. Декларация независимости киберпространства. <http://www.dnn.ru/indep.htm> 1996.
157. Рейнгольд Г. Умная толпа. Новая социальная революция. М.: Фиар-пресс, 2006 - 416 с.
158. Lanier J. Dawn. Of The New Everything. NY: Henry Holt & Co., 2017 – 230 p.

159. Келли К. Неизбежно. 12 технологических трендов, которые определяют наше будущее. М.: ООО Манн, Иванов и Фербер, 2018 (2016 English) – 343 с.
160. DAOstack - Операционная система для децентрализованных автономных организаций. White Paper, 2017 – 41 с.