

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное
Образовательное учреждение высшего образования
«СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГИИ И ПРОМЫШЛЕННОСТИ

**УСТРОЙСТВО РАЗГРУЗКИ
И ОГРАНИЧЕНИЯ МОЩНОСТИ.
УСКОРЕННАЯ РАЗГРУЗКА БЛОКА.
ПРАКТИКУМ – ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА ПО РОМ И УРБ**

Учебное пособие

В двух частях

Часть 2

Севастополь
СевГУ
2022

УДК 621.039-78 (075.8)

ББК 31.47-5-05я73

У82

Р е ц е н з е н т :

А. А. Скидан – канд. техн. наук, заведующий кафедрой
систем контроля и управления АС

Авторы:

К.П. Аникевич, А.А. Скидан, Т.Г. Зацаринная, А.Н. Фролова

У82 Устройство разгрузки и ограничения мощности. Ускоренная разгрузка блока. Практикум - лабораторная работа по РОМ и УРБ: учебное пособие. В 2-х частях. Часть 2 / К.П. Аникевич, А.А. Скидан, Т.Г. Зацаринная, А.Н. Фролова ; Севастопольский государственный университет, Институт ядерной энергии и промышленности. – Севастополь: СевГУ, 2022. – 100 с.: ил. – Текст : электронный.

Рассмотрены вопросы исследования устройства РОМ и УПЗ энергоблока АЭС.

Практическая часть предусматривает изучение назначения РОМ, УПЗ и особенностей работы систем и технологических причин срабатывания РОМ и УПЗ. Изучение влияния работы алгоритма АКЭ в составе АКНП на поведение основных параметров ЯЭУ при срабатывании РОМ и УПЗ по той или иной причине.

Предназначено для студентов очной и заочной формы обучения Института ядерной энергии и промышленности СевГУ.

УДК 621.039-78(075.8)

ББК 31.47-5-05я73

Рассмотрено и рекомендовано на заседании ученого совета Института ядерной энергии и промышленности в качестве учебного пособия для студентов, обучающихся по специальности 14.05.02 «Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг», протокол № 2 от 26 октября 2021 г.

© Аникевич К.П., Скидан А.А.,
Зацаринная Т.Г., Фролова А.Н., 2022
© ФГАОУ ВО «Севастопольский
государственный университет», 2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	4
Список условных сокращений	5
Глава 1. Основные определения и сокращения	6
Глава 2. Теоретические сведения	6
Глава 3. Задание на выполнение лабораторной работы	11
Глава 4. Исходные данные для выполнения лабораторной работы	13
Глава 5. Содержание работ по выполнению лабораторного задания	17
Глава 6. Инструкция по выполнению заданий лабораторного занятия	20
Глава 7. Обработка результатов лабораторной работы	80
Глава 8. Контрольные вопросы к работе	99
Литература	100

ВВЕДЕНИЕ

Учебное пособие написано в соответствии с программой курсов «Технические средства автоматизации», «Эксплуатация КСУ», «Автоматизированные системы управления АЭС».

Пособие актуально, т.к. в нем в краткой форме рассмотрены устройство разгрузки и ограничения мощности реактора и ускоренная разгрузка блока. В таком виде материал еще не издавался. Пособие состоит из двух частей: теоретическая и практическая.

В главах первой части рассматривается: устройство разгрузки и ограничения мощности реактора, назначение и состав РОМ и связь с другими системами АСУ ТП; модернизированное устройство РОМ; ускоренная разгрузка блока, а также рассмотрены назначение и состав УРБ, режимы работы ускоренной разгрузки блока и модернизированная УРБ.

Во второй части представлен практикум – лабораторная работа по РОМ и УРБ.

В пособии уделено внимание обеспечению ядерной безопасности реактора.

При написании пособия использовались материалы, указанные в перечне литературы.

Предназначено для студентов очной и заочной формы обучения Института ядерной энергии и промышленности СевГУ.

Учебное пособие актуально и может использоваться студентами при курсовом и дипломном проектировании, а также проведении лабораторных работ.

