

**ПРИОРИТЕТНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ Ш.17.
ОСНОВЫ ЭФФЕКТИВНОГО РАЗВИТИЯ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА НОВОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНОВЕ
В УСЛОВИЯХ ГЛОБАЛИЗАЦИИ, ВКЛЮЧАЯ ПРОБЛЕМЫ
ЭНЕРГОБЕЗОПАСНОСТИ, ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ И РАЦИОНАЛЬНОГО
ОСВОЕНИЯ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ**

Программа Ш.17.1. Теоретические основы исследования инновационного развития интеллектуальных энергетических систем и управления ими (координатор член-корр. РАН Н. И. Воронин)

В Институте систем энергетики им. Л. А. Мелентьева разработана гибридная интеллектуальная модель для предотвращения крупномасштабных аварий в электроэнергетических системах. Международной научной группой ИСЭМ СО РАН (Россия), Технического университета Дортмунда (Германия) и Университета Тасмании (Австралия) был предложен интеллектуальный подход, реализация которого на практике предполагает сведение к минимуму угрозы крупномасштабных системных аварий. На базе данного подхода была разработана гибридная система противоаварийного управления (рис. 1), которая состоит из двух основных частей: предупредительной системы оценки надежности на основе интеллектуальных нейросетей для раннего выявления возможных предаварийных состояний в энергоси-

стеме; иерархической мультиагентной системы управления.

Интеллектуальная система реализована в программных средах STATISTICA и JADF (Java Agent Development Framework) и протестирована на 53-узловой электрической сети IEEE. Результаты расчетов на примере развития неустойчивости по напряжению показали, что нейросетевая система оценки надежности может своевременно определить потенциально опасные состояния системы и запустить мультиагентную противоаварийную автоматику. Экспериментально установлено, что последующая реализация управляющих воздействий от мультиагентной автоматики позволяет сохранить устойчивость системы без отключения потребителей только лишь за счет осуществления координации источников реактивной мощности.

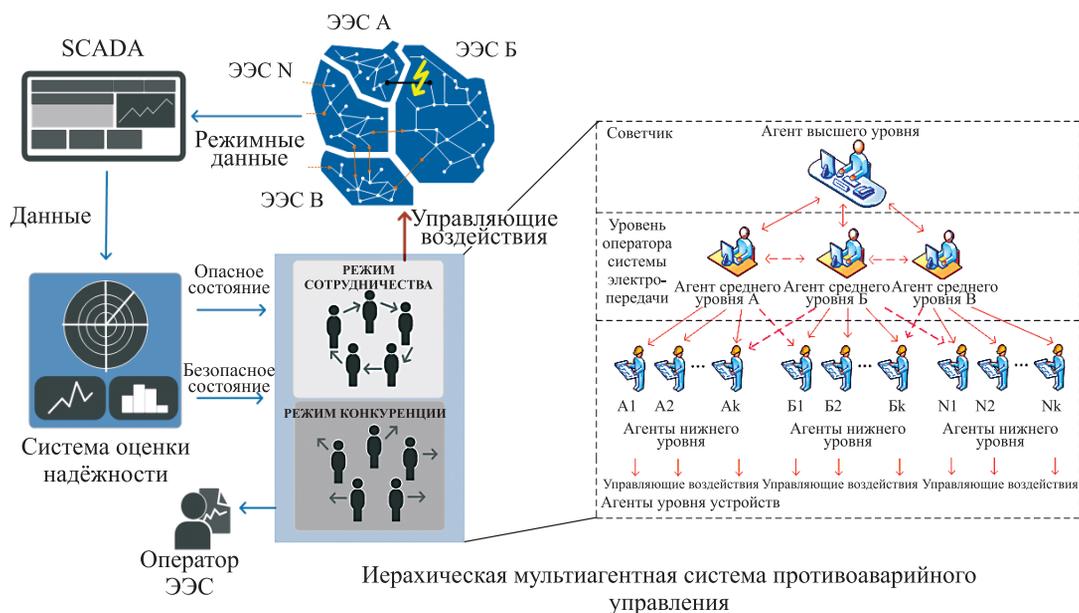


Рис. 1. Общая диаграмма предлагаемого интеллектуального подхода для предотвращения крупномасштабных аварий.



Рис. 2. Внешний вид интерфейса ИСИГР.

В этом же Институте разработана инновационная информационно-вычислительная платформа ИСИГР (Интернет-система гидравлических расчетов) для онлайн-моделирования и расчетов режимов трубопроводных систем широкого класса. Ядро платформы составляют разработанные ранее в Институте теория гидравлических цепей, аппарат математического моделирования и вычислительных методов трубопроводных систем. Инновационный характер разработки и ее прикладное значение состоят в том, что она позволяет без установки приклад-

ного программного обеспечения выполнять расчеты практически любому числу пользователей, в любом месте и в любое время. Реализованный на ее основе распределенный программно-вычислительный комплекс ИСИГР версии 1.0 в настоящее время позволяет выполнять расчеты режимов систем водо- и газоснабжения средней размерности, обладает эффективным графическим интерфейсом пользователя (рис. 2), зарегистрирован в государственном реестре программ для ЭВМ, проходит опытную апробацию в открытом доступе по адресу <http://sei.irk.ru/51/>.

Программа Ш.17.2. Системные исследования инновационных энергетических технологий и установок (координатор докт. техн. наук А. М. Клер)

В Институте систем энергетики им. Л. А. Мелентьева разработана методика совместной оптимизации параметров цикла газотурбинной установки (ГТУ) и парогазовой установки (ПГУ) и параметров охлаждаемой проточной части газовой турбины. На первом этапе процесса оптимизации осуществляется формирование представительного набора базовых профилей лопаток газовой турбины с предельными характеристиками, такими как коэффициент конфузурности, угол входа, угол выхода потока и др. При этом решаются оптимизационные за-

дачи как на максимум, так и на минимум значений характеристик, чтобы обеспечить охват области всех возможных параметров профиля. На втором этапе оптимизируются параметры энергетической эффективности газовой турбины (конструктивные параметры и размеры лопаток, шаги между ними, расходы воздуха в охлаждаемые ступени) на всем полученном на 1-м этапе множестве базовых профилей лопаток посредством проведения газодинамического, теплового, аэродинамического и прочностного расчетов. Важно, что задачи оптимизации энер-

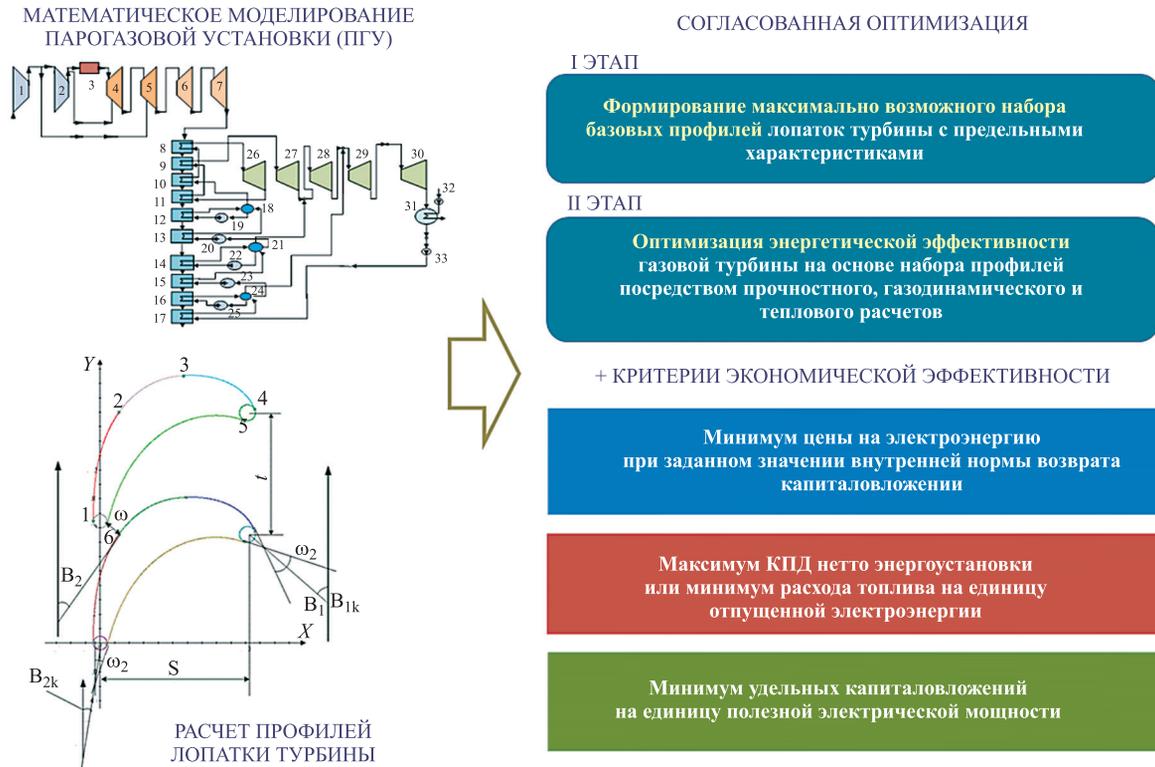


Рис. 3. Общая схема этапов согласованной оптимизации циклов ГТУ, ПГУ и параметров проточной части газовой турбины.

гетической эффективности ГТУ и ПГУ дополнены задачами оптимизации их экономической эффективности (рис. 3).

Оптимизационные исследования ГТУ и ПГУ показали, что переход при изготовлении сопловых и рабочих лопаток газовой турбины со сплава ЖС26 на сплав ВЖМ6 обеспечивает увеличение КПД с 61,4 до 63,0 % и уменьшение удельных капиталовложений с 810,5 до 774,7 дол./кВт · ч. Переход от последовательной оптимизации ГТУ и паровой части ПГУ к совместной оптимизации всех параметров ПГУ обеспечивает увеличение КПД нетто примерно на 2 % и снижение цены электроэнергии в диапазоне 0,12–0,4 цент/кВт · ч.

В этом же Институте сформулированы ключевые положения равновесной термодинамики как единой замкнутой теории состояний и траекторий. Даны новые определения основных понятий термодинамики – равновесия и обратимости, позволяющие в дальнейшем использовать их при решении как статических, так и динамических задач. Раскрыты математические взаимосвязи положений и закономерностей равновесной термодинамики с положениями классической механики, физической и химической кинетики, необратимой термодинамики, синергетики, релятивистской термодинамики Планка–Эйнштейна. Предложены методы термоди-

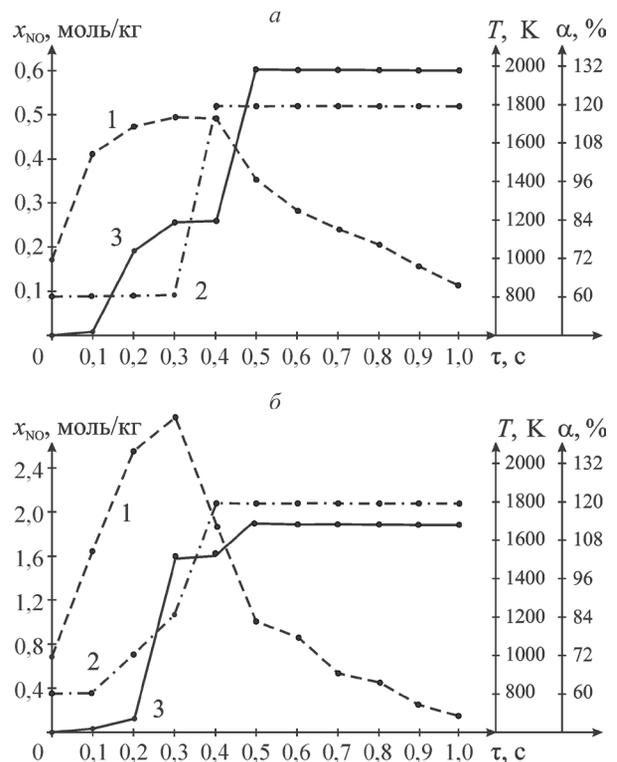


Рис. 4. Расчетный профиль температуры реакционного потока (кривые 1) и избытка воздуха (кривые 2) при определении экстремального содержания NO в пылеугольной топке (кривые 3).

а – минимальное образование NO; б – максимальная теплопередача.

намического анализа, суть которых заключается в отказе от применения общего уравнения моделируемого процесса и переходе к многошаговому наращиванию оптимальных решений.

При построении траекторий функции состояний на каждом шаге решений определялись с помощью модели экстремальных промежуточных состояний, а наращивание экстремальных результатов осуществлялось на основе метода динамического программирования. Примененно к поставленной задаче предварительно рассмотрена важнейшая проблема использования динамического программирования – проблема неаддитивности целевой функции. Эффективность подхода проиллюстрирована на примерах моделирования процессов: изомеризации, плазменного воспламенения угля и образования оксидов азота при сжигании топлив. Результаты анализа последнего примера представлены на рис. 4.

Программа Ш.17.3. Методические основы развития энергетики с позиций обеспечения надежного энергоснабжения и энергетической безопасности (координатор докт. техн. наук С. М. Сендеров)

В Институте систем энергетики им. Л. А. Мелентьева выполнен комплексный анализ основных существующих и возможных, в перспективе до 2030 г., факторов формирования угроз энергетической безопасности России. Отдельно выделены и подробно исследованы на перспективу две существенные угрозы – снижение возможностей по добыче газа в РФ и недостаток инвестиций в отраслях топливно-энергетического комплекса (ТЭК). Проведен анализ причинно-следственных связей факторов, формирующих эти угрозы, в целом и по временным этапам.

В рамках исследования выделены основные факторы, определяющие как снижение, так и увеличение цен на углеводороды (рис. 5). Особое внимание уделено фактору «сланцевой революции» и другим факторам, ухудшающим инвестиционный климат в отрасли ТЭК. Установлено, что степень реализации этих угроз до 2030 г. очень высока из-за большой вероятности повышения себестоимости газа российских ме-

сторождений до уровня текущих цен для стран Европы, фактора «сланцевой революции», технической отсталости отрасли и коррупционной составляющей.

В этом же Институте разработаны методические основы оптимизации надежности с учетом специфики отраслевых систем энергетики. Для электроэнергетики сформулирована новая постановка задачи оптимизации и разработан алгоритм синтеза балансовой надежности электроэнергетических систем (ЭЭС) на основе целенаправленной корректировки мощности нагрузочных узлов системы. Разработанная методика базируется на последовательном использовании двух вычислительных моделей, а именно модели оценки балансовой надежности и модели оптимизации основной структуры ЭЭС. В системах теплоснабжения увеличение показателей надежности происходит за счет оптимизации восстановительного потенциала теплоснабжающей системы (ТСС). При решении задачи используются марковские модели



Рис. 5. Основные факторы, формирующие цены на углеводороды на европейском рынке в периоды 2013–2020 (слева) и 2021–2030 гг. (справа).

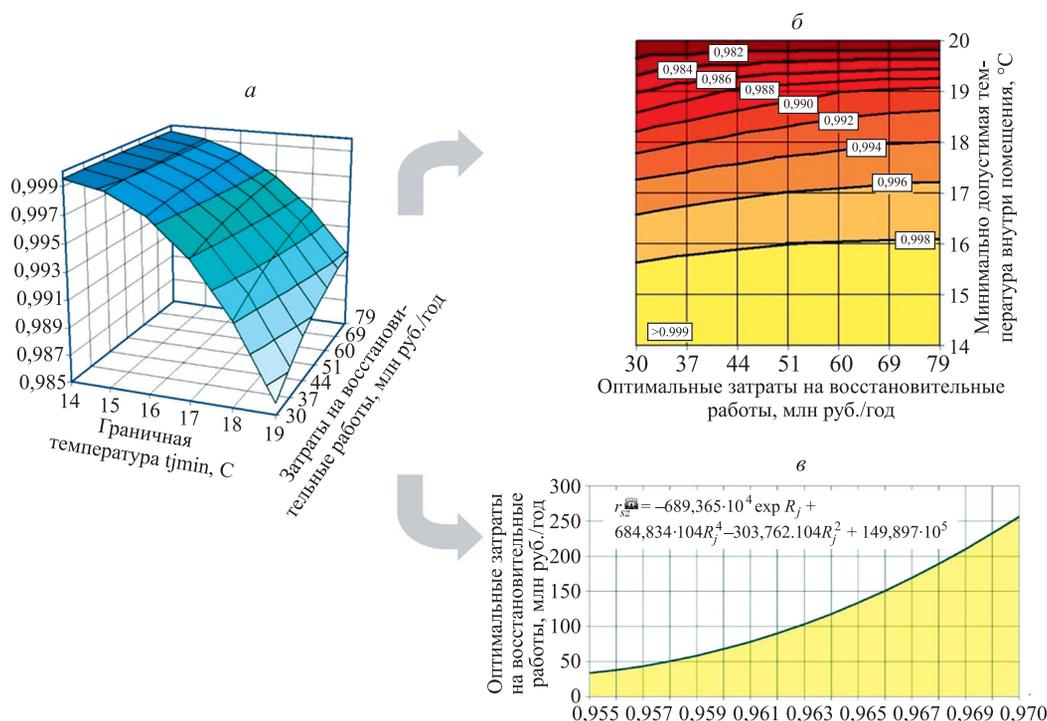


Рис. 6. Иллюстрация методики определения оптимальных параметров восстановления элементов теплоснабжающей системы (ТСС).

а – зависимость вероятности безотказной работы теплоснабжения потребителя от оптимальных затрат на повышение параметров восстановления ТСС при различных уровнях надежности теплоснабжения потребителя, определяемых граничной температурой внутреннего воздуха; *б* – распределение значений показателя надежности по уровням при изменении оптимальных затрат на восстановление элементов ТСС; *в* – аналитическая зависимость показателя надежности от суммарных затрат по системе на восстановительные работы для различных уровней надежности теплоснабжения.

случайных процессов в ТСС и модели теплогидравлических режимов потребления тепловой энергии с учетом временного резерва потребителей, обусловленного теплоаккумулирующими свойствами строительных конструкций зданий.

Определение оптимальных параметров восстановления ТСС заключается в распределении суммарного эффекта повышения надежности, рассчитанного по усредненным характери-

стикам, в соответствии с критерием минимума затрат на сокращение сроков устранения аварий. В качестве нормируемого показателя надежности используется вероятность безотказной работы. Представленный подход также применим к решению подобной задачи относительно других показателей надежности. На рис. 6 проиллюстрированы некоторые результаты данной методики.