

КОМПЛЕКС ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ НЕЙТРОННО-ФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК В ПЕРИОД ПУСКА И ОСВОЕНИЯ МОЩНОСТИ ЭНЕРГОБЛОКА № 3 КАЛИНИНСКОЙ АЭС

В.А. Литицкий, Б.В. Кутин, В.С. Паршутин

ГНЦ РФ-Физико-энергетический институт им. А.И. Лейпунского, г.Обнинск



Приведено описание комплекса аппаратуры и программных средств для измерения нейтронно-физических характеристик в период пуска, освоения мощности и эксплуатации третьего блока Калининской АЭС.

К пуску блока № 3 Калининской АЭС был разработан, изготовлен и установлен на данном энергоблоке специальный комплекс измерительной аппаратуры с соответствующим программным обеспечением, требуемый, в первую очередь, для экспериментального определения нейтронно-физических характеристик (НФХ) активной зоны реактора на различных уровнях мощности: от минимально контролируемого до номинального. Назывался этот комплекс системой экспериментального контроля (СЭК).

Необходимость разработки указанного комплекса была обусловлена следующими основными факторами:

- первая топливная загрузка блока № 3 Калининской АЭС, состоявшая полностью из альтернативных тепловыделяющих сборок (ТВСА) разработки ОКБМ (г. Нижний Новгород), являлась головной в отрасли, в связи с чем при пуске и освоении мощности данного блока был запланирован большой объем физических экспериментов с целью всестороннего исследования НФХ как для подтверждения безопасности эксплуатации, так и для получения всеобъемлющей информации для уточнения константного обеспечения расчетных кодов имитации топливных циклов ВВЭР-1000 с аналогичными сортами топлива;

- штатные системы измерений и регистрации параметров не обеспечивали требуемую точность измерения нейтронного потока и реактивности, и периодичность регистрации параметров, которая была не менее 1 с.

Кроме того, представление на рабочих станциях блочного пункта управления (БПУ) информации от штатных систем производилось с запаздыванием до 3 с, что затрудняло осуществление контроля за состоянием активной зоны и реакторной установки (РУ) в целом при проведении ряда физэкспериментов.

© **В.А. Литицкий, Б.В. Кутин, В.С. Паршутин, 2008**

Так, например, при определении дифференциальной эффективности групп органов (ОР) системы управления и защиты реактора (СУЗ) необходимо было регистрировать их положение, реактивность и ряд других параметров реактора с периодичностью 0,1 с. Обусловлено это тем, что движение ОР СУЗ происходило по шагам, длительность которых составляла примерно 1 с. При этом перемещение ΔH ОР СУЗ осуществлялось в течение 0,1–0,2 с, а затем в течение 0,8–0,9 с его положение не менялось. При определении дифференциальной эффективности ОР СУЗ необходимо регистрировать изменение реактивности на каждом шаге. На рис. 1 показана типичная зависимость изменения во времени положения группы ОР СУЗ и реактивности, полученная с использованием СЭК. В данном случае группа ОР СУЗ погружалась на 5 шагов и величина перемещения составила 10 см. За каждое Δt_i (время перемещения группы ОР на i -м шаге), равное 1 с, производилось одно перемещение ОР СУЗ на 2 см. Следовательно, абсолютная погрешность при измерении величин ΔH_i штатными системами регистрации (период съема информации 1 с и больше) была не менее 2 см. При такой величине абсолютной погрешности точное определение дифференциальной эффективности групп ОР СУЗ невозможно. Использование СЭК с периодом опроса 0,1 с позволило точно (без погрешности измерений) определять значения ΔH_i .

В целом в процессе физического пуска и на этапе освоения мощности первого энергоблока № 3 Калининской АЭС были определены следующие НФХ:

- интегральные и дифференциальные эффективности групп ОР СУЗ;
- эффективность отдельных ОР СУЗ, погруженных практически в свободную от поглотителей активную зону;
- эффективность отдельных ОР СУЗ при различных погруженных в активную зону группах ОР СУЗ;
- температурный, барометрический и мощностной коэффициенты реактивности;
- эффективность аварийной защиты (АЗ) и эффективность наиболее эффективного органа регулирования СУЗ.

Следует отметить также, что регистрация системой экспериментального конт-

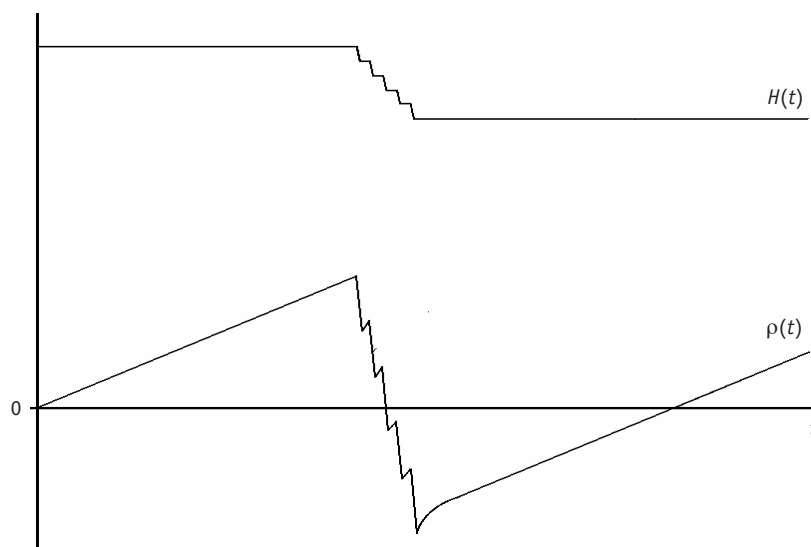


Рис. 1. Изменение во времени положения группы ОР СУЗ и реактивности на i -ом шаге (случай погружения группы ОР СУЗ)

роля помимо нейтронного потока и реактивности большого количества технологических параметров с частотой до 10 Гц при освоении мощности блока позволила более качественно интерпретировать быстрые переходные динамические процессы на энергоблоке, имевшие место при проведении различных динамических испытаний, что не могло быть обеспечено штатными системами из-за наличия аперттуры и достаточно большого периода регистрации аналоговых параметров.

Комплект аппаратуры СЭК (рис.2) состоял из четырех модулей регистрации параметров (МРП-32), трех цифровых вычислителей реактивности (ЦВР-10) с самописцами А-650, источников питания ионизационных камер и автоматизированного рабочего места руководителя пуска блока (АРМ).

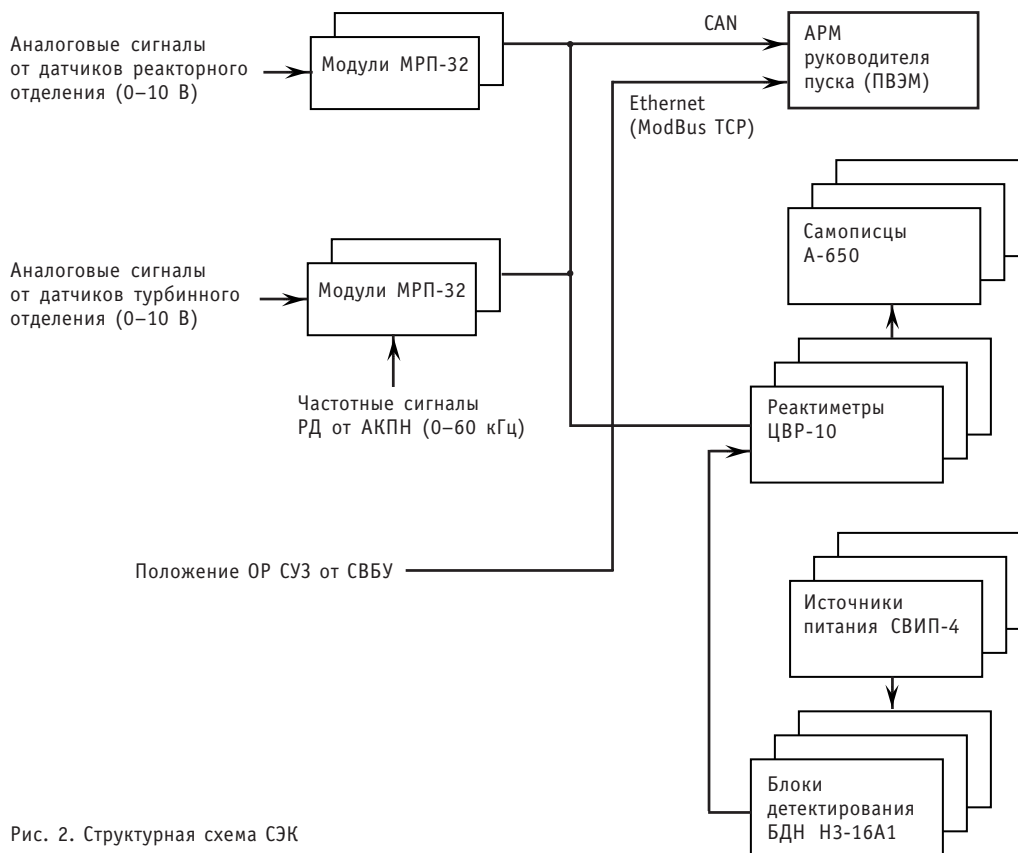


Рис. 2. Структурная схема СЭК

Модуль МРП-32 построен на элементах микроэлектроники, управляемых микропроцессором, и обеспечивает измерение входных электрических сигналов по 32 аналоговым входам (каналам) с гальванической развязкой от контролируемых цепей, а также измерение входных электрических сигналов по 6 частотным входам (каналам) с гальванической развязкой входных цепей. Модуль рассчитан на измерение аналоговых сигналов в диапазонах 0–10 В или 0–100 мВ и частотных сигналов в диапазоне 0–100 кГц. Предел основной относительной погрешности измерения максимального значения входного сигнала по аналоговым и частотным входам при нормальных условиях окружающей среды не превышает 0,5%. Результаты измерений передавались по CAN-сети в АРМ. Минимальный период снятия данных с каждого из каналов составляет 0.1 с. В это время входит и время посылки данных по сети.

Количество аналоговых входных сигналов датчиков в эксперименте было равно 89, что позволило регистрировать все необходимые для определения нейтронно-физических характеристик реакторной установки параметры, такие как концентрация борной кислоты в реакторе и на линии подпитки первого контура, температура теплоносителя в «холодных» и в «горячих» нитках петель первого контура, перепады давления на ГЦН и на реакторе, электрическая мощность, потребляемая каждым ГЦН, давление над активной зоной, уровень теплоносителя в КД, давление пара в парогенераторах и ГПК, расходы, температура и давление питательной воды, подаваемой в парогенераторы, уровни котловой воды в парогенераторах и др. По 6 частотным каналам регистрировались значения нейтронного потока рабочего диапазона (РД) АKNП. В целом же комплекс аппаратуры, состоящий из 4 модулей МРП-32, был рассчитан на измерение 128 аналоговых и 24 частотных сигналов.

В состав СЭК для измерения текущего значения реактивности входили три реактиметра ЦВР-10 (рис. 3). В качестве датчиков нейтронного потока реактиметров использовались блоки детектирования БДН НЗ-16А1 с ионизационными камерами КНК-4. Их питание обеспечивалось высоковольтными источниками питания СВИП-4, разработки ГНЦ РФ-ФЭИ.



Рис. 3. Реактиметр ЦВР-10

Реактиметр обеспечивает измерение реактивности в диапазоне изменения тока ионизационной камеры – от $1,0 \times 10^{-10}$ до $1,5 \times 10^{-3}$ А, с приборной погрешностью не превышающей $\pm 5\%$.

В реактиметрах ЦВР-10 предусмотрена возможность передачи данных о токе и реактивности через последовательный интерфейс RS-232. Чтобы обеспечить передачу информации от каждого из реактиметров в CAN-сеть, были изготовлены дополнительные устройства-конверторы для преобразования данных из последовательного стандарта RS-232 в сетевой стандарт CAN.

Цифровые вычислители реактивности ЦВР-10 и модули МРП-32 имеют сертификаты об утверждении типа средств измерений, выданные Госстандартом России.

Автоматизированное рабочее место руководителя пуска предназначалось для приема, сохранения и обработки информации, поступающей по локальной сети CAN от модулей регистрации параметров МРП-32 и реактиметров ЦВР-10. АРМ представляло собой персональный компьютер (P4 2.4 ГГц/ОЗУ 512 МБ/ RAID-массив из двух HDD по 40 ГБ) с оптической Ethernet-картой и CAN-контроллером. Информация о положении органов СУЗ поступала по сети Ethernet непосредственно на АРМ по протоколу MODBUS TCP от штатной аппаратуры Калининской АЭС. Сервисное программное обеспечение, разработанное специально для СЭК и установленное на АРМ, выполняло следующие функции:

- выбор и назначение (наименование параметра, диапазон изменения его значений и т.д.) каналов, по которым производится измерение требуемых в данном эксперименте параметров;
- ввод и автоматический учет градуировочной характеристики данного канала;
- назначение периода снятия данных с приборов (МРП-32, ЦВР-10) для записи их в память ПК на АРМ;
- назначение периода вывода данных на экран монитора;
- выбор каналов для графического представления значений их сигналов в процессе измерений на экране монитора;
- создание файлов с результатами измерений по всем выбранным каналам с комментарием;
- просмотр на мониторе ПК результатов измерений в графическом представлении с возможностями выбора участка графика для его просмотра, масштабирования и т.д.
- хранение данных эксперимента и их передачу сетевыми средствами;
- вывод графиков в любом масштабе на устройство печати.

Программа имеет два режима работы: режим индикации и режим записи. В режиме индикации программа может работать сколь угодно долго, т.к. запись на диск не производится. В режиме записи данные сохраняются на жестком диске компьютера. При периоде записи 0.1 с время проведения эксперимента равно 30 мин, при периоде 0.2 с время эксперимента составляет 60 мин и т.д. Типичная «картинка», получаемая на экране монитора при проведении эксперимента, показана на рис. 4.

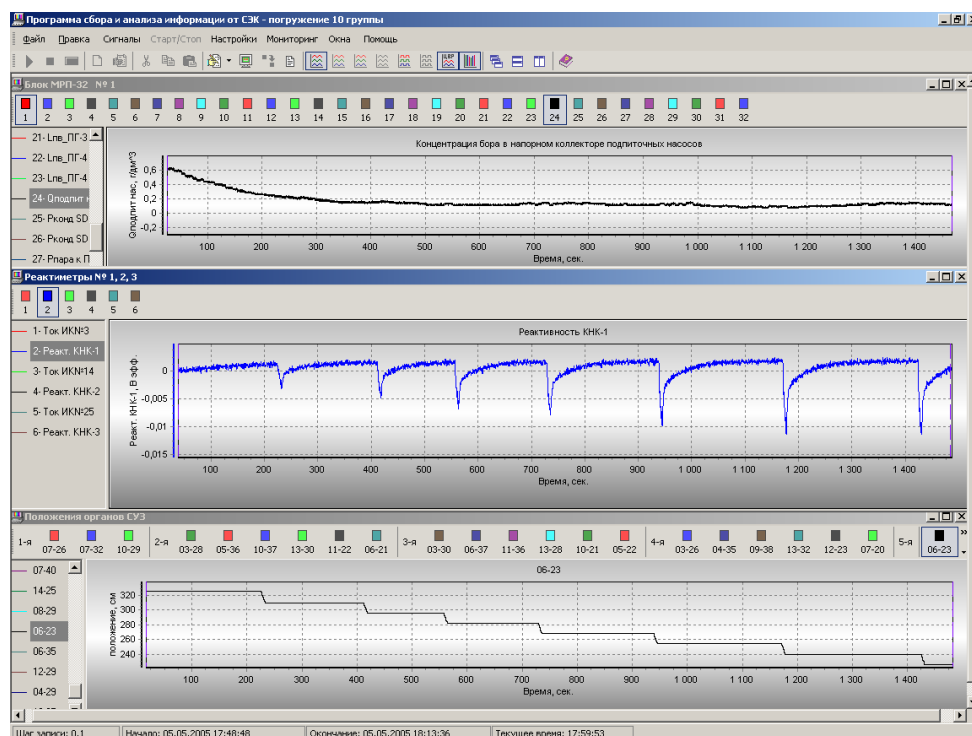


Рис. 4. Иллюстрация графического отображения данных эксперимента на экране монитора (снижение концентрации бора в 1 контуре и погружение 10 группы ОР СУЗ для компенсации положительной реактивности на энергетическом уровне мощности)

Учитывая важность получаемой информации, связанную в том числе и со сложностью проводимых экспериментов и невозможностью их повторного воспроизведения, большое внимание уделялось сохранности получаемой информации. В связи с этим получаемая информация параллельно записывалась на два жестких диска АРМ, а также выводилась на самопишущие приборы в режиме on-line.

Использование программно-аппаратного комплекса СЭК во время пуска и освоения мощности 3 энергоблока Калининской АЭС позволило:

- осуществить более оперативный контроль состояния реакторной установки в сравнении со штатными системами АЭС и повысить безопасность эксплуатации энергоблока при проведении экспериментов и испытаний;
- сократить продолжительность проведения экспериментов и длительность обработки данных;
- повысить точность определения нейтронно-физических характеристик;
- осуществить регистрацию достаточно большого количества технологических параметров с частотой 10 Гц;
- более качественно анализировать быстрые динамические процессы на энергоблоке в ходе динамических испытаний;
- создать банк данных на магнитных и съемных носителях по всем экспериментам, проводившимся на всех этапах пусконаладочных работ.

Авторы выражают искреннюю благодарность В.А. Терешонку, Б.В. Доровских, В.П. Галий и Ю.В. Кузину, активная поддержка и участие которых во многом определили успех этой работы.

Поступила в редакцию 3.12.2007

УДК 621.039.51

The Hardware-Software Complex for Measurements of Neutron-Physical Characteristics During First Criticality and Power Start-up of the Kalinin NPP Third Unit \ V. Lititsky, B. Kutin, V. Parshutin; Editorial board of Journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yademaya energetica» (Communications of Hight Schools. Nuclear power engineering). – Obninsk, 2008. – 6 pages, 4 illustrations.

This article describes the complex of hardware and software instruments for measurements of neutron-physical characteristics during first criticality, power start-up and operation of the Kalinin NPP third unit.

УДК 621.039.54

System of Numerical Benchmarks for VVER Neutronics \ I.R. Suslov; Editorial board of journal «Izvestia vusshikh uchebnikh zavedeniy. Yademaya energetica» (Communications of Higher School. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2008. – 10 pages, 1 table. – References – 18 titles.

A system of computational neutronic benchmarks has been developed over the last four years. This system is intended to complement the Atomic Energy Research (AER) benchmarks. This paper presents a summary of the development and a brief description of the benchmarks. The set is primarily comprised of interrelated benchmarks that share situation descriptions and data. The system covers the VVER 440 and VVER 1000 reactors extensively, and in a few cases the newer VVER 640 reactor design. Benchmarks within the system address the static, dynamic (with and without feedback), fuel depletion and fuel loading optimization, and normal as well as accident situations.

УДК 621.039.5

Optimization Tasks of Non-Hermetic Fuel Assemblies Extraction in RBMK Nuclear Reactor \ A.M. Zagrebayev, N.V. Ovsyannikova, A.E. Rechkiman; Editorial board of Journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yademaya energetica» (Communications of Hight Schools. Nuclear power engineering). – Obninsk, 2008. – 9 pages, 3 illustrations. – References – 5 titles.

The possibility of optimization of non-hermetic fuel assemblies schedule in a nuclear reactor at different criteria and restrictions is considered. The solution of optimization tasks with maximum permissible emission limit and under penalty is given.

УДК 621.039.51

Model of VVER -1000 Reactor for Training Course \ V.I. Belozarov, V.V. Sergeev, A.A. Kazantsev, A.N. Pozdnyakov, M.Yu. Kanyshv; Editorial board of Journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yademaya energetica» (Communications of Hight Schools. Nuclear power engineering). – Obninsk, 2008. – 8 pages, 3 illustrations. – References – 3 titles.

Because of absence of professors in the locations of NPP some of functions of training and maintenance of qualification can be performed by means of computer training courses.

The developed didactic model of reactor VVER -1000 enables one to perform the comparative analysis of transient operation mode and for some emergency processes also in dependence both from an initial condition (the period of campaign, position of control rods, power level, previous history of power and so on), and from composition of core itself. Based upon of transient completely non-equilibrium thermal-hydraulic code from 6 conservation equations and neutron-physical model the model of reactor VVER -1000 is developed for a training course.

The scope of simulation was chosen as optimum for the given task. Unlike a program of creating the models for NPP simulator, the model was performed with higher accuracy, but with smaller volume of the main equipment, than in full-scale simulators, that essentially improves understanding of physics.

УДК 321.039.531: 620.193

Inside Cladding Corrosion of Stainless Steel in Reactor Conditions \ E. Kinev; Editorial board of Journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yademaya energetica» (Communications of Hight Schools. Nuclear power engineering). – Obninsk, 2008. – 7 pages, 5 illustrations. – References – 2 titles.

Fuel cladding corrosion of annealed 0.08C 16Cr15Ni3MoNb stainless steel, .08C16Cr15Ni3MoNb cold-worked (CW), 0.06C16Cr15Ni3MoNb CWsteel, 0.06C16Cr15Ni2Mo2MnTiVB CWsteel, and