СПИСОК УСЛОВНЫХ СОКРАЩЕНИЙ

АКНП – аппаратура контроля нейтронного потока
АКЭ – аппаратура контроля энерговыделения
ПЗ – предупредительная защита
ЯЭУ – ядерная энергетическая установка
СУЗ – система управления и защиты
ВВЭР – водоводяной энергетический реактор
СГИУ – система группового и индивидуального управления
АРМ – автоматический регулятор мощности
ОР СУЗ – органы регулирования СУЗ
ГЦН – главный циркуляционный насос
ТПН – турбопитательный насос
ТГ – турбогенератор
ГПК – главный паровой коллектор
КН – концевой выключатель низа
РУ – реакторная установка
ТВЭЛ – тепловыделяющий элемент
ГЦК – главный циркуляционный конкурс
СК ТГ – стопорный клапан турбогенератора
СРК – стопорно-регулирующий клапан
БРУ-А – быстродействующая редуцирующая установка
со сбросом пара в атмосферу
СВРК – система внутрореакторного контроля

Лабораторная работа по РОМ и УРБ

Целью лабораторной работы является:

- изучение назначения и особенностей работы системы предупредительной защиты ПЗ и изучение технологических причин срабатывания ПЗ. Изучение влияния работы алгоритма АКЭ в составе АКНП на поведение основных параметров ЯЭУ при срабатывании ПЗ по той или иной причине;
- приобретение знаний и первичных навыков для обеспечения требований по не превышению лимитирующих значений локальной мощности по объему активной зоны после завершения переходного процесса, вызванного действиями системы ПЗ, и стабилизации параметров ЯЭУ.

Глава 1. ОСНОВНЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

ПЗ-2 – сигнал системы предупредительной защиты на запрет извлечения ОР СУЗ из зоны.

ПЗ-1 – сигнал системы предупредительной защиты на последовательное погружение групп ОР СУЗ с нормальной скоростью (2 см/с) до момента снятия причины, вызвавшей данный сигнал.

Пусковая топливная загрузка – 1-я топливная загрузка при первом пуске энергоблока АЭС со средним обогащением топлива по урану-235 ~2,2 % без наличия выгоревшего топлива в зоне на начало работы топливной загрузки.

Стационарный режим выгорания топлива в активной зоне – режим с регулярным повторением всех нейтронно-физических характеристик зоны в течение кампании реактора после каждой перегрузки топлива.

Базовое обогащение топлива подпитки – неизменное обогащение топлива, загружаемого в активную зону после выхода топливных загрузок в стационарный режим выгорания.

Стационарная топливная загрузка – топливная загрузка на стационарном режиме перегрузок топлива при использовании только базовых обогащений топлива подпитки со средним обогащением топлива по урану-235 ~от 4,2 % до 4,7 % с присутствием в зоне в разной степени выгоревшего топлива на начало работы топливной загрузки. Нейтронно-физические характеристики стационарной и пусковой топливных загрузок существенно отличаются друг от друга. Это определяет заметно разный характер протекания переходных процессов в результате работы одних и тех же алгоритмов управления.

Глава 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Назначение и состав СУЗ реактора ВВЭР-1000. Система управления и защиты реактора предназначена для управления реактором при его пуске, работе на мощности, плановой или аварийной остановке реактора и относится к системе, важной для безопасности. СУЗ является многофункциональной подсистемой АСУТП энергоблока. К управляющей системе безопасности относятся следующие системы и устройства, входящие в СУЗ:

- датчики технологических параметров;
- аппаратура обработки сигналов от датчиков технологических параметров;

- аппаратура контроля нейтронного потока;
- система аварийной защиты.

Кроме того, в состав СУЗ входят:

- система предупредительной защиты (ПЗ-1, ПЗ-2, УПЗ), включая РОМ;
- система контроля положения органов регулирования;
- система группового и индивидуального управления (СГИУ);
- система силового управления ОР СУЗ;
- устройство РОМ;
- ускоренная разгрузка блока (УРБ, УПЗ)
- автоматический регулятор мощности АРМ;
- система электропитания СУЗ.

Оборудование СУЗ выполняет следующие функции:

- аварийную защиту реактора путем сброса всех органов регулирования (ОР);
- предупредительную защиту путем последовательного движения ОР вниз с рабочей скоростью или запретом движения всех ОР вверх;
- ускоренную предупредительную защиту (УРБ-УПЗ) путем сброса одной группы;
- групповое или индивидуальное управление ОР реактора;
- автоматический переход по жесткому алгоритму с одной группы ОР на следующую, как при ручном, так и автоматическом управлении;
- автоматическое шунтирование некоторых сигналов АЗ;
- сигнализацию первопричины срабатывания аварийной и предупредительной защиты;
- автоматическое регулирование мощности реактора;
- индикацию положения ОР на БЦУ, а также выдачу сигналов о положении каждого ОР в СВРК;
- сигнализацию неисправности.

Главными компонентами СУЗ для обеспечения безопасности ЯЭУ в реакторе ВВЭР является системы ПЗ и АЗ. Исполнительным механизмом обоих этих систем являются группы ОР СУЗ, которые вводятся в зону по сигналу ПЗ-1 с нормальной скоростью до устранения причины, вызвавшей данный сигнал, или падают со скоростью свободного падения при появлении сигнала АЗ. В каждой группе ОР СУЗ располагаются от 3-х до 9-ти ОР. Для действующих блоков ВВЭР-1000 всего групп 10, для проекта АЭС-2006 – 12. Группа № 10 и группа № 9 являются основными управляющими группами. Группа № 10 предназначена для работы с АРМ. Группа № 9, как правило, используется для подавления ксеноновых колебаний локальной мощности в активной зоне. Группа № 9 состоит из семи ОР СУЗ. Один стержень СУЗ располагается по центру активной зоны. Он может двигаться самостоятельно с произвольной скоростью

независимо от шести остальных стержней. Каждый ОР СУЗ включает в себя 18 поглощающих стержней, которые вводятся в активную зону по технологическим причинам, описанным ниже.

Приводы органов регулирования и органы регулирования относятся к защитным системам безопасности. Система автоматического регулирования мощности реактора (АРМ) является системой нормальной эксплуатации, важной для безопасности.

Для обеспечения надёжной эксплуатации необходимы контроль предельных параметров эксплуатации и управление действиями защитного оборудования при их превышении.

На реакторе установлен 61 привод ОР СУЗ для ВВЭР-1000 и 121 привод для ВВЭР-1200. Каждый ОР перемещается шаговым электромагнитным приводом. Органы СУЗ выполняют функции, как регулирования мощности, так и обеспечения быстрого гашения цепной реакции при сигналах АЗ. В этом случае с электромагнитов приводов снимается силовое питание и ОР падают под действием силы тяжести.

Для реактора ВВЭР предусмотрена специальная защита, которая обычно не встречается в зарубежных аналогах – это ускоренная разгрузка блока (УРБ-УПЗ).

Срабатывание системы УРБ-УПЗ имеет место при работе блока на уровне мощности выше 75% $N_{ном}$. по следующим факторам:

- отключение 2-х ГЦН из четырех работающих с задержкой 1,4 секунды, реактор разгружается до 50% $N_{ном}$. при отключении противоположных ГЦН, и до 40% $N_{ном}$. при отключении смежных ГЦН;
- отключение одного из 2-х работающих ТПН, реактор разгружается до уровня 50% N мощности;
- сброс нагрузки ТГ до холостого хода (отключение выключателя генератора), реактор разгружается до уровня 40% $N_{ном}$. мощности;
- закрытие 2-х из 4-х СК ТГ, реактор разгружается до уровня 40% $N_{ном}$.

До восстановления регламентного положения групп ОР СУЗ, используемой для УРБ, указанные уровни мощности не должны превышаться. Если в результате переходного процесса одна или более групп ОР СУЗ оказывается на КН, необходимо в течение 1-го часа путем перекompенсации извлечь не менее 1-й группы ОР СУЗ на КВ, оставив не более одной группы на КН и одну группу в промежуточном положении, либо разгрузить РУ до горячего состояния вводом борной кислоты.

Регламентное положение ОР СУЗ должно быть восстановлено в течение 3-х (трех) часов. В случае не восстановления регламентного положения реактор разгружается до горячего состояния. Количество разгрузок - не более 150 за весь срок службы РУ.

Система предупредительных защит (ПЗ-1, ПЗ-2) предназначена для формирования аварийных команд на запрет повышения мощности реактора или снижения мощности до безопасных пределов. ПЗ предусматривает следующие команды для управления ОР:

- поочередное движение групп ОР вниз с рабочей скоростью до момента снятия аварийного сигнала, при исчезновении сигнала движения групп вниз прекращается (ПЗ-1);

- запрет движения ОР вверх, движение вниз разрешается, при исчезновении аварийного сигнала запрет снимается (ПЗ-2).

Основную функцию ПЗ реактора несет устройство разгрузки и ограничения мощности (РОМ). Устройство РОМ рассмотрено в главе 1 и 2.

В настоящее время на действующих энергоблоках с реактором ВВЭР-1000 в связи с переходом на 104 % от номинальной мощности изменены уставки по мощности при разгрузке энергоблока. Так, например при трех работающих ГЦН, уставка составляет не 69 %, а 64 %. При этом в данном режиме задействован алгоритм УРБ или как в настоящее время он называется алгоритм УПЗ.

Сигналы ПЗ-1 и их обоснование приведено в таблице 1.

Таблица 1. Перечень сигналов защиты реактора ПЗ-1 и их обоснование

Наименование сигнала	Обоснование необходимости сигнала
Период изменения нейтронного потока в диапазонах измерения: - источника, менее 20 с - промежуточном, менее 20 с - энергетическом, менее 20 с	Снижение мощности реактора при непредусмотренном уменьшении периода изменения потока тепловых нейтронов в диапазоне источника, промежуточном и энергетическом диапазонах
Превышение уровня плотности нейтронного потока в энергетическом диапазоне измерения, уставка переменная, устанавливается в отношении 104:107 от N заданной мощности по таблице 2	Снижение мощности реактора при непредусмотренном увеличении мощности реактора при работе на частичных уровнях мощности, неполном составе работающего оборудования
Уровень плотности нейтронного потока в промежуточном диапазоне измерения, уставка переменная, устанавливается в отношении 10:15 от уставки по п.6 табл.2	Снижение мощности реактора при пуске блока
Тепловая мощность реактора для данного числа работающих ГЦН, более допустимой	Снижение мощности реактора до разрешенного уровня мощности с помощью устройства РОМ
Давление над активной зоной более 16,8 МПа (172 кгс/см ²)	Снижение мощности реактора при непредусмотренном увеличении объема и температуры теплоносителя первого контура
Температура теплоносителя в любой из 4-х горячих ниток петель, более $t_{ном} + 3^{\circ}\text{C}$	Снижение мощности реактора при непредусмотренном увеличении температуры теплоносителя в петле
Давление в главном паровом коллекторе, более 6,85 МПа (70 кгс/см ²)	Снижение мощности реактора при непредусмотренном сокращении расхода пара от ПГ
Обесточивание: - 1-го ГЦН из 4-х работающих - 1-го ГЦН из 3-х работающих	Снижение уровня мощности реактора при снижении расхода теплоносителя через активную зону
Нажатие кнопки ПЗ-1 на БЦУ	Снижение мощности реактора оператором с БЦУ
Отключение одного из двух работающих ТПН во 2-м контуре	Снижение мощности реактора до уровня менее 75%N _{ном} с помощью РОМ

Ускоренная разгрузка блока (УРБ-УПЗ) осуществляется сбросом одной группы ОР с запретом подъема органов регулирования. Перечень сигналов УРБ-УПЗ приведен в таблице 3.

Таблица 2

Состояние активной зоны	Доля запаздывающих нейтронов/вводимая реактивность, %	Время жизни мгновенных нейтронов, $c \cdot 10^5$	Значение коэффициента реактивности по мощности, $\% \cdot 10^3 / \text{МВт}$	Значение пиковой нейтронной мощности/тепловой мощности, %	Максимальное значение тепловой энергии в ТВЭЛ, Дж/кг/ предельное значение
ВОС, пусковая загрузка	0.727 / 1.012	2.5	-0.474	5498/215	418 / 920
ЕОС, пусковая загрузка	0.600 / 1.012	2.2	-0.696	9106/300	261/ 831
ВОС, стационарная загрузка	0.672 / 1.012	1.28	-0.585	10475/341	321 / 831
ЕОС, стационарная загрузка	0.622 / 1.012	1.10	-0.819	14092/430	254 / 831

Таблица 3. Перечень сигналов для срабатывания УПЗ

Наименование сигнала	Обоснование необходимости сигнала
УПЗ (УРБ) – движение одной из групп регулирования самоходом вниз	Отключение 2 из 4 ГЦН при мощности больше 75 % от номинальной. Отключение энергоблока от электрической системы. Отключение выключателя генератора. Отключение одного питательного насоса. Закрытие стопорного клапана турбины.

Предупредительная защита второго рода (ПЗ-2) запрещает извлекать органы регулирования. Движение вниз разрешается. Перечень сигналов ПЗ-2 и их обоснование приведено в таблице 4.

Таблица 4. Перечень сигналов предупредительной защиты – ПЗ-2 и их обоснование

Наименование сигнала	Обоснование необходимости сигнала
Уровень плотности нейтронного потока в диапазоне источника. Уставка переменная, устанавливается в отношении 10:15 от уставки по п. 7 табл. 5	Ограничение уровня мощности реактора при пуске блока
Давление над активной зоной более 16.2 МПа (165 кгс/см^2)	Ограничение подъема мощности реактора при непредусмотренном увеличении объема и температуры теплоносителя I контура
Падение одного органа регулирования	Ограничение подъема мощности реактора, исходя из условий непревышения допустимой величины неравномерности энерговыделений активной зоны

Таблица 5. Значения эффектов реактивности с критическим бором в воде при останове реактора

Состояние зоны Параметр	ВОС, пуско- вая загрузка.	ЕОС, пус- ковая за- грузка	ВОС, стацио- нарная за- грузка	ЕОС, стацио- нарная за- грузка
$P_{crit}, \%$ / Крит. бор, г/кг	0 / 4.34	0/1.12	0 / 7.55	0 / 0.62
$\Delta P_{Sm}, \%$	+0.58	0	+0.18	0
$\Delta P_{Xe}, \%$	+2.88	+2.89	+2.57	+2.74
$\Delta P_N, \%$	+1.38	+1.99	+1.70	+2.63
$\Delta P_T, \%$	+1.52	+3.17	+1.24	+5.09
$P_{tot0}, \%$	+6.36	+8.05	+5.69	+10.45
$\Delta P_{bor}, \%$	+11.03	+2.17	+12.47	+1.13
$P_{tot0}^0, \%$	+17.40	+10.91	+18.17	+11.58

Глава 3. ЗАДАНИЕ НА ВЫПОЛНЕНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

Лабораторная работа по данной теме состоит из выполнения нескольких заданий:

1-е задание – изучение особенностей работы системы ПЗ при нарушении нормальной эксплуатации вследствие отключения турбогенератора (ТГ) для начала кампании пусковой топливной загрузки и с процессами, происходящими при этом. Построение временных зависимостей основных параметров ЯЭУ, включая такие параметры, как давление 1-го и 2-го контуров, температуры горячих и холодных ниток ГЦК, расхода теплоносителя через реактор и зону, нейтронной и тепловой мощности реактора, реактивности активной зоны, удельных тепловых нагрузок на топливо, как при работе алгоритма АКЭ в составе АКНП, так и без него, проведение сопоставления временных зависимостей основных параметров ЯЭУ в этих двух случаях. В данном задании необходимо обеспечить выполнение ограничений по локальной мощности в активной зоне, а именно: максимальное (по всему объему активной зоны) отклонение линейной тепловой нагрузки на ТВЭЛ $Q_l(x,y,z)$ от установленных предельных значений $Q_{lim}(x,y,z)$ должно быть отрицательным. Достигается это действиями по боромассобмену (система ТК) и(или) переключением АРМ с 10-й группы на номер группы ОР СУЗ, предназначенной для УРБ.

Изучение особенностей работы системы ПЗ при нарушении нормальной эксплуатации вследствие отключения турбогенератора (ТГ) для конца кампании стационарной топливной загрузки и с процессами, происходящими при этом.

Построение временных зависимостей основных параметров ЯЭУ, включая такие параметры, как давление 1-го и 2-го контуров, температуры горячих и

холодных ниток ГЦК, расхода теплоносителя через реактор и зону, нейтронной и тепловой мощности реактора, реактивности активной зоны, удельных тепловых нагрузок на топливо, как при работе алгоритма АКЭ в составе АКНП, так и без него, проведение сопоставления временных зависимостей основных параметров ЯЭУ в этих двух случаях.

В данном задании необходимо обеспечить выполнение ограничений по локальной мощности в активной зоне, а именно: максимальное (по всему объему активной зоны) отклонение линейной тепловой нагрузки на ТВЭЛ: $Q_l(x,y,z)$, от установленных предельных значений $Q_{lim}(x,y,z)$ должно быть отрицательным. Достигается это действиями по боромассобмену (система ТК) и(или) переключением АРМ с 10-й группы на номер группы ОР СУЗ, предназначенной для УРБ.

В задании рассматриваются два состояния активной зоны, для которых наблюдается максимальная разница между температурными эффектами реактивности, что заметно сказывается на работе РОМ в составе ПЗ-1;

2-е задание – изучение особенностей работы системы ПЗ при нарушении нормальной эксплуатации вследствие отключения двух смежных ГЦН в 1-м контуре для начала кампании пусковой топливной загрузки и с процессами, происходящими при этом.

Построение временных зависимостей основных параметров ЯЭУ, включая такие параметры, как давление 1-го и 2-го контуров, температуры горячих и холодных ниток ГЦК, расхода теплоносителя через реактор и зону, нейтронной и тепловой мощности реактора, реактивности активной зоны, удельных тепловых нагрузок на топливо, как при работе алгоритма АКЭ в составе АКНП, так и без него, проведение сопоставления временных зависимостей основных параметров ЯЭУ в этих двух случаях.

В данном задании необходимо обеспечить выполнение ограничений по локальной мощности в активной зоне, а именно: максимальное (по всему объему активной зоны) отклонение линейной тепловой нагрузки на ТВЭЛ $Q_l(x,y,z)$ от установленных предельных значений $Q_{lim}(x,y,z)$ должно быть отрицательным. Достигается это действиями по боромассобмену (система ТК) и(или) переключением АРМ с 10-ой группы на номер группы ОР СУЗ, предназначенной для УРБ.

Изучение особенностей работы системы ПЗ при нарушении нормальной эксплуатации вследствие отключения двух смежных ГЦН в 1-м контуре для конца кампании стационарной топливной загрузки и с процессами, происходящими при этом.

Построение временных зависимостей основных параметров ЯЭУ, включая такие параметры, как давление 1-го и 2-го контуров, температуры горячих и холодных ниток ГЦК, расхода теплоносителя через реактор и зону, нейтронной и тепловой мощности реактора, реактивности активной зоны, удельных тепловых нагрузок на топливо, как при работе алгоритма АКЭ в составе АКНП, так и без него, проведение сопоставления временных зависимостей основных параметров ЯЭУ в этих двух случаях.

В данном задании необходимо обеспечить выполнение ограничений по локальной мощности в активной зоне, а именно: максимальное (по всему объему активной зоны) отклонение линейной тепловой нагрузки на ТВЭЛ $Q_l(x,y,z)$ от установленных предельных значений $Q_{lim}(x,y,z)$ должно быть отрицательным. Достигается это действиями по боромассообмену (система ТК) и(или) переключением АРМ с 10 группы на номер группы ОР СУЗ, предназначенной для УРБ.

Задание выполняется с двумя состояниями активной зоны для начала работы пусковой топливной загрузки и концом стационарной топливной загрузки. Для этих двух состояний наблюдается максимальная разница между величинами температурного эффекта реактивности и остаточного энерговыделения в зоне, и проводