

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЕ ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ КОМПЛЕКСНЫХ ИСПЫТАНИЙ СИСТЕМЫ ВНУТРИРЕАКТОРНОГО КОНТРОЛЯ РЕАКТОРОВ ВВЭР

Ю.В. Саунин, А.Н. Добротворский, А.В. Семенихин

Нововоронежский филиал ОАО "Атомтехэнерго", Нововоронеж, Россия

Введение

Основной задачей штатной системы внутриреакторного контроля (СВРК) энергоблоков АЭС с реакторами ВВЭР является обеспечение экономичной безопасной эксплуатации реакторной установки посредством представления точной и оперативной информации о распределении теплотехнических и ядерно-физических параметров внутри активной зоны [1]. Программно-технические средства современных СВРК позволяют представлять эксплуатационному персоналу энергоблока обобщенные параметры, характеризующие состояние активной зоны и режим работы реакторной установки, а также выполнять функции автоматического управления путем формирования сигналов защиты по локальным внутриреакторным параметрам. Таким образом, к достоверности выходной информации и надежности работы СВРК предъявляются повышенные требования, как к составной части системы управления и защиты реакторной установки.

Выполнение комплексных испытаний СВРК при вводе энергоблока АЭС с реакторами ВВЭР в эксплуатацию является одним из необходимых условий приёма, как системы, так и энергоблока в целом в промышленную эксплуатацию [2]. При этом, под комплексными испытаниями СВРК подразумеваются комплексные проверки правильности функционирования системы в соответствии с проектной и нормативной документацией и определение достоверности выходной информации СВРК в реальных эксплуатационных состояниях на всех этапах ввода энергоблока в эксплуатацию [3]. Кроме этого, к комплексным испытаниям СВРК относятся работы по экспериментальному определению значений констант, используемых в базе данных СВРК, и работы по оценке качества монтажных работ, предусматривающие создание специальных режимов работы РУ. Работы, которые по приведенному выше определению относятся к комплексным испытаниям СВРК, проводятся и в ходе промышленной эксплуатации энергоблоков АЭС с ВВЭР в соответствии с требованиями технологических регламентов безопасной эксплуатации.

Опыт проведения комплексных испытаний СВРК и в особенности для систем последних поколений показал, что без автоматизации процедур обработки получаемой исходной информации, практически невозможно одновременно обеспечить высокое качество конечных результатов данных работ и быстроту их получения для своевременного представления отчетной документации. Эти обстоятельства играют ещё большую роль при планируемом увеличении количества вводимых в эксплуатацию энергоблоков и, соответственно, повышении требований к экономическим показателям пусконаладочных работ.

В настоящей работе представляется разработанное специалистами "Нововоронеж-атомтехэнерго" специализированное программное обеспечение (СПО), которое обеспечивает автоматизированную обработку данных всех видов комплексных испытаний СВРК разных модификаций. Приведены сведения о результатах пробного практического использования СПО при вводе в эксплуатацию энергоблоков с разными проектами реакторной установки (В-320 – энергоблок №3 Калининской АЭС, В-428 – энергоблоки №1, 2 Тяньваньской АЭС).

Основные решаемые задачи и структура СПО

СПО необходим персоналу, выполняющему комплексные испытания СВРК, в качестве прикладного инструментального средства для оперативной обработки больших объемов информации, получаемой в ходе испытаний. Структура СПО соответствует видам проводимых испытаний. Практическое использование СПО требует привязки и настройки для учета особенностей протоколов обмена и хранения информации в архивах штатных систем контроля и информации конкретных энергоблоков разных проектов.

В целом СПО служит для выполнения следующих задач:

- расширение возможностей обработки информации, представляемой известными программными продуктами (например, MS EXCEL, MATHCAD и др.);
- конвертирование требуемой исходной информации, записанной на внешние носители информации из архивов штатных средств контроля и управления, в соответствии с рабочими программам испытаний в единый формат, позволяющий проводить обработку информации на персональных компьютерах;
- одновременная загрузка нескольких файлов с данными от разных источников с переменным шагом между записями, временем начала и конца выборки;
- специализация для работы с данными по конкретным видам испытаний;
- визуализация шагов процедур обработки информации с удобным и понятным для пользователя интерфейсом;
- исполнение программного обеспечения в виде мастера отчетов с пошаговым продвижением вперед и назад для оперативного управления процессом обработки;
- гибкость настроек под различные этапы ввода в эксплуатацию и разные проекты энергоблоков и СВРК;
- свободный доступ к информации в графическом и табличном представлении;
- представление обобщенных результатов обработки в форматах требуемых для отчетной документации;
- сохранение настроек, шаблонов для повторного использования в случае выполнения одного и того же испытания на однотипном оборудовании.

СПО СВРК разработано на языке Object Pascal (среда разработки Borland Delphi 7.0) для IBM PC-совместимых персональных компьютеров с ОС Windows (Windows 95, Windows98, Windows 2000; Windows XP). Согласно видам испытаний СВРК, сложившихся к настоящему времени [3-5], в состав СПО включены следующие программные продукты:

- "Термоконтроль на ХГО и ФП" - программа для обработки результатов испытаний по проверке функций контроля температуры теплоносителя 1 контура на подэтапе "Холодно-горячая обкатка (ХГО)" этапа "Предпусковые наладочные работы" и на этапе "Физический пуск (ФП)";
- "Термоконтроль на мощности" - программа для обработки результатов испытаний по проверке функций контроля температуры теплоносителя 1 контура на подэтапах освоения различных уровней мощности этапов "Энергетический пуск" и "Опытно-промышленная эксплуатация";
- "Достоверность общетехнологических параметров" - программа для обработки результатов испытаний по проверке функций контроля состояния реакторной установки и достоверности выходной информации;

- "Проверка токов ДПЗ" - программа для обработки результатов испытаний по проверке достоверности первичной информации от датчиков прямой зарядки (ДПЗ);
- "Проверка энерговыделения" - программа для обработки результатов испытаний по проверке функций контроля энерговыделения в активной зоне";
- "Проверка параметров защит ПТК-3" - программа для обработки результатов испытаний по проверке достоверности информации и правильности алгоритмов формирования сигналов защит по локальным внутриреакторным параметрам в программно-техническом комплексе защит (ПТК-3);
- "Проверка расчета мощности РУ" - программа для обработки результатов испытаний по проверке функций контроля тепловой мощности реактора;
- "Термополе" - программа для обработки результатов испытаний по определению распределения температуры теплоносителя 1 контура на входе в активную зону;
- "Проверка правильности отображения координат внутриреакторных датчиков" - программа для обработки результатов испытаний по проверке соответствия координат датчиков контроля температуры и энерговыделения в активной зоне координатам этих датчиков в программно-техническом комплексе (ПТК) СВРК;
- "Динамика" - программа для графического представления и анализа поведения оцениваемых параметров.

Таким образом, каждый программный продукт СПО предназначен для обработки информации получаемой при проведении конкретного вида комплексных испытаний СВРК и используется как самостоятельная программа. Поскольку при разработке всех программных продуктов СПО использовалась общая концепция и методология, то ниже более подробно представляется описание работы одной программы ("Термополе") и указываются особенности работы других программ СПО.

Описание работы программы "Термополе"

Принципиальные положения алгоритмов обработки, которые стали основой для расчетных процедур программы "Термополе", представлены в работе [6]. Целью испытаний по определению распределения температуры теплоносителя 1 контура на входе в активную зону является получение экспериментальных данных для расчета коэффициентов, определяющих температуру теплоносителя на входе в тепловыделяющую сборку (ТВС) в зависимости от температур в холодных нитках петель 1 контура. Указанные коэффициенты предназначаются, в свою очередь, для расчетов (восстановления) температур теплоносителя на входе в каждую ТВС при оценках запасов до кризиса теплообмена [4]. Кроме этого, по данным испытаний могут быть проведены оценки межпетлевого перемешивания потоков теплоносителя в корпусе реактора [6], что является отдельной работой проводимой при вводе энергоблока в эксплуатацию.

При запуске программы появляется стартовое окно, в котором дается информация о программе. После стартового окна пользователь переходит на следующий шаг – "Загрузка данных" (см. рис.1). На этом шаге открываются файлы с исходной информацией, которая, как правило, копируется из архивов СВРК и других штатных систем контроля и управления. Такими системами, могут быть, например, аппаратура контроля нейтронного потока (АКНП), система управления и защиты (СУЗ) и т.д. Программа выбирает из файлов необходимые параметры для обработки и, при необходимости, указывает недостающие. Список необходимых параметров задается идентификаторами (например, кодами в формате KKS) в отдельном файле, ссылка на который имеется в настройечном файле. Таким образом, для привязки к конкретному блоку, достаточно

сформировать текстовый файл с нужными идентификаторами и указать ссылку на него в настройечном файле.

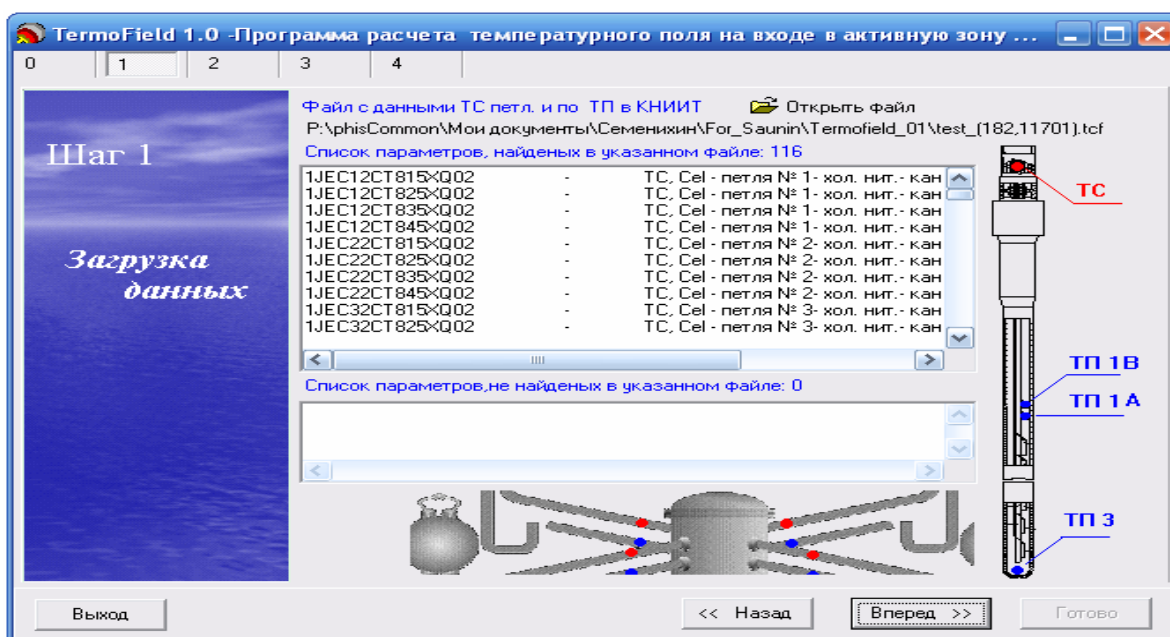


Рис.1. Вид окна шага "Загрузка данных" программы "Термополе"

На следующем шаге работы программы пользователь указывает режим работы РУ при проведении испытаний. Так же требуется указать критерий успешности получаемых результатов и используемые датчики температурного контроля в активной зоне (см. рис.2).

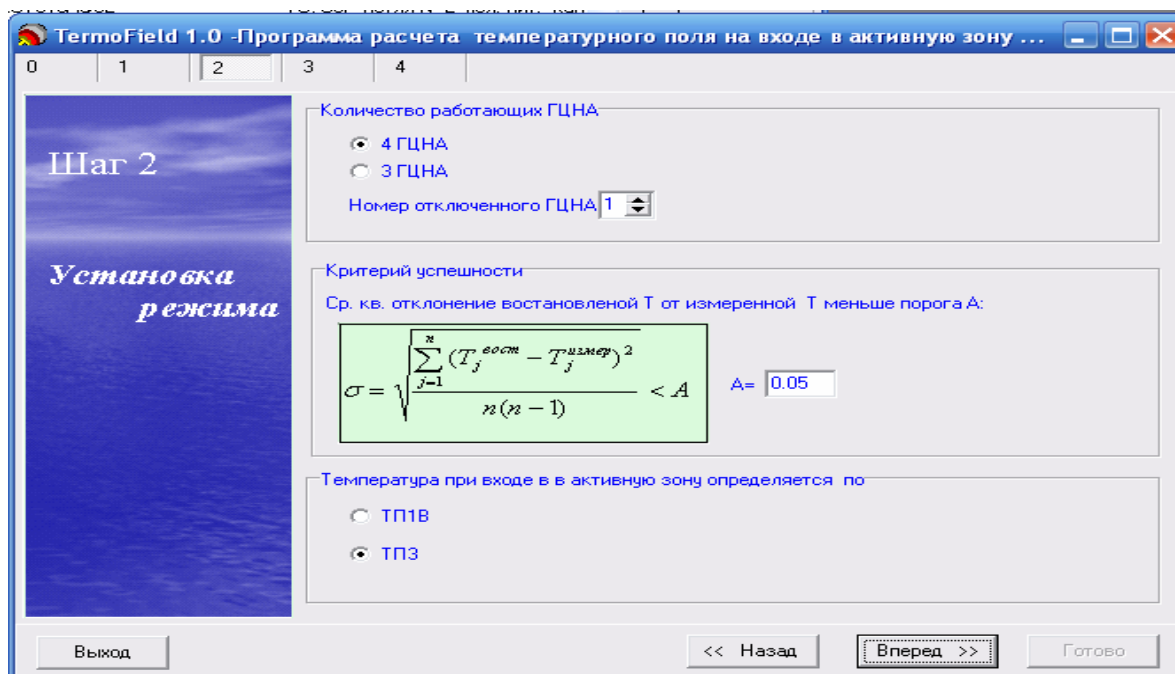


Рис.2. Вид окна шага "Установка режима" программы "Термополе"

При выполнении следующего шага происходит загрузка указанной исходной информации и выводится график поведения средних температур теплоносителя в нитках петель 1 контура (см. рис.3). С помощью данного графика пользователь отмечает моменты времени, указывающие на начало и конец расхолаживания РУ через выбранную петлю. При этом программа рассчитывает значения всех переменных на выбранные

моменты времени опираясь на линейную аппроксимацию по методу наименьших квадратов (МНК).

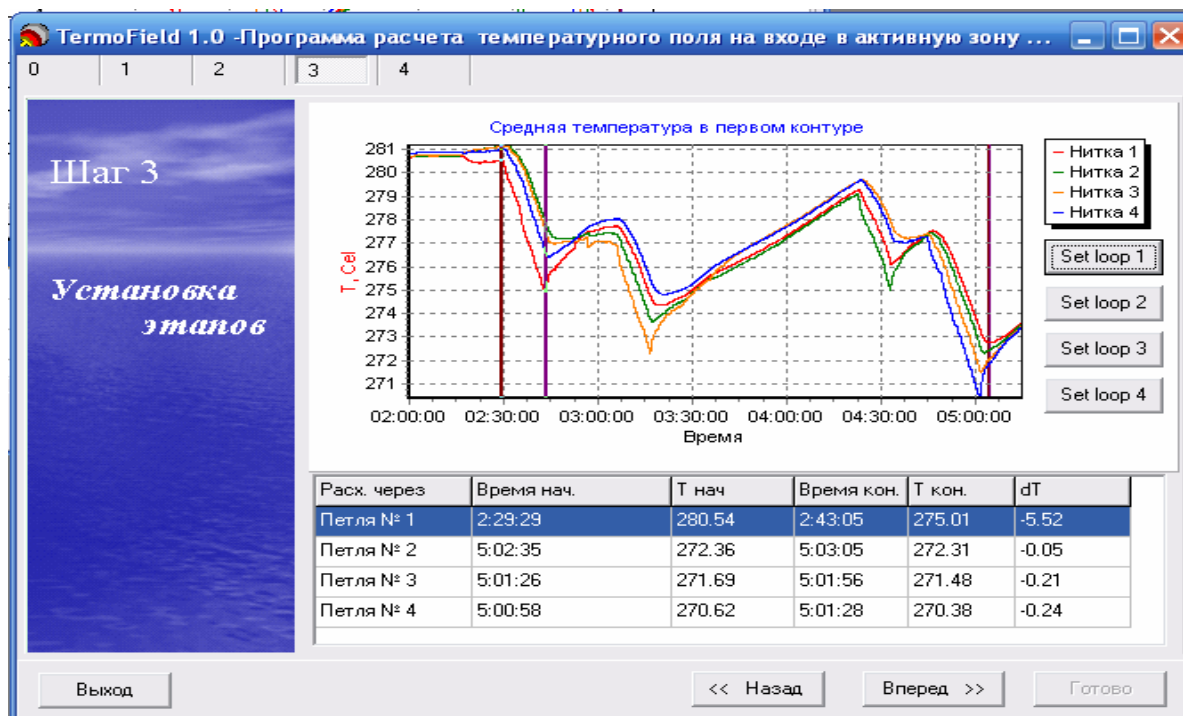


Рис.3. Вид окна шага "Установка этапов" программы "Термополе"

После этого шага в программе происходит решение комплекса систем (по количеству ТВС с точками контроля температуры на входе или выходе из ТВС) из 4-х или 3-х линейных уравнений (в зависимости от числа работающих ГЦН):

$$\begin{cases} a_1 T_{11} + a_2 T_{12} + a_3 T_{13} + a_4 T_{14} = T_1^j \\ a_1 T_{21} + a_2 T_{22} + a_3 T_{23} + a_4 T_{24} = T_2^j \\ a_1 T_{31} + a_2 T_{32} + a_3 T_{33} + a_4 T_{34} = T_3^j \\ a_1 T_{41} + a_2 T_{42} + a_3 T_{43} + a_4 T_{44} = T_4^j \end{cases}$$

где T_{kl} - температура в k-ой петле при l- расхолаживании;

T_k^j - температура в j-ой ТВС при расхолаживании через k-ую петлю.

На представительность решения приведенной системы линейных уравнений большое влияние оказывает корректность исходных данных или в данном случае правильность выбора моментов начала и конца расхолаживания. Исходя из этого, пользователь может изменять моменты времени и, тем самым, оперативно управлять решением.

На следующих шагах пользователю представляются данные по решению систем уравнений как в табличном виде (см. рис. 4), так и в виде картограмм коэффициентов (см. рис. 5). Графическое представление в виде картограммы позволяет оценить достоверность решения системы уравнений, ориентируясь на гладкость перехода цвета от минимума к максимуму. Таким способом можно идентифицировать возможные выбросы при решении, т.к. коэффициенты не могут изменяться скачкообразно.

При необходимости после анализа табличного и графического представления полученных коэффициентов пользователь имеет возможность скорректировать решение системы уравнений путем ручного изменения значения измеренной температуры в пределах точности датчика. Такие случаи могут возникать, если по непредвиденным об-

стоятельствам в массивах исходной информации будут зафиксированы недостоверные показания по конкретным датчикам в отдельные периоды времени.

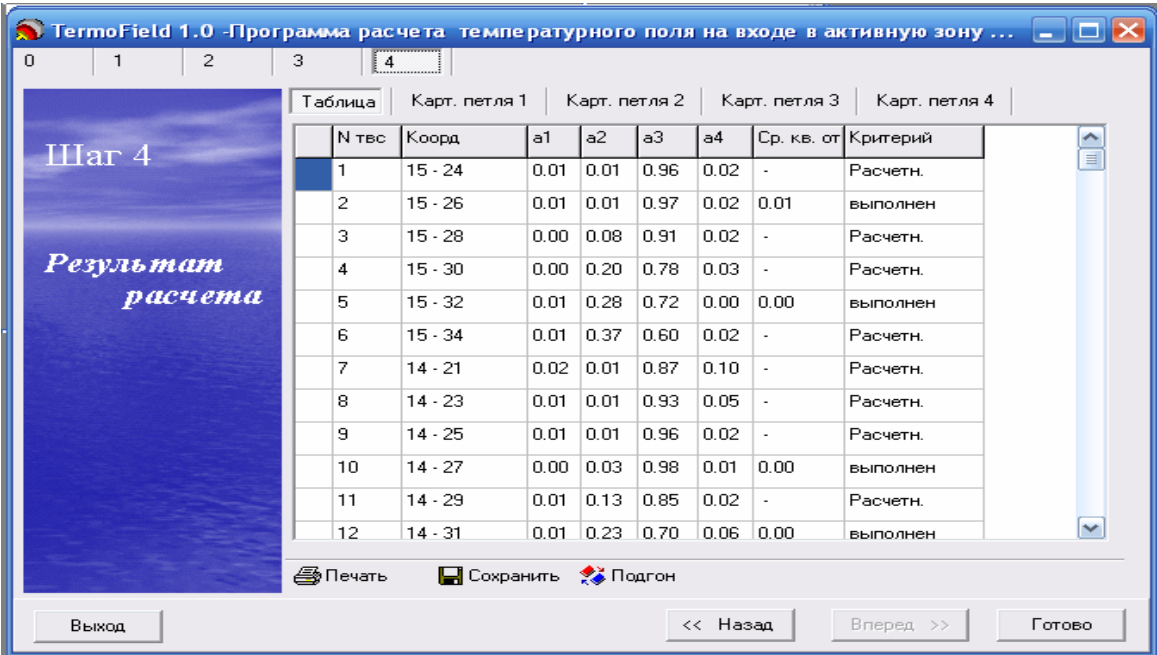


Рис.4. Вид окна с результатами расчета в табличном виде программы "Термополе"

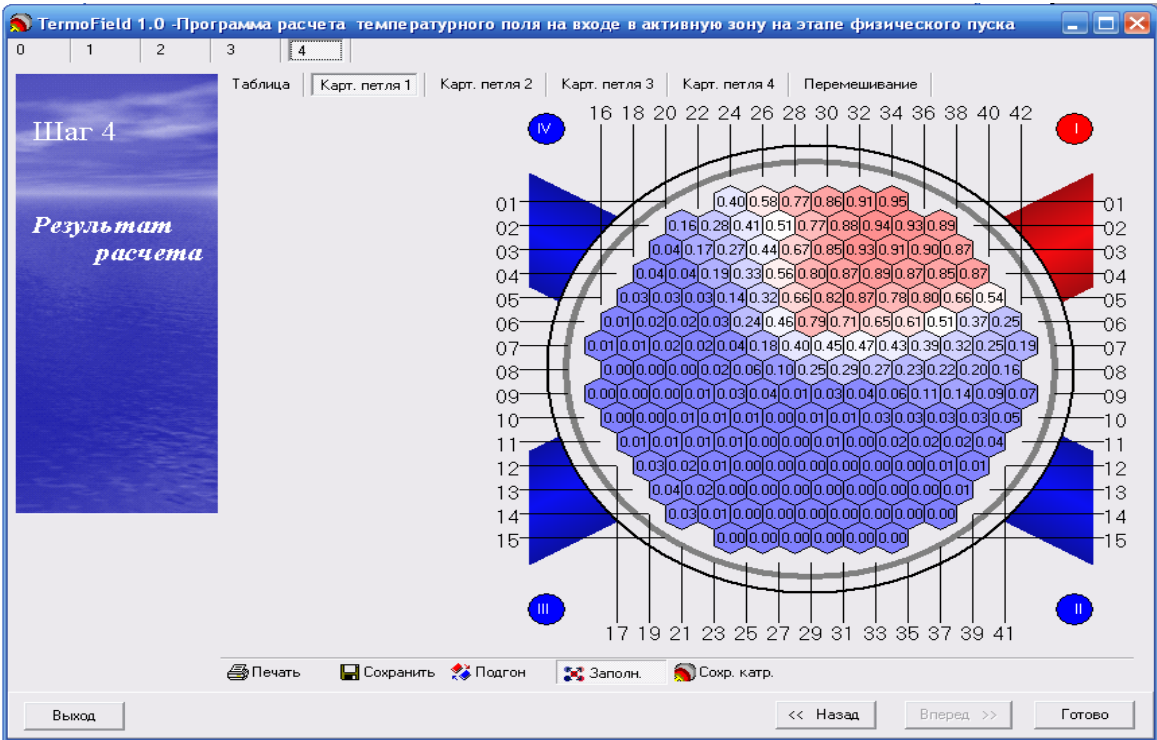


Рис.5. Вид окна с результатами расчета в графическом представлении программы "Термополе"

Как было указано, по информации полученной в ходе испытаний, помимо основной цели можно провести оценки межпетлевого перемешивания петлевых потоков в корпусе реактора. Поэтому при работе программы "Термополе" пользователь может дополнительно выполнить расчет и коэффициентов перемешивания межпетлевых потоков, пользуясь представляемыми для этого необходимыми сервисными возможностями (см. рис.6).

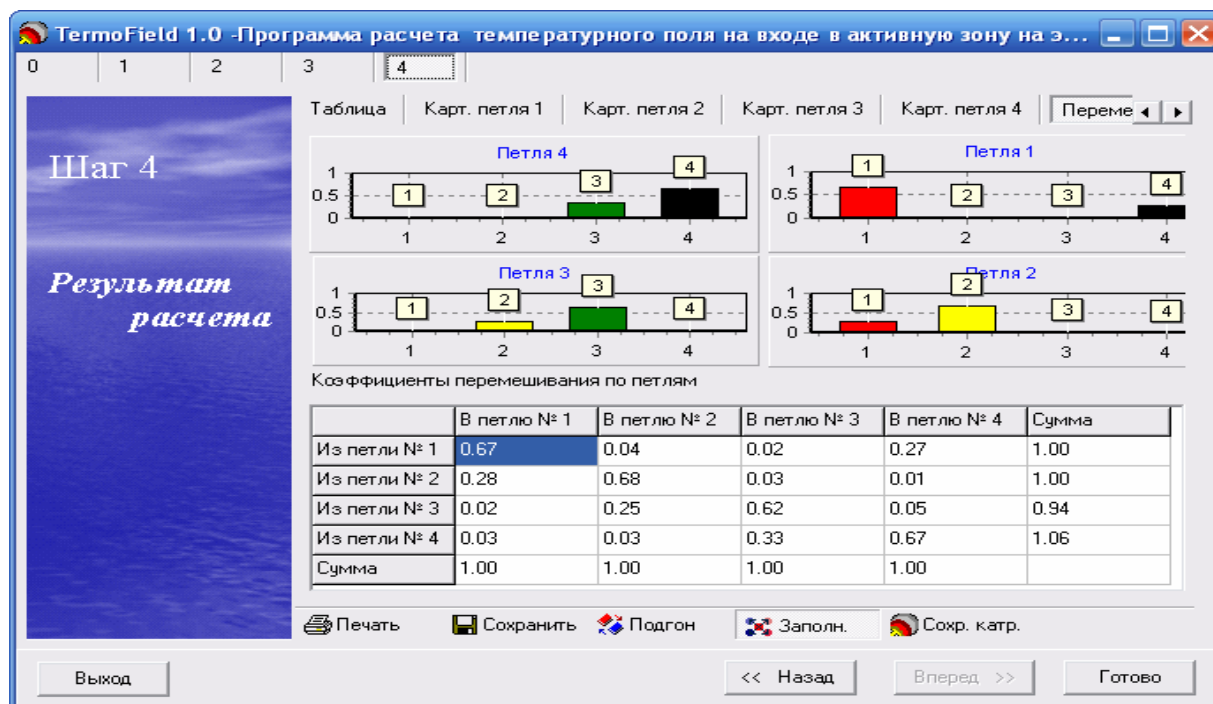


Рис.6. Вид окна с результатами расчета коэффициентов межпетлевого перемешивания программы "Термополе"

Особенности работы отдельных программ СПО

Особенности работы отдельных программ СПО определяются особенностями видов комплексных испытаний СВРК, которые, в свою очередь, связаны с целями проводимых испытаний. Исходя из целей испытаний, определяются требования к исходной информации и, соответственно, к применяемым алгоритмам обработки информации.

Программа "Термоконтроль на ХГО и ФП". Данная программа автоматизирует обработку результатов испытаний, проводимых с целью оценки достоверности информации каналов контроля температуры теплоносителя 1 контура в режимах работы реакторной установки "без мощности", т.е. когда отсутствует значимый разогрев теплоносителя в активной зоне за счет энергии, выделяющейся при цепной реакции деления. В результате работы модуля определяются аддитивные поправки на показания проверяемых каналов контроля. Необходимость использования автоматизированной обработки определяется:

- большим количеством проверяемых каналов контроля температуры (в зависимости от проекта не менее 150 каналов);
- применением статистической обработки информации, зарегистрированной с минимально возможной частотой регистрации (в настоящее время не более 1 секунды) по каждому проверяемому каналу контроля на длительных интервалах по времени (до 15 минут) при нескольких температурных границах (как правило, не менее трех);
- использованием методов регрессионного анализа для определения обобщающих зависимостей.

Интерфейс программы "Термоконтроль на ХГО и ФП" позволяет пользователю выбрать способ расчета опорной температуры 1 контура, относительно которой и определяются аддитивные поправки. Кроме этого, предоставляется возможность установить границы допустимых значений, чтобы отбраковывать явные недостоверные показания исходя из технологических особенностей режима работы при проведении испытаний (см. рис.7).

Программа "Достоверность общетехнологических параметров". Данная программа автоматизирует обработку результатов испытаний, проводимых с целью анализа работоспособности и оценки достоверности информации каналов контроля общетехнологических параметров. К этим параметрам относятся контролируемые теплотехнические параметры (давления, перепады давления, уровни, расходы и т.п.) и ряд других контролируемых параметров (например, концентрация борной кислоты, положение органов регулирования СУЗ и т.д.), исходя из специфики технологического процесса на АЭС, а также параметров, определяющих состояние основного технологического оборудования. Выполняемые оценки проводятся на основании:

- анализа статистических характеристик проверяемых каналов;
- сравнения с режимными значениями и уставками;
- сравнения с однотипной информацией в других штатных системах контроля;
- сравнения с информацией в параллельных каналах контроля.

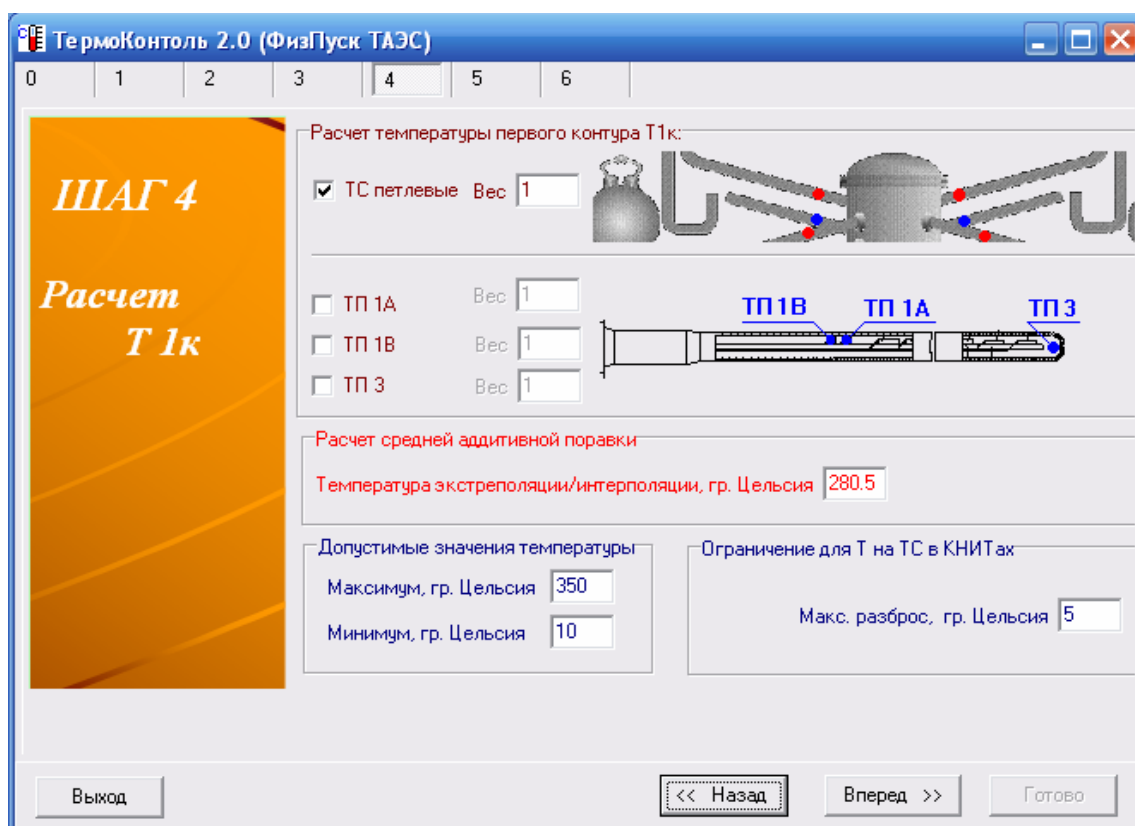


Рис.7. Вид окна для задания режимов расчета опорной температуры программы "Термоконтроль на ХГО и ФП"

Необходимость использования автоматизированной обработки определяется:

- большим количеством проверяемых каналов контроля общетехнологических параметров (в зависимости от проекта не менее 500 каналов);
- применением статистической обработки информации, зарегистрированной с минимально возможной частотой регистрации (в настоящее время не более 1 секунды) по каждому проверяемому каналу контроля на длительных интервалах по времени (до 30 минут);
- использование сравнительного анализа по нескольким независимым способам.

Вид окна, представляющего результаты работы программы "Достоверность общетехнологических параметров" в табличном варианте представлен на рис. 8.

Программы "Термоконтроль на мощности", "Проверка токов ДПЗ", "Проверка энерговыделения" и "Проверка параметров защит ПТК-З". Данные программы аналогично программе "Достоверность общетехнологических параметров" автоматизируют обработку результатов испытаний проводимых с целью анализа работоспособности и оценки достоверности соответствующих каналов контроля. Отличие данных программ состоит в специфике анализируемой информации. Эта специфика применяется при выборе граничных значений для критериев достоверности и при определении групп параллельных каналов (например, использование свойств симметрии топливной загрузки активной зоны и/или мест расположения датчиков внутриреакторного контроля в активной зоне и на петлях 1 контура). Кроме этого, для сравнительного анализа используются результаты модельных расчетов зарегистрированных состояний. Модельные расчеты проводятся с помощью отдельного программного обеспечения, которое применяется для расчетов нейтронно-физических характеристик активной зоны при формировании или сопровождении эксплуатации топливных загрузок (например, "Имитатор реактора" [7]).

Title of parameter	KKS Code	Measurement unit	Mode value	Average value	Values for parallel channels	RMSE	Outliers %	Criteriy	Service/Valid
P 1 ct	2JAA10CP812xQ01	MPa	15.3/15.9	15.706	15.708	0.002	0	Yes	Yes
P 1 ct	2JAA10CP822xQ01	MPa	15.3/15.9	15.677	15.686	0.002	0	Yes	Yes
P 1 ct	2JAA10CP832xQ01	MPa	15.3/15.9	15.702	15.692	0.002	0	Yes	Yes
P 1 ct	2JAA10CP842xQ01	MPa	15.3/15.9	15.660	15.689	0.002	0	Yes	Yes
DP at RCP-1	2JEC10CP812xQ01	MPa	0.58/0.68	0.614	0.613	0.001	0	Yes	Yes
DP at RCP-1	2JEC10CP822xQ01	MPa	0.58/0.68	0.616	0.616	0.001	0	Yes	Yes
DP at RCP-1	2JEC10CP832xQ01	MPa	0.58/0.68	0.615	0.615	0.001	0	Yes	Yes
DP at RCP-1	2JEC10CP842xQ01	MPa	0.58/0.68	0.615	0.614	0.001	0	Yes	Yes
DP at RCP-1	2JEC20CP812xQ01	MPa	0.58/0.68	0.621	0.620	0.001	0	Yes	Yes
DP at RCP-1	2JEC20CP822xQ01	MPa	0.58/0.68	0.617	0.616	0.000	0	Yes	Yes
DP at RCP-1	2JEC20CP832xQ01	MPa	0.58/0.68	0.622	0.622	0.001	0	Yes	Yes
DP at RCP-1	2JEC20CP842xQ01	MPa	0.58/0.68	0.621	0.620	0.001	0	Yes	Yes
DP at RCP-1	2JEC30CP812xQ01	MPa	0.58/0.68	0.613	0.611	0.001	0	Yes	Yes
DP at RCP-1	2JEC30CP822xQ01	MPa	0.58/0.68	0.613	0.610	0.001	0	Yes	Yes
DP at RCP-1	2JEC30CP832xQ01	MPa	0.58/0.68	0.610	0.609	0.001	0	Yes	Yes
DP at RCP-1	2JEC30CP842xQ01	MPa	0.58/0.68	0.610	0.610	0.001	0	Yes	Yes
DP at RCP-1	2JEC40CP812xQ01	MPa	0.58/0.68	0.613	0.611	0.001	0	Yes	Yes
DP at RCP-1	2JEC40CP822xQ01	MPa	0.58/0.68	0.612	0.611	0.000	0	Yes	Yes
DP at RCP-1	2JEC40CP832xQ01	MPa	0.58/0.68	0.611	0.611	0.000	0	Yes	Yes
DP at RCP-1	2JEC40CP842xQ01	MPa	0.58/0.68	0.611	0.611	0.001	0	Yes	Yes
	2BVC00CE822xQ01								
	2BVC00CE832xQ01								
	2BVC00CE842xQ01								
	2BVB00CE812xQ01								
	2BVB00CE822xQ01								
	2BVB00CE832xQ01								

Рис.8. Вид окна с итоговыми результатами работы в табличном варианте программы "Достоверность общетехнологических параметров"

Программа "Проверка расчета мощности РУ". Данная программа автоматизирует обработку результатов испытаний с целью оценки достоверности тепловой мощности реактора, рассчитываемой всеми используемыми методами. Алгоритм функционирования программы построен на основании алгоритмов, используемых при обработке результатов испытаний по исследованию тепловых балансов РУ. Существенной особенностью работы программы "Проверка расчета мощности РУ" является возможность выполнения оценок погрешностей применяемых расчетных способов, что позволяет выдавать обоснованные рекомендации для весовых коэффициентов в расчете средневзвешенной тепловой мощности.

Программа "Проверка правильности отображения координат внутриреакторных датчиков". Эта программа автоматизирует обработку результатов одного из самых трудоемких испытаний в составе комплексных испытаний СВРК. Особенности условий проведения данных испытаний и основные положения, использованные в алгоритмах обработки приведены в работе [Ошибка! Источник ссылки не найден.].

Программа "Динамика". Данная программа служит для автоматизации обработки результатов практически всех испытаний (т.е. используется в качестве вспомогательной программы) и, прежде всего, при анализе информации в быстрых нестационарных процессах, вызванных теми или иными отключениями основного оборудования при специально проводимых динамических испытаниях. Применение программы "Динамика" (см. рис. 9) устраняет необходимость проведения рутинных операций при построении графических зависимостей по большому количеству параметров и позволяет пользователю сосредоточиться на анализе полученных зависимостей благодаря продуманному интерфейсу и заложенным функциональным возможностям, таким как:

- построение графика с помощью лишь одного нажатия клавиши мыши;
- масштабирование графиков путем растягивания мышью;
- всплывающая подсказка о значении параметра в точке;
- возможность переходить от астрономической к относительной оси времени путем нажатия одной кнопки;
- построение до 4-х шкал для аналоговых параметров и до 4-х шкал дискретных параметров;
- использование шаблонов графиков;
- автоматическое масштабирование шкалы и поиск оптимального шага по шкале;
- другие возможности для построения и анализа зависимостей (создание графиков, являющимися функционалами к загруженным параметрам, распознавание параметров по единицам измерения и т.п.).

Виды окон при работе программы "Динамика" приведены на рисунке 9.

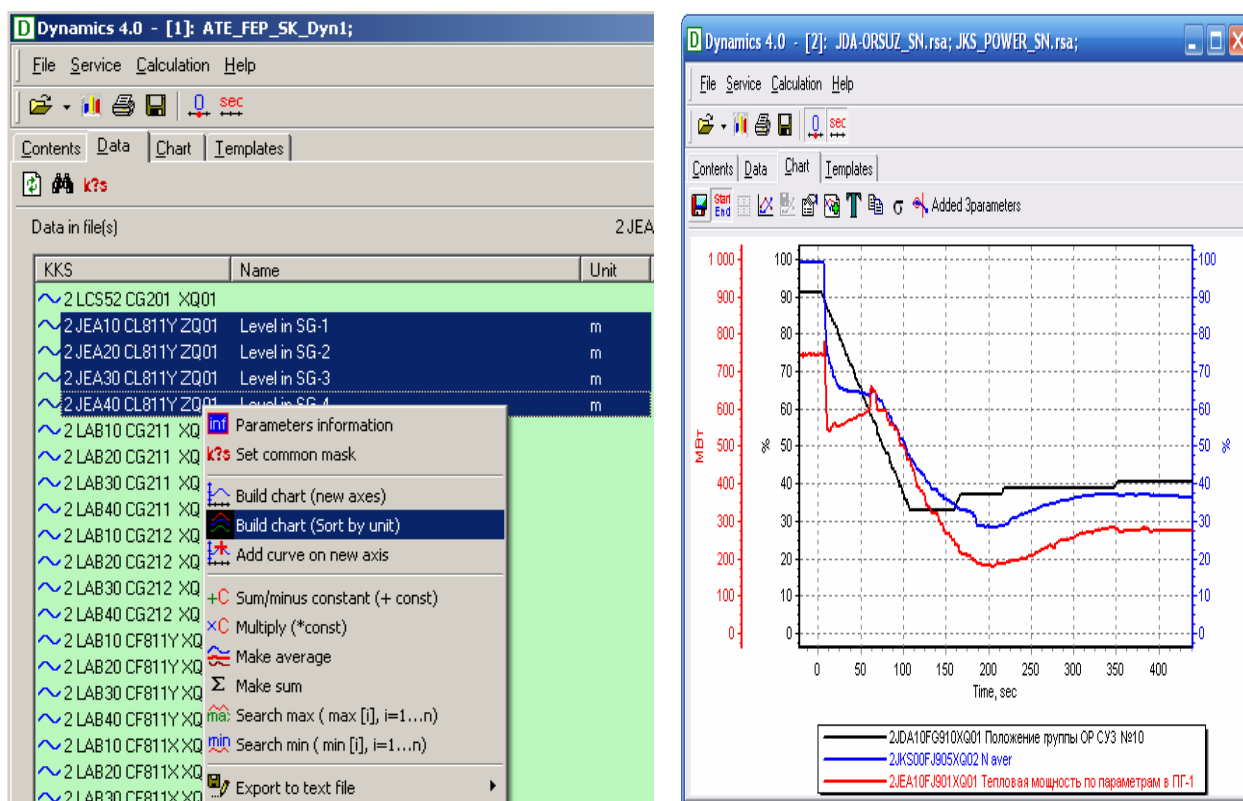


Рис.9. Виды некоторых окон модуля "Динамика"

Результаты использования СПО

Первым этапом использования СПО было практическое опробование отдельных программ СПО в натурных условиях при вводе в эксплуатацию энергоблока №3 Калининской АЭС. На данном этапе ставилось целью накопление опытной информации и подтверждение правильности примененных методик.

Вторым этапом использования СПО было практическое опробование уже всех разработанных модулей при вводе в эксплуатацию энергоблоков №1 и №2 Тяньваньской АЭС. На данном этапе помимо отладки работы новых продуктов была оценена и практическая эффективность от применения СПО.

На основании данных по трем энергоблокам можно сказать, что применение СПО существенно повышает возможности разностороннего анализа информации, получаемой при комплексных испытаниях СВРК. Данное обстоятельство позволило улучшить качество и представительность полученных оценок и выданных рекомендаций и предложений [3-6, 8] по оптимизации функционирования СВРК и режимов работы РУ на этапах ввода в эксплуатацию и при промышленной эксплуатации. Важным следствием использования СПО явилось и существенное снижение трудозатрат (от нескольких дней до нескольких часов) на обработку результатов по всем видам выполняемых комплексных испытаний СВРК.

Заключение

Успешное опробование и верификация программ СПО в натурных условиях дало основание для представления программ СПО на государственную регистрацию [9]. Таким образом, при проведении аналогичных работ на всех последующих вводимых в эксплуатацию энергоблоках АЭС с ВВЭР возможно обоснованное дальнейшее распространение и внедрение СПО или его отдельных составных частей. В перспективе, с накоплением опыта использования СПО на разных объектах и разными пользователями возможно дальнейшее повышение уровня автоматизации. Для этого необходимо включение функций программ СПО в состав сервисных функций штатного прикладного программного обеспечения новых или модернизируемых СВРК.

Список литературы

- 1 В.А Брагин, И.В. Батенин, М.Н. Голованов, А.С. Кужиль и др. Системы внутриреакторного контроля АЭС с ВВЭР. М., Энергоатомиздат, 1987, с. 128
- 2 Общие положения обеспечения безопасности атомных станций. ОПБ-88/97. НП-001-97 (ПНАЭ Г-01-011-97). Госатомнадзор России, 1997, с. 24
- 3 Ю.В Саунин, А.Н. Добротворский, А.В. Семенихин. Комплексные испытания модернизированной системы внутриреакторного контроля при вводе в эксплуатацию блока №3 Калининской АЭС. Материалы 5-й международной научно-технической конференции "Обеспечение безопасности на АЭС с ВВЭР". Подольск, ФГУП ОКБ "Гидропресс", 29 мая – 1 июня 2007 г.
- 4 Ю.В Саунин, А.Н. Добротворский, А.В. Семенихин. Некоторые оценки работы защитных функций СВРК при вводе в эксплуатацию энергоблоков № 1 и №2 Тяньваньской АЭС. Материалы 6-й международной научно-технической конференции "Безопасность, эффективность и экономика атомной энергетики". Москва, ФГУП концерн "Росэнергоатом", 21 – 23 мая 2008 г.
- 5 Ю.В Саунин, А.Н. Добротворский, А.В. Семенихин. Оптимизация испытаний по проверке соответствия координат датчиков термоконтроля и энерговыделения в активной зоне координатам этих датчиков в ПТК СВРК. Материалы 6-й международной научно-технической конференции "Безопасность, эффективность и экономика атомной энергетики". Москва, ФГУП концерн "Росэнергоатом", 21 – 23 мая 2008 г.

- 6 Ю.В. Саунин, А.Н. Добротворский, А.В. Семенихин. Исследование температуры теплоносителя на входе в активную зону на примере реактора Тяньваньской АЭС (Китай). Атомная энергия, т.103, вып.2, август 2007, с.93-98
- 7 П.Е. Филимонов, В.В. Мамичев, С.П. Аверьянова. Программа "Имитатор реактора" для моделирования маневренных режимов работы ВВЭР-1000. Атомная энергия, т.84, вып.6, июнь 1998 с. 560-563.
- 8 Ю.В. Саунин, А.Н. Добротворский, А.В. Семенихин. Опыт контроля температуры теплоносителя первого контура на входе в ТВС при вводе в эксплуатацию блока №1 Тяньваньской АЭС. Труды 6-го собрания международного симпозиума "Измерения, важные для безопасности реакторов". Москва, ОАО "Инкор", 20 – 22 ноября 2007 г., № ISBN 978-5 91450-013-6, с.260.
- 9 А.В. Семенихин, А.Н. Добротворский, Ю.В. Саунин. Термополе – программа расчета температурного поля на входе в активную зону реактора типа ВВЭР. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2008613982. Федеральная служба Российской Федерации по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам.