

ПРИОРИТЕТНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ Ш.15. ОСНОВЫ РАЗВИТИЯ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ В РЫНОЧНЫХ УСЛОВИЯХ, ВКЛЮЧАЯ ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКОНОМИКИ И ГЛОБАЛИЗАЦИИ ЭНЕРГЕТИКИ; ЭНЕРГОБЕЗОПАСНОСТЬ; ЭНЕРГОРЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ 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 оценены масштабы реализации стратегических угроз энергетической безопасности и выполнено обоснование рекомендаций по предотвращению кризисных ситуаций в энергетике при анализе вариантов ее развития в долгосрочной перспективе. Определены перспективы обеспечения внутренних потребностей России первичными видами топливно-энергетических ресурсов на период до 2030 г. с учетом возможной реализации стратегических угроз энергетической безопасности. Сформулированы конкретные меры производственно-технического и институционального характера по обеспечению энергетической безопасности (рис. 1).

Показано, что при реализации стратегических угроз энергетической безопасности в случае незамедлительного проведения комплекса описанных мер может быть существенно сокращена длительность перспективного проявления дефицита первичных топливно-энергетических ресурсов. При этом величина этого дефицита на уровне 2020 г. может быть сокращена ориентировочно с 12 до 4 % от потребностей экономики страны.

В том же Институте разработано методическое и программное обеспечение для решения задач реконструкции и развития тепло-снабжающей системы, позволяющее автоматически создавать сложные программные комплексы на основе формализованных описаний элементов тепловой сети, перечня решаемых задач и требуемых программных модулей.

Выполнен анализ сенсорных и слабых мест в электроэнергетической системе (ЭЭС) с

использованием методов вероятностного поточкораспределения. Доказана возможность выделить в ЭЭС сенсорные переменные, оценить возможные диапазоны их изменения, а также выявить причины чувствительности. Разработан алгоритм вероятностного поточкораспределения с учетом ограничений, заключающийся в последовательном итерационном решении детерминированной и вероятностной задач. Он включает выбор переменной и управляющих воздействий, обеспечивающих смещение ее математического ожидания к центру допустимого интервала. На рис. 2 показано, как выработкой управляющих воздействий можно увеличить вероятность нахождения сенсорных переменных в допустимых границах.

В Институте физико-технических проблем Севера им. В. П. Ларионова разработаны методы определения технической эффективности и средств повышения эксплуатационной надежности и управляемости региональных магистральных линий электропередачи, входящих в Единую энергетическую систему (ЕЭС) Востока России. Исследовано качество электроэнергии в линиях отбора мощности с тиристорным стабилизатором параметров и проведена оценка влияния климатических условий на электротехническое оборудование воздушных ЛЭП и подстанций. В частности, показано, что разработанные устройства стабилизации напряжения и волнового сопротивления при экстремально низких температурах до $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ способны длительно выдерживать 50 % перегрузки без потери тиристорами работоспособности (рис. 3).

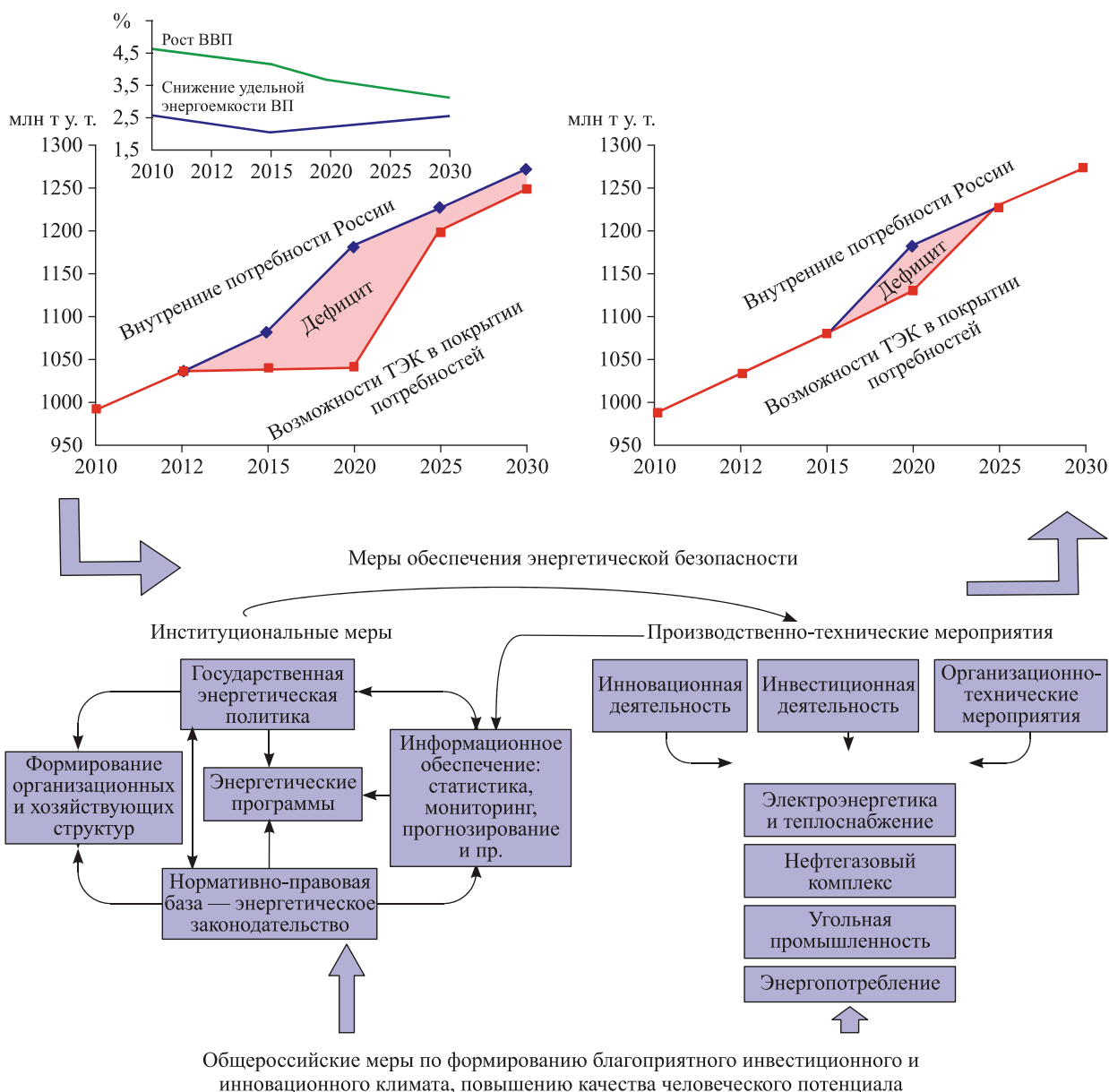


Рис. 1. Перспективы обеспечения внутренних потребностей России первичными видами ТЭР на период до 2030 г. с учетом возможной реализации стратегических угроз и меры обеспечения энергетической безопасности.

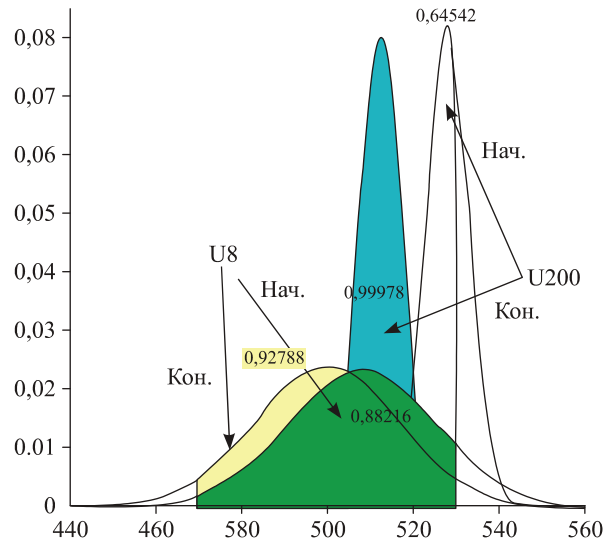


Рис. 2. Кривые плотности вероятности для изменений модулей узловых напряжений 8 и 200 сенсорных узлов для начального (Нач.) режима и конечного (Кон.) режима, полученного в результате выработки управляющих воздействий, позволивших увеличить вероятность нахождения напряжения 200-го узла с 0,64542 до 0,99978, а 8-го узла с 0,88216 до 0,92788.

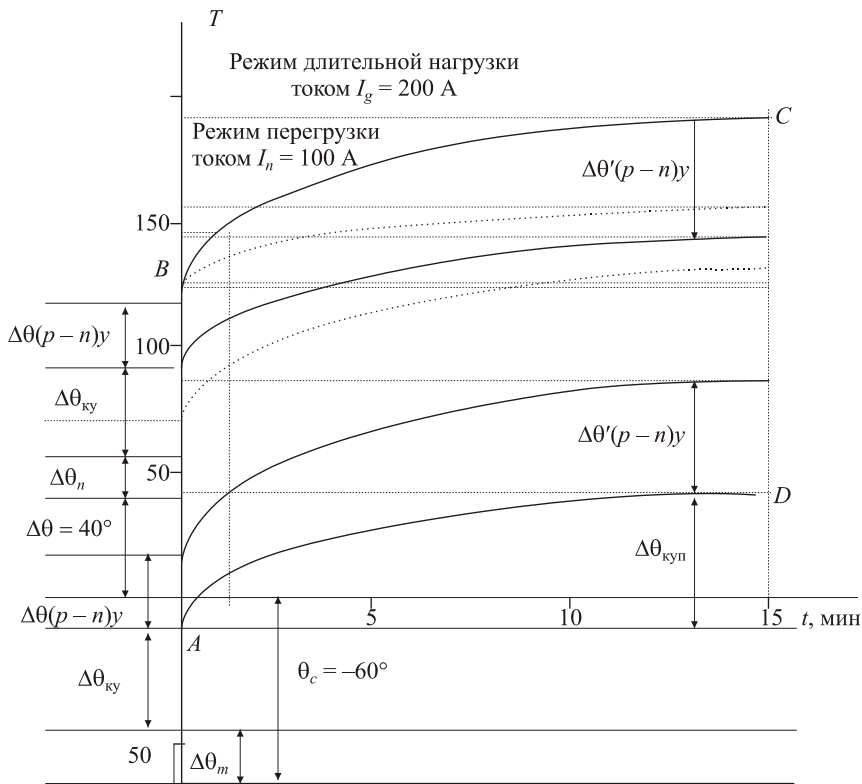


Рис. 3. Зависимость перегрузочной способности ключевых элементов регулирующего элемента от температуры окружающей среды. Область ABCD определяет перегрузочную способность в интервале температуры окружающей среды от $+40^{\circ}$ до -60° C.

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 разработана равновесная модель слоевой газификации угля с распределенными параметрами, представляющая собой вычислительный инструмент с привлечением метода экстремальных промежуточных состояний в постановке задачи конечного равновесия с макрокинетическими ограничениями. Комбинация равновесного термодинамического подхода и формального макрокинетического позволяет описывать протекающие в слое топлива процессы без детального знания механизма гомо- и гетерофазных реакций. Используемое одномерное приближение представляет собой последовательный переход от одного

слоя к другому с локальным термодинамическим равновесием и может рассматриваться как приближение траектории системы. Пример расчета представлен на рис. 4. Исходными данными для модели являются результаты комплексного термического анализа.

Описание совокупности процессов в слое с помощью относительно простой модели даст возможность проводить варианты и оптимизационные расчеты, которые могут быть применены при проектировании установок, реализующих газификацию твердого топлива.

В том же Институте разработана методика согласованной оптимизации параметров цикла газотурбинной установки (ГТУ), парогазовой

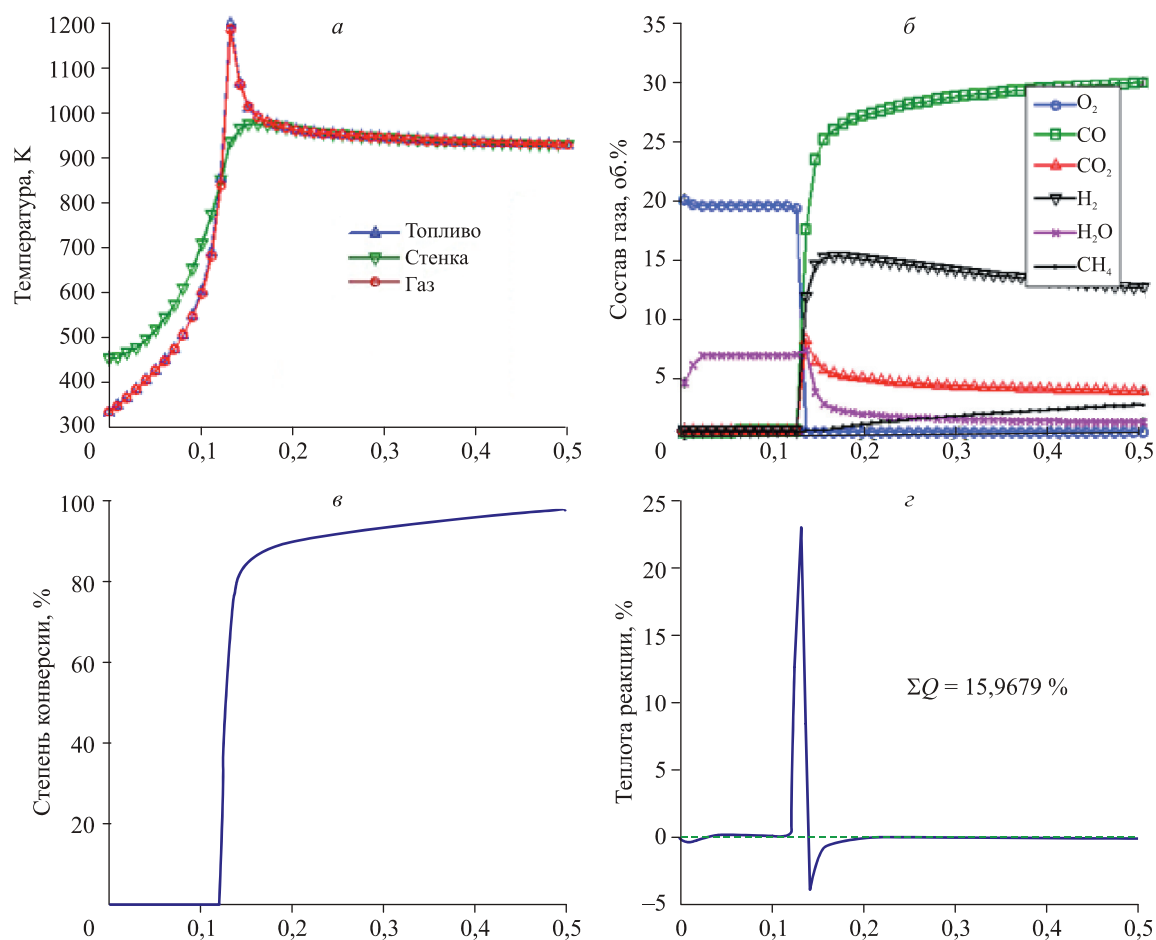


Рис. 4. Расчетные кривые, описывающие стационарное состояние обращенного процесса газификации азейского угля.

a — температурные профили, *б* — состав газа (об.%), *в* — степень срабатывания топлива, *з* — источники теплоты в слое. По оси абсцисс — расстояние от точки подачи дутья, м.

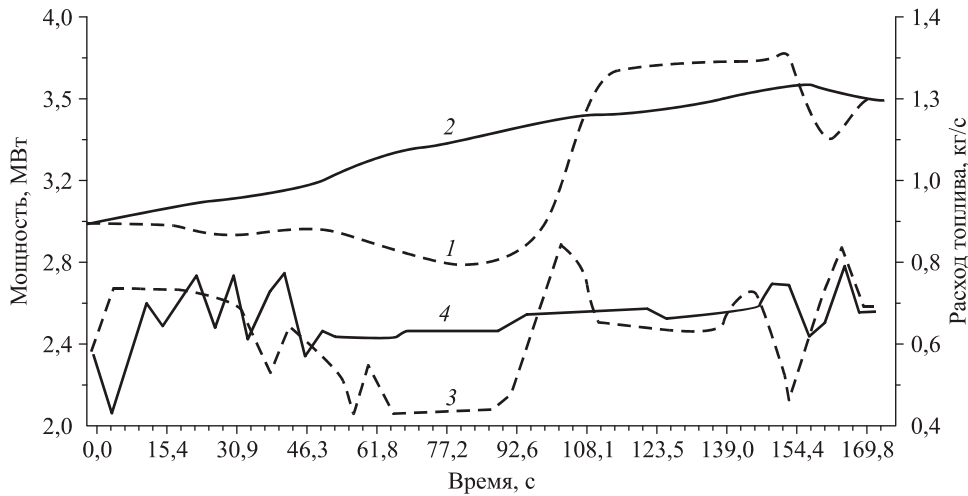


Рис. 5. Изменение мощности энергоблока (1 — обычное управление, 2 — оптимальное) и расхода топлива (3 — обычное управление, 4 — оптимальное) по времени.

установки (ПГУ) с параметрами охлаждаемой проточной части газовой турбины. Для выполнения оптимизационных исследований разработана математическая модель газовой турбины, включающая газодинамический и тепловой расчеты. В исследованиях выбрана схема охлаждения сопловых и рабочих лопаток с продольным течением охлаждающего воздуха. Согласно этой схеме в результате аэродинамического расчета определены потери давления воздуха в охлаждающих каналах сопловых и рабочих лопаток. На основе теплотехнических и газодинамических данных проведен прочностной расчет с определением действующих и предельно допустимых напряжений в лопатке с учетом газодинамических и центробежных сил.

На основе явного описания процессов в элементах энергоблока разработана методика оптимального управления динамическими процессами, использующая методы нелинейного математического программирования и направленная на минимизацию удельного расхода топлива и осуществление плавности изменения мощности. На рис. 5 приведен пример применения разработанной методики для оптимизации процесса изменения нагрузки энергоблока мощностью 4 МВт.

Выполнено исследование термодинамически равновесной скорости звука в парожидкостной смеси с учетом нестационарного теплообмена с содержащимися в смеси плотноупакованными теплопроводными шаровыми частицами (рис. 6). На основе термодинамического анализа для учета потери тепла смесью на нагрев теплопроводных частиц во фронте сжа-

тия волны давления введена эффективная теплоемкость процесса. Предложен способ вычисления введенной эффективной теплоемкости путем решения уравнения нестационарной теплопроводности для твердой частицы в предположении, что температура на ее поверхности изменяется вслед за зависящей от давления температурой насыщения парожидкостной смеси. Рассмотрен также эффект влияния взаимного скольжения паровой и жидкой фаз в двухско-

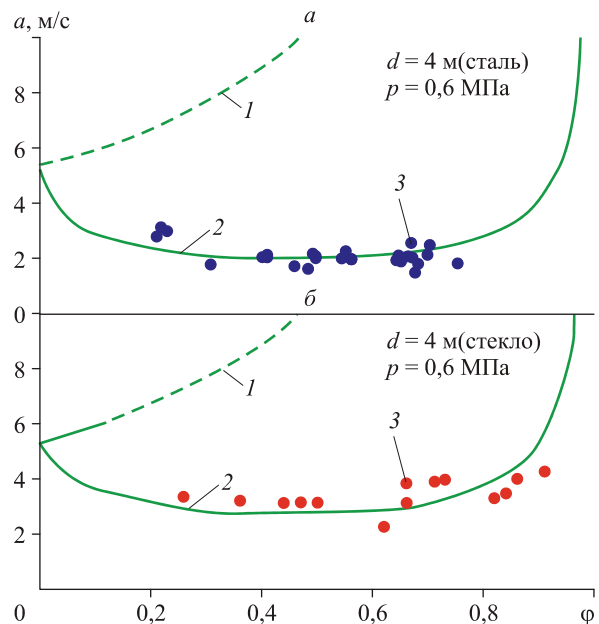


Рис. 6. Зависимость равновесной скорости звука от объемного паросодержания при течении двухфазного потока в засыпке шаровых частиц: 1 — адиабатные условия (расчет), 2 — неадиабатные условия (расчет), 3 — эксперимент.

ростном потоке на величину равновесной скорости звука. Результаты теоретического исследования позволили объяснить наблюдаемое значительное уменьшение равновесной скорости при фильтрации парожидкостной смеси

через упаковки твердых частиц по сравнению с адиабатным случаем, а также немонотонный характер зависимости ее от истинного объемного паросодержания.