

Молодёжный научный семинар

«Реакторы на быстрых нейтронах и соответствующие топливные циклы»

г. Екатеринбург, 28-29 июня 2017 г.

Тучков А.М., Кручинин И.И., Ташлыков О.Л., Щеклеин С.Е.,
Носов Д.А.

**ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
АНАЛИТИЧЕСКОГО ТРЕНАЖЕРА ПРИ
ПОДГОТОВКЕ СПЕЦИАЛИСТОВ ДЛЯ
ЭНЕРГОБЛОКА С РЕАКТОРОМ БН-800**

Введение

После аварии на АЭС «Три Майл Айленд» (США) внимание промышленности сфокусировалось на ошибках диагностики, совершаемых оператором. Были созданы тренажерные комплексы, оснащенные современной вычислительной техникой, позволяющей моделировать различные эксплуатационные ситуации, разработаны необходимые методические обучающие материалы, симптомно-ориентированные действия и т.д.

В настоящее время тренажеры являются важной частью подготовки оперативного персонала АЭС и подразделяются на полномасштабные и аналитические.

Требования к техническим средствам обучения, используемым при подготовке и поддержании квалификации персонала атомных станций установлены в СТО 1.1.1.01.004.0680 - 2006 «Технические средства обучения».

Тренажеры

Полномасштабный тренажер (ПМТ) представляет собой программно-технический моделирующий комплекс, предназначенный для профессиональной совместной подготовки оперативного персонала блочного щита управления (БЩУ) с использованием полномасштабной модели реального БЩУ и комплексной всережимной математической модели энергоблока, функционирующей в реальном масштабе времени. Однако такие тренажеры имеют высокую стоимость, занимают значительные площади помещений, требуют большого количества обслуживающего персонала.

Аналитический тренажер это программно-технический моделирующий комплекс, предназначенный для подготовки оперативного персонала блочного щита управления (БЩУ) с использованием полномасштабной математической модели энергоблока, функционирующей в реальном масштабе времени. Основным его отличием от ПМТ является представление панелей имитатора БЩУ в графической форме.

Комплекс программно-тренажерных средств кафедры «АСиВИЭ»

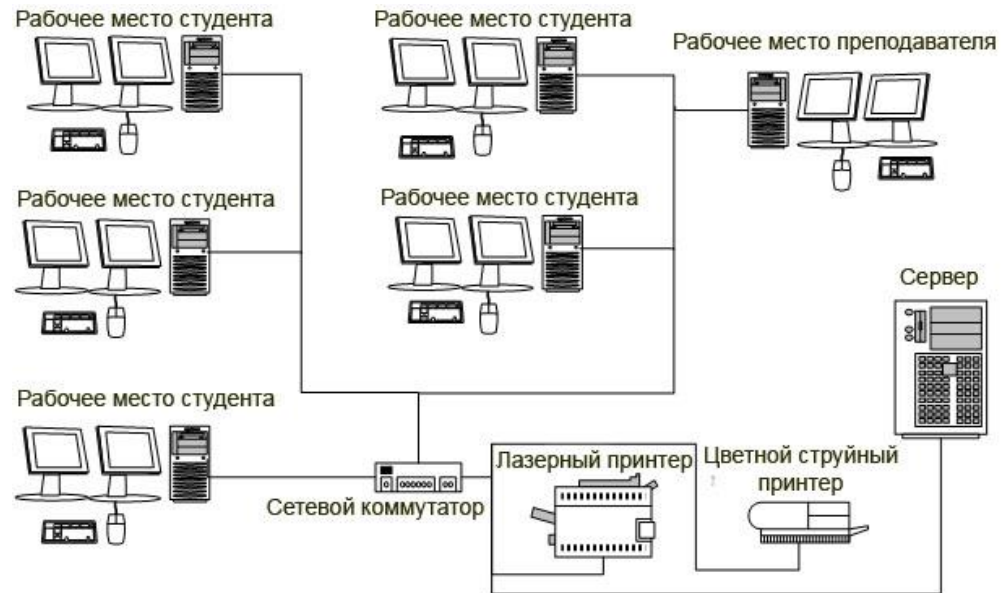
- Аналитические симуляторы ТОМАС-1А и ТОМАС-2, позволяющие моделировать нормальные, переходные и аварийные режимы работы энергоблоков с ВВЭР-1000 и РБМК-1000 соответственно. Программные комплексы используются в лабораторном практикуме по курсам Физика ядерных реакторов и Атомные электрические станции.
- Расчетный код Корсар, предназначенный для расчетных анализов нестационарных процессов в контурах АЭС с ВВЭР в стационарных, переходных и аварийных режимах.
- Комплекс программ ГЕФЕСТ для нейтронно-физических расчетов реактора типа БН в многогрупповом диффузионном приближении в трехмерной гексагональной геометрии.
- Комплекс программ Joker для расчетного обоснования безопасной эксплуатации АЭС с реактором БН-600.
- Программный комплекс Syntes используется для нейтронно-физического и теплогидравлического расчета быстрых реакторов.
- Аналитический тренажер БН-800.

Аналитический тренажер БН-800



Занятия на аналитическом тренажере БН-800

Архитектура тренажёрного комплекса



Аналитический тренажер БН-800

Одна станция является рабочим местом инструктора, остальные – автоматизированными рабочими местами оператора. Рабочая станция инструктора отличается от других наличием специального инструкторского формата и специальной панели управления тренажером. С рабочего места инструктора осуществляется запуск модели и управление всей работой на тренажёре, включая задание отказов и воздействия «удаленного» управления (по месту).

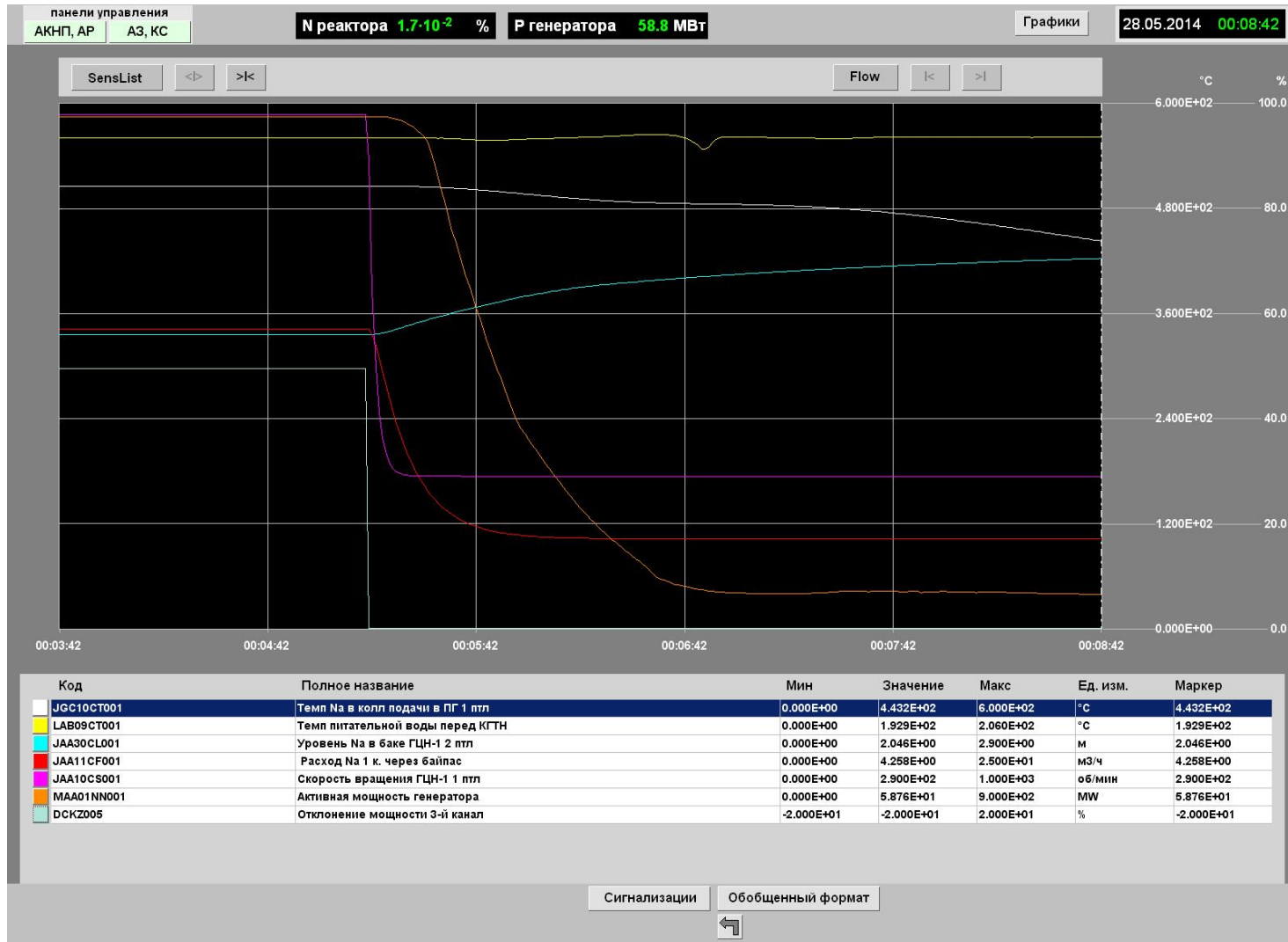
Станция оператора имитирует автоматизированное рабочее место (АРМ) оперативного персонала энергоблока. Каждая из них может служить рабочим местом операторов по управлению реактором, парогенераторами или турбинной установкой.

Аналитический тренажер БН-800

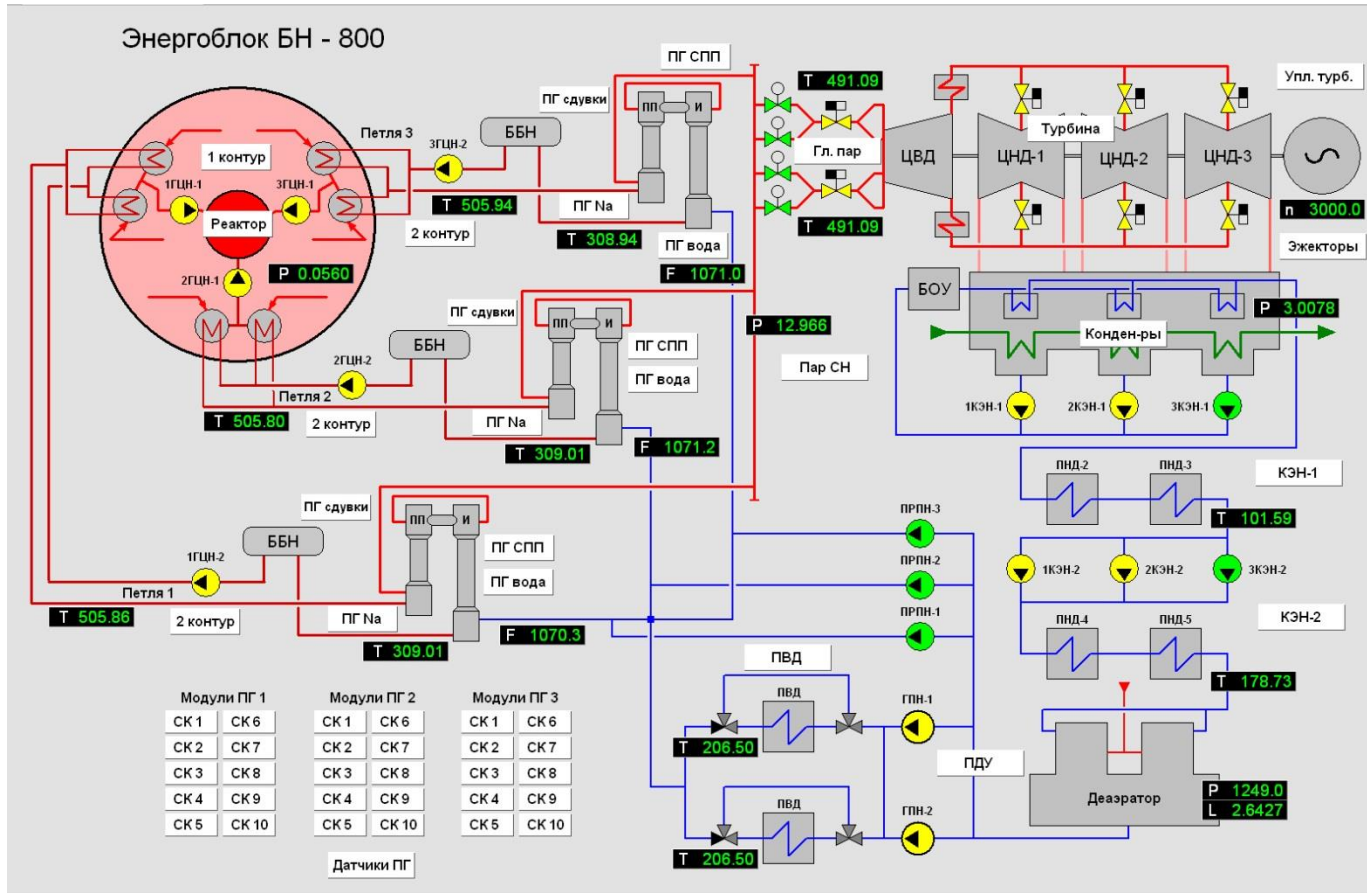
Вся необходимая информация о состоянии технических средств блока представляется оператору на экранах мониторов. Управление техническими средствами и технологическим процессом производится при помощи мыши. Все механизмы (насосы, регуляторы, арматура и т.д.) управляются при помощи пиктограмм и кнопок, расположенных на всплывающих окнах управления.

Необходимая информация (значения технологических параметров в цифровой форме и состояние насосов, регуляторов, арматуры и т.д.) представляется оператору на графических форматах, вызываемых на экран при помощи системы навигации. С этих форматов оператор управляет техническими средствами блока. Для наблюдения и изучения развития характерных процессов используются графики (рис.3).

Изменение параметров при срабатывании быстродействующей аварийной защиты

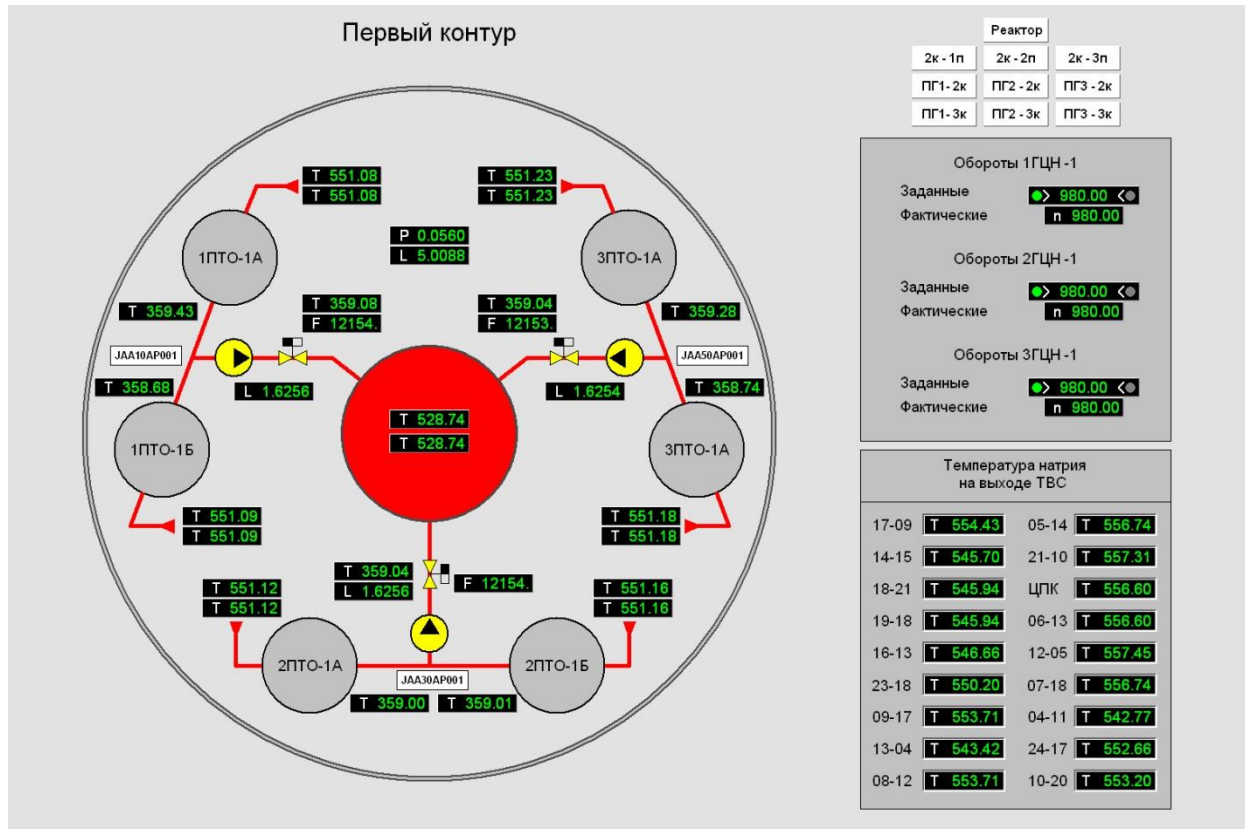


Обобщенный графический формат



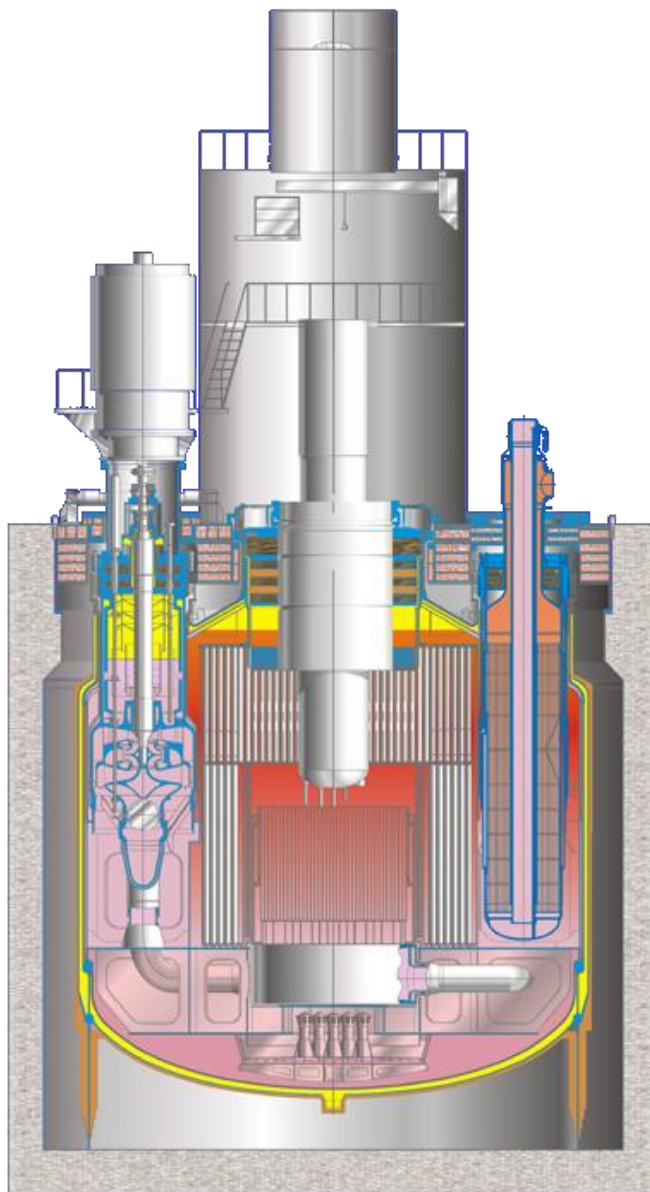
Обобщенный формат является ключевым графическим форматом, с которого осуществляется доступ ко всем остальным графическим форматам.

Модель первого контура

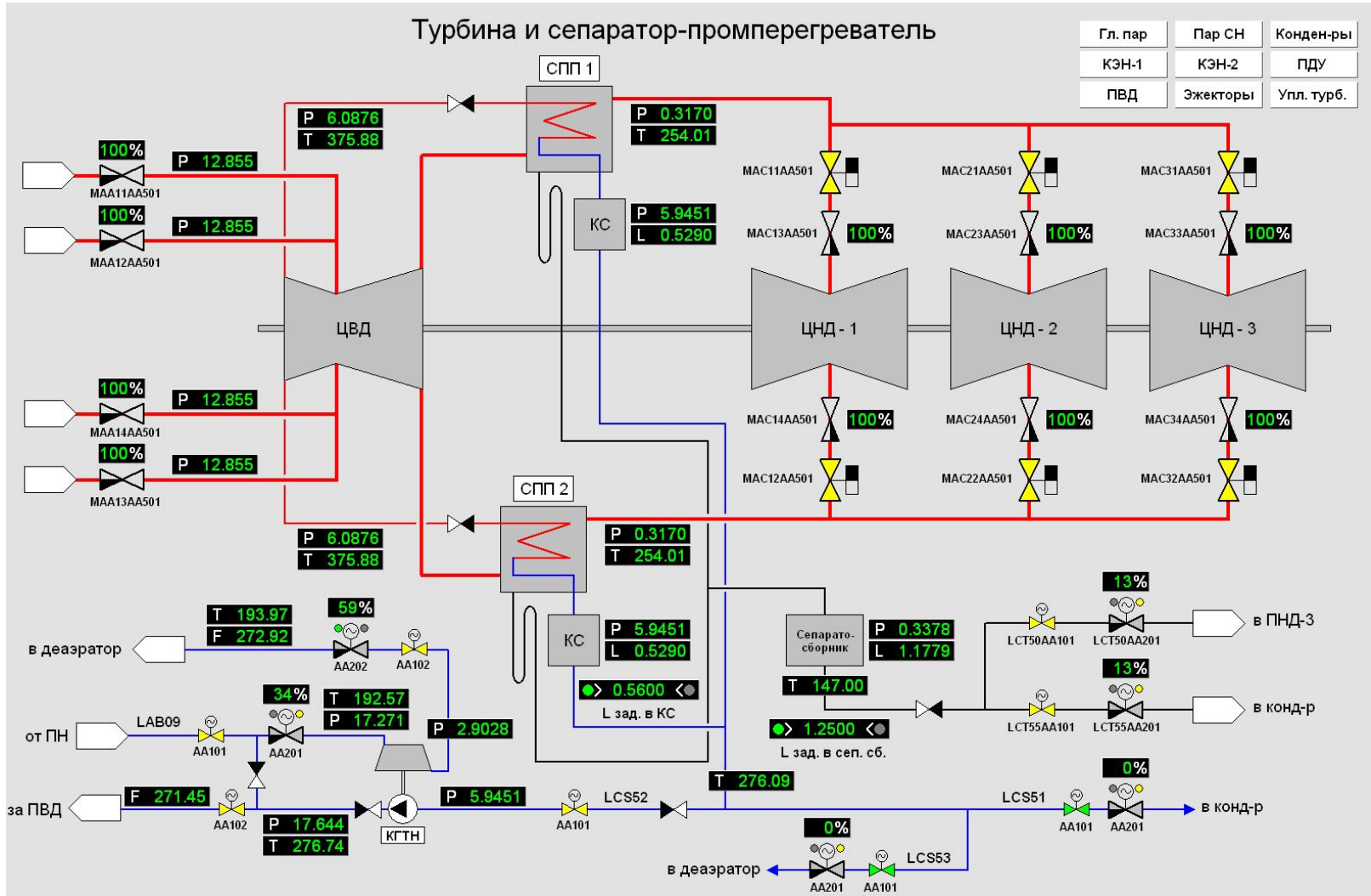


реализует моделирование передачи тепла от ядерного реактора ко второму контуру через промежуточные теплообменники

Реактор БН-800



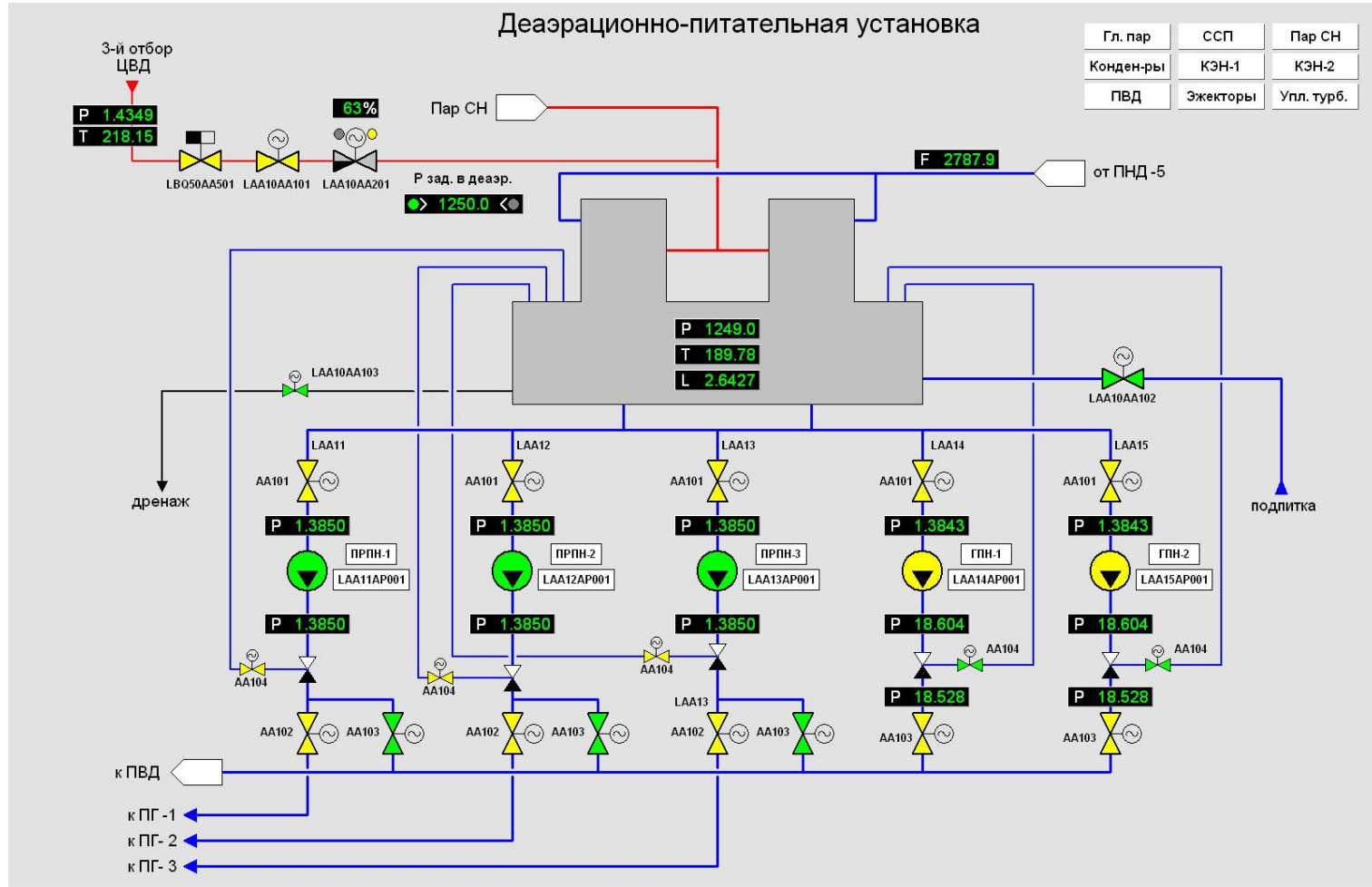
Модель турбины К-800-130/3000



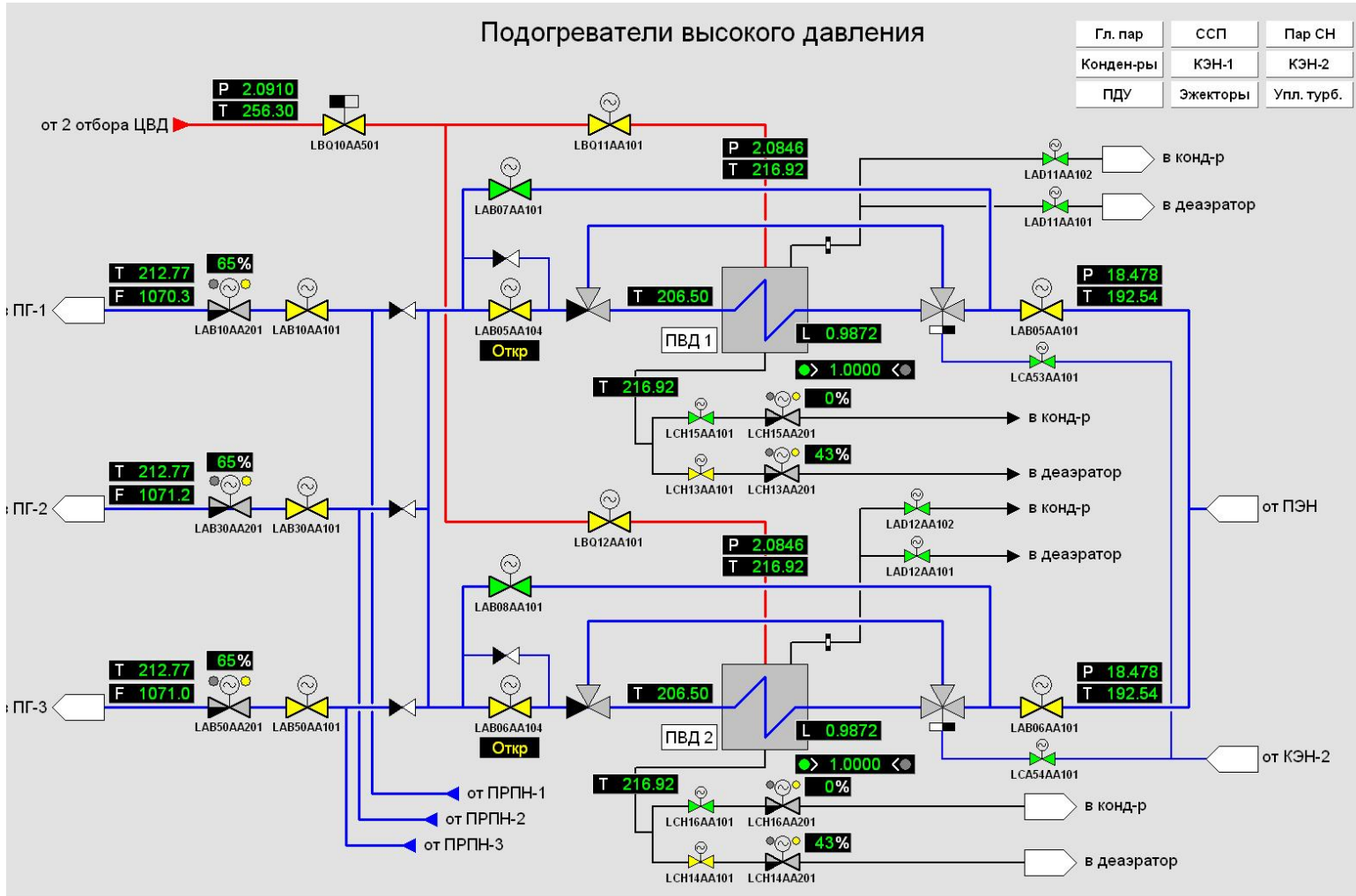
Турбина К-800-130/3000



Модель деаэрационно-питательной установки



Модель системы регенерации высокого давления



Аналитический тренажер БН-800

Тренажер обеспечивает:

- первоначальную подготовку, переподготовку и поддержание квалификации оперативного персонала и персонала инженерной поддержки АЭС;
- тренировки по управлению технологическим процессом реакторного, турбинного и электротехнического отделений энергоблока и контроль за его состоянием в нормальных и аварийных режимах;
- моделирование переходных процессов и поиск корневых причин аварийных ситуаций, имевших место на АЭС;
- проверки правильности действий персонала в переходных режимах, описанных в эксплуатационных инструкциях;
- формирование у персонала более глубокого понимания физических процессов, протекающих в управляемом объекте;
- анализ технико-экономических показателей энергоблока с целью их оптимизации;
- верификацию симптомно-ориентированных инструкций;
- оптимизацию систем КИПиА;
- разработку учебно-методического обеспечения.

Аналитический тренажер БН-800

В настоящее время совместно со специалистами Белоярской АЭС разрабатываются методические указания по выполнению следующих лабораторных работ на тренажере:

- Перекомпенсация компенсирующих органов СУЗ (имитация работы регулирующего стержня в режиме до перекомпенсации; последовательное извлечение на заданную высоту всех органов компенсации реактивности; поддержание мощности реактора на заданном уровне; перевод регулирующего стержня в автоматический режим).
- Метод относительного взвешивания (метод сравнения) (определение относительной эффективности всех или группы перемещаемых стержней СУЗ в мм ответного перемещения регулирующего стержня; поддержание мощности реактора на заданном уровне.).
- Отключение одной из теплоотводящей петель (снижение частоты вращения одного ГЦН 1 контура ниже уставки; срабатывание сигнала отключения петли; ввод в активную зону регулирующих стержней; перевод всех ГЦН на пониженную частоту вращения; поддержание мощности реактора на заданном уровне).
- Моделирование нестационарного режима, связанного с несанкционированным извлечением стержней СУЗ (компенсирующих и регулирующих, с максимальной скоростью).

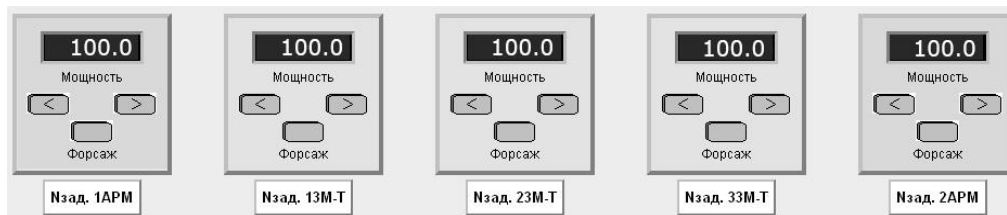
Аналитический тренажер БН-800

Рассмотрим учебно-практическое применение аналитического тренажера БН-800 на примере лабораторной работы, посвященной **маневрированию мощностью установки**.

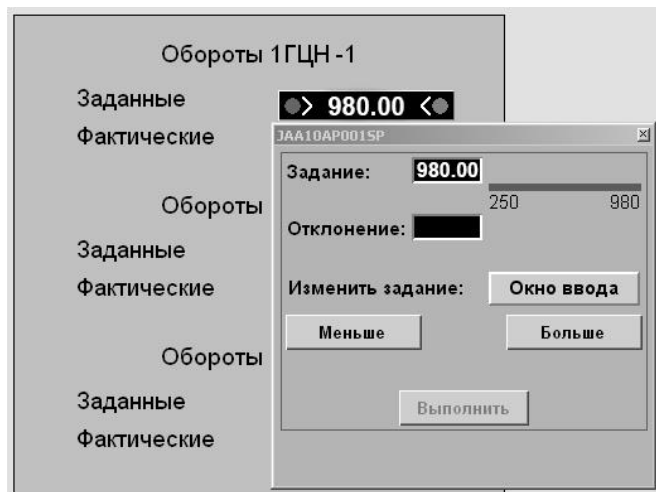
Целью работы является изучение режима маневрирования мощностью реакторной установки (РУ) БН-800. В реальном времени необходимо снизить мощность РУ до 80%, а затем поднять её до номинального уровня с шагом в 5%. Ход выполнения работы включает в себя проведение подготовительных перед снижением мощности реактора операций, заключающихся в разгрузке ПВД 1, 2 по пару до снижения температуры питательной воды после ПВД с величины 206°С до 190-195°С. Разгрузка ПВД по пару производится поочередным прикрытием задвижек подачи пара отбора от ТГ. Скорость снижения температуры питательной воды при этом не должна превышать 30°С/час.

Выполнение работы осуществляется по единому алгоритму, включающему в себя изменение мощности реактора с помощью автоматического регулятора нейтронной мощности АР-1 или АР-2 путем воздействия на $N_{зад} 1АРМ$ или $N_{зад} 2АРМ$ (рис.5).

Аналитический тренажер БН-800



Автоматические регуляторы нейтронной мощности АР- 1 и АР-2



Окно управления оборотами 1ГЦН-1

Аналитический тренажер БН-800

Тренажер позволяет решать ряд важных задач, повышающих качество подготовки специалистов для атомной энергетики:

- обучение персонала путем проведения индивидуальных и групповых занятий под руководством преподавателя;
- отработка интеллектуальных и моторных навыков управления оборудованием и слаженности действий операторов при выполнении работ в сложных технологических процессах;
- обучение с применением тренажеров персонала действиям при возникновении нештатных ситуаций;
- накопление и анализ персонифицированных статистических данных о надежности действий обучаемых в различных условиях, моделируемых учебно-тренировочными средствами;
- оценка вероятности успешного выполнения технологического процесса каждым обучаемым и группой в целом в штатном режиме и при возникновении нештатных ситуаций.

Выводы

1. Квалификация персонала, его компетентность и натренированность относятся к важнейшим факторам обеспечения безопасности атомной энергетики.
2. Обучение на тренажерах является необходимой частью подготовки оперативного персонала АЭС, помогает оператору освоить безошибочное выполнение алгоритмов управления, приемы анализа информации, понимать предысторию событий, почувствовать динамику параметров энергоблока.
3. Обучение на тренажере имеет особую значимость для опережающей подготовки эксплуатационного персонала головного энергоблока, позволяющее подготовить необходимое количество специалистов к его пуску.
4. Аналитический тренажер позволяет тренировать интеллектуальные навыки персонала, что намного сложнее и важнее, чем тренировка сенсомоторных навыков.

REFERENCES

1. O. Tashlykov , S. Shcheklein , A. Seseikin , A. Chentsov , Y. Nosov , O. Smyshlaeva, WIT Trans. Ecol. Environ. 190 (2) (2014) 907–918 .
2. O.L. Tashlykov , S.E. Shcheklein , Int. Sci. J. Altern. Energ. Ekol. 8–9 (172–173) (2015) 50–58 (in Russian)
3. O.L. Tashlykov , S.E. Shcheklein , A.I. Karpenko , A.I. Beltukov , A.M. Tuchkov , in: Proceedings of the Fourteenth International Conference on NPP Safety and Personnel Training [XIV Mezhdunarodnaya konferentsiya “Bezopasnost AES i podgotovka kadrov”], Obninsk, 2015, pp. 54–57 . (in Russian).
4. O.L. Tashlykov, S.E. Shcheklein, G.P. Titov, D.A. Nosov, A.M. Tuchkov, Methods for using computer training facilities in studies of special disciplines // Nuclear Energy and Technology, [Volume 2, Issue 4](#), December 2016, Pages 262–266
5. S.E. Shcheklein , O.L. Tashlykov , G.P. Titov , E.V. Borisova , D.A. Nosov Distantcionnoye i Virtualnoye Obucheniye 9 (2009) 4–16 (in Russian).
6. A.I. Beltukov , A.I. Karpenko , S.A. Poluyaktov , O.L. Tashlykov , G.P. Titov , A.M. Tuchkov , S.E. Shcheklein , Atomnye elektrostantsii s reaktorami na bystrykh neytronakh s natriyevym teplonositelem [Nuclear power plants with fast neutron sodium cooled reactors]. In 2 parts, part 1, vol. 1, Ural Federal University Publ., Yekaterinburg, 2013, p. 548. (in Russian) .

БЛАГОДАРЮ ЗА ВНИМАНИЕ!