

## ПРИОРИТЕТНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ Ш.15.

### ОСНОВЫ РАЗВИТИЯ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ В РЫНОЧНЫХ УСЛОВИЯХ, ВКЛЮЧАЯ ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКОНОМИКИ И ГЛОБАЛИЗАЦИИ ЭНЕРГЕТИКИ; ЭНЕРГОБЕЗОПАСНОСТЬ; ЭНЕРГОРЕСУРСΟΣБЕРЕЖЕНИЕ И КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ ТОПЛИВ

#### Программа Ш.15.1. Теоретические основы обоснования развития систем энергетики и управления ими (координатор член-корр. РАН Н. И. Воропай)

В Институте систем энергетики им. Л. А. Мелентьева разработана технология координации задач мониторинга и прогнозирования режимов электроэнергетических систем (ЭЭС) и управления ими. Технология включает задачи оценивания текущего состояния ЭЭС, прогнозирования режима на короткие интервалы времени на основе фильтра Калмана (рис. 1) для задач мониторинга и автоматического управления и на более длительные интервалы с использованием двухэтапного алгоритма на основе преобразования Гильберта—Хуанга и нейросетевого подхода для задач диспетчерского управления (рис. 2).

В том же Институте разработаны принципы построения распределенной системы управления устройствами FACTS для предотвращения перегрузки линий в аварийном режиме. Управления выбираются на основе функций чувствительности перетоков по линиям к изменениям параметров FACTS. Предложена реализация системы управления на основе мультиагентного подхода.

Разработан комплекс подробных математических моделей, проведены оптимизационные исследования и выполнено сопоставление современных технологий комбинированного производства электроэнергии и синтетического жидкого топлива (СЖТ) — метанола и диметилового эфира (ДМЭ). По комплексным технико-экономическим показателям энерго-технологические установки (ЭТУ) с совместной выработкой СЖТ и электроэнергии имеют свои области эффективности, определяемые ценами на отпускаемую продукцию. Ввиду более высоких потребительских качеств диметилового эфира и меньших затрат на транспорт технология его одностадийного производства из синтезгаза имеет более широкие перспективы.

Проведен сравнительный анализ технологических цепочек производства и транспорта СЖТ (рис. 3). Вариант производства диметилового эфира и метанола из природного газа на комбинированных энергоустановках и их транспортировки по трубопроводу становится эффективнее, чем трубопроводный транспорт

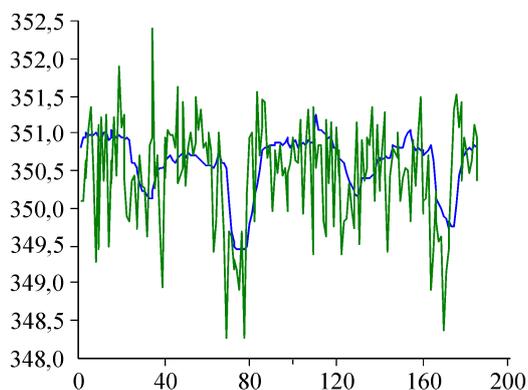


Рис. 1. Результаты прогнозирования с использованием фильтра Калмана.

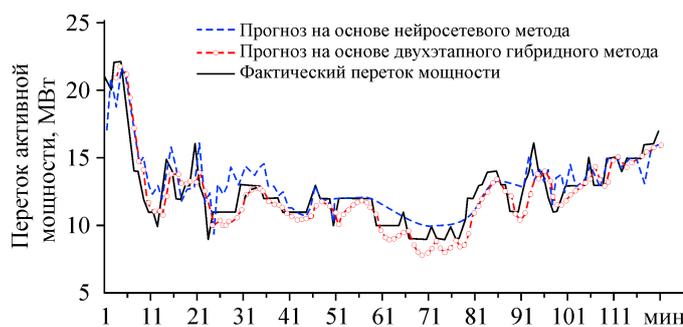
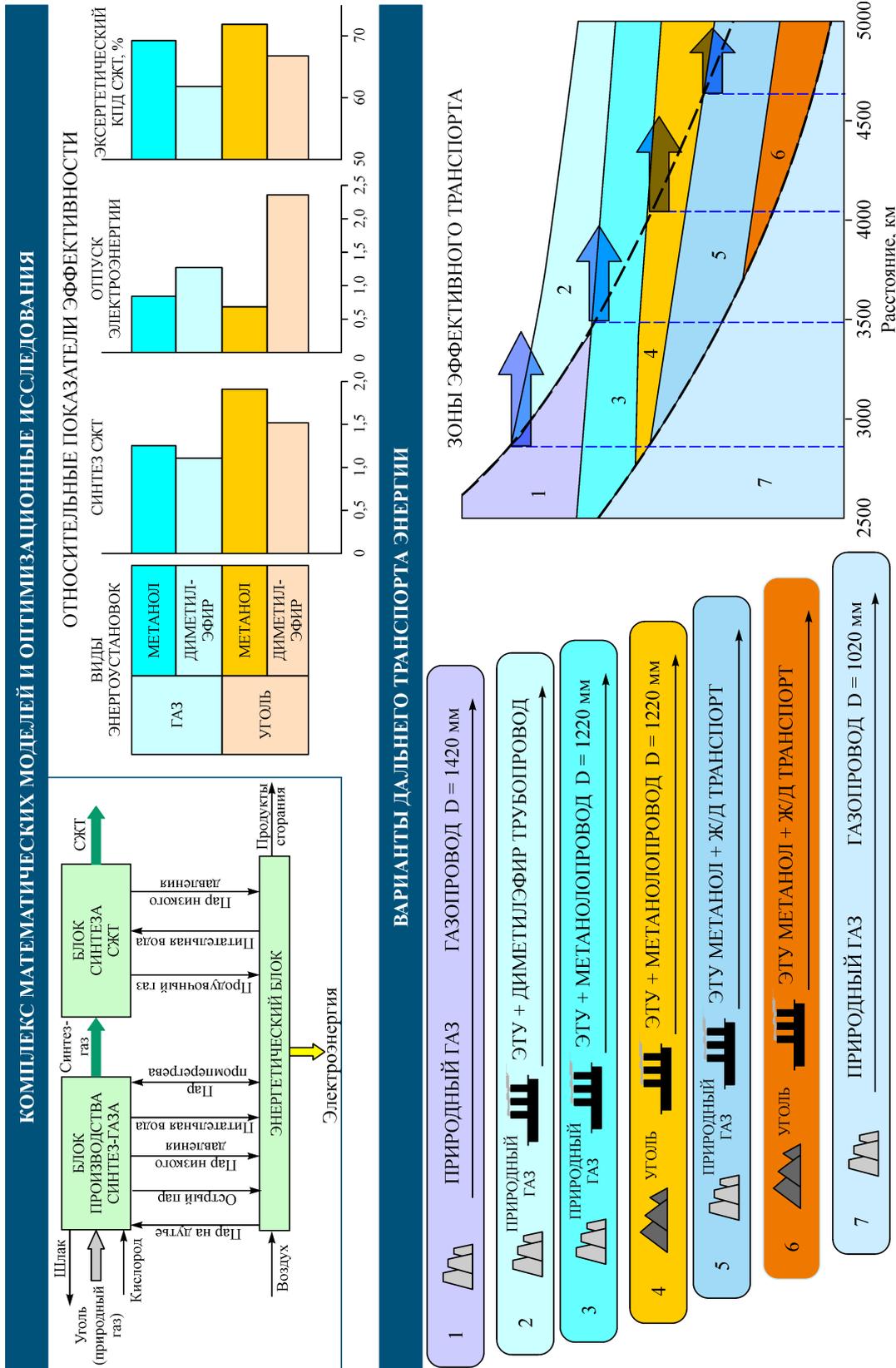


Рис. 2. Прогноз перетока мощности различными моделями с интервалом упреждения 1 мин. с использованием двухэтапного алгоритма.



**Рис. 3.** Технико-экономические показатели эффективности энерготехнологических установок с комбинированным производством электроэнергии и синтетического жидкого топлива с оценкой эффективных вариантов дальнего транспорта СЖТ.

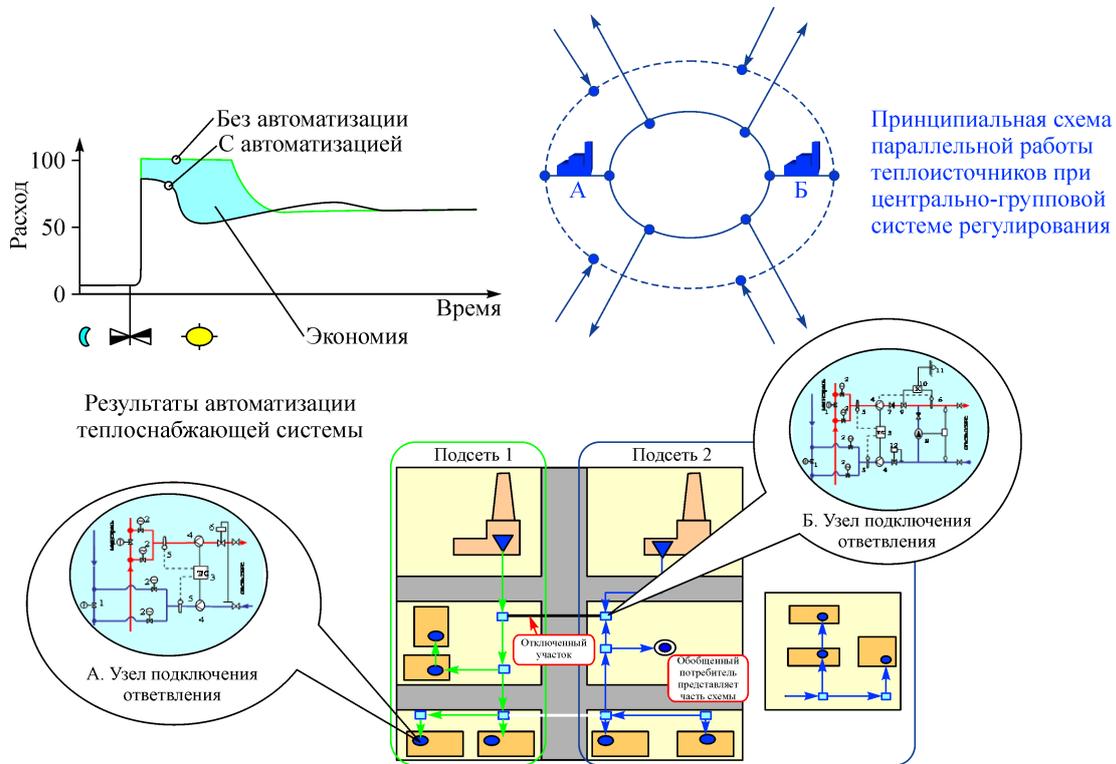


Рис. 4. Инновационные принципы построения энергоэффективной теплоснабжающей системы.

природного газа, с расстояний 2800—3500 км, а при производстве из угля — с 4000 км.

Предложены принципы построения и функционирования трубопроводных систем, исследованы свойства, приобретаемые в процессе их развития на основе энергоэффективных технологий и оборудования, обоснована необходимость перехода к технологиям «скользящего» процесса управления их развитием и функционированием. В рамках методологии предлагается:

объединение теплоисточников для совместной работы на единые тепловые сети (включая источники распределенной генерации энергии);

разделение системы на независимые контуры источников, тепловых сетей и потребителей (рис. 4);

переход от качественного регулирования тепловой нагрузки к качественно-количественному и количественному регулированию.

Сформулированы требования, предъявляемые к моделям и методам для решения задач развития теплоснабжающих систем, которые учитывают изменчивый характер разнородной нагрузки потребителей, переменный режим течения теплоносителя, управляемость систем и множество физико-технических ограничений.

Результаты исследований, выполненные с помощью предложенных методических разработок, нашли практическое применение в «Генеральной схеме размещения объектов электроэнергетики России до 2020 года с учетом перспективы до 2030 года» и в «Программе модернизации электроэнергетики России на период до 2020 и 2030 гг.».

Формализована и апробирована новая методика многоуровневого наладочного теплогидравлического расчета режимов теплоснабжающих систем (ТСС), основанная на совместном применении методов декомпозиции расчетных схем на иерархически подчиненные уровни, декомпозиции задач расчета теплогидравлического и температурного режима каждого уровня, а также методов координации решений для получения режима с требуемой степенью обеспеченности потребителей. Методика позволяет автоматизировать производительные процессы разработки эксплуатационных режимов традиционными способами многовариантных гидравлических и тепловых расчетов для ТСС практически любой размерности. Данная методика реализована в ИВК «АНГАРА-ТС» и апробирована на ТСС г. Петропавловск-Камчатский и г. Черемхово.

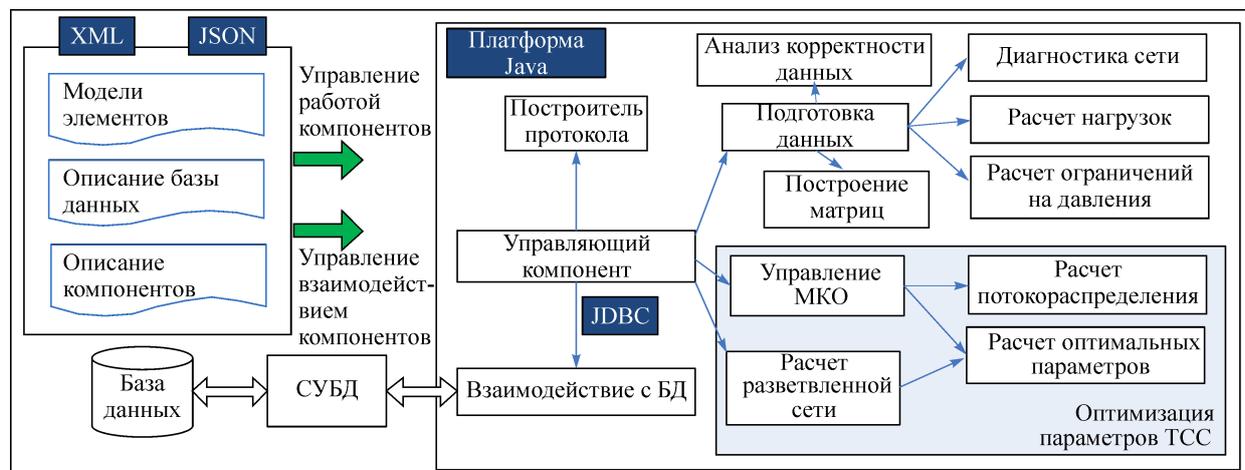


Рис. 5. Архитектура программного комплекса для оптимизации параметров теплоснабжающих систем.

Разработана расширяемая архитектура программного комплекса для оптимизации параметров разветвленных и многоконтурных теплоснабжающих систем, позволяющая гибко управлять процессом вычисления (рис. 5), предназначенного для решения задач выявления перегруженных участков сети и выбора способов их реконструкции, расчета диаметров трубопроводов реконструируемых и новых участков, выбора параметров и мест расположения насосных станций.

Выделены наиболее значимые стратегические угрозы энергетической безопасности (ЭБ) России по временным периодам с 2010 по 2015 г., до 2022—2023 гг. и далее до 2030 г. Показано, что в период до 2015—2016 гг. наиболее актуальными для российской энергетики являются следующие стратегические угрозы ЭБ: энергорасточительность экономики; большая изношенность и низкие темпы обновления основных производственных фондов в отраслях ТЭК; недостаточный уровень инвестиций в отраслях ТЭК; резко доминирующая роль газа в ТЭК европейской части страны; запаздывание с освоением новых районов газодобычи (Ямал, шельф северных морей); перекос соотношения цен между газом и углем; низкие

темпы прироста разведанных запасов углеводородов; замедленный выход отрасли «теплоснабжение» из глубокого кризиса. Показано также, что на данном временном интервале, скорее всего, прекратится рост добычи газа, а годовое производство электроэнергии возрастет (до 10—15%), в основном за счет более полной загрузки существующих электрогенерирующих мощностей.

В Институте физико-технических проблем Севера им. В. П. Ларионова разработана расширенная модель сводного топливно-энергетического баланса региона (СЭБР) и сопутствующих ему «частных» балансов, т. е. балансов по отдельным видам топлив и производств из него тепла и электроэнергии. Основу составляет информационно-аналитическая модель СЭБР, которая позволяет выявлять более полно существенные взаимосвязи внутри производственной структуры энергетического комплекса, определять потоки энергоресурсов с выделением промежуточных энергоносителей, учитывать потери на каждой стадии энергетического потока, а также определить показатели совершенства энергетического хозяйства региона, формировать выдачи энергоресурсов вне региона с выделением экспортных поставок.

### Программа Ш.15.2. Системные исследования эффективных энергетических технологий и установок (координатор докт. техн. наук А. М. Клер)

В Институте систем энергетики им. Л. А. Мелентьева экспериментально выявлены две формы возникновения и роста паровых

структур при больших мощностях тепловыделения на трубчатых поверхностях, погруженных в недогретую жидкость (вода, этанол).

Визуализация и расчет нестационарного процесса показывают, что такие сценарии запаривания тепловыделяющего элемента реализуются в опытах с водой при атмосферном и повышенном давлениях. В отличие от воды, в опытах с этанолом наблюдается образование существенно меньшего числа центров парообразования на стенке. В процессе укрупнения инициировавшихся пузырьков в их основании формируется фронт микропузырькового кипения, распространяющийся по поверхности нагревателя с постоянной скоростью. При достижении перегрева стенки ( $T_w - T_s$ ) порядка 63 К фронт кипения перерождается во фронт испарения, скорость распространения которого существенно выше и продолжает увеличиваться с возрастанием температуры стенки в нестационарном нагреве. Смыкание встречных фронтов испарения приводит к полному запариванию тепловыделяющей трубки.

В том же Институте показано, что ключевыми факторами, сдерживающими развитие технологий термохимической конверсии низкосортных твердых топлив, является высокое содержание окислителя в составе топлива в

сочетании с необходимостью внешнего подвода энергии.

Выявлены основные неблагоприятные тенденции в электроэнергетике. Особенно неблагоприятная ситуация в электроэнергетике вызвана критически опасным старением оборудования и низкими темпами его обновления. Выполнен прогноз ожидаемой возрастной структуры турбинного оборудования ТЭС при условии реализации прогнозируемых Минэнерго вводов к 2030 г. нового оборудования и демонтажа существующего. Показано, что к 2030 г. в возрастной структуре оборудования ТЭС доля оборудования со сроком службы до 20 лет может возрасти с 13 до 60 %, со сроком службы от 41 до 60 лет в то же время может увеличиться с 27 до 30 %. При этом в результате низких объемов вводов нового оборудования в 1990-х и 2000-х гг. с 57 до 10 % может снизиться доля оборудования, имеющего возраст от 21 до 40 лет. Таким образом, доля физически и морально устаревшего оборудования к 2030 г. останется достаточно высокой и условия обеспечения надежности существенно не улучшатся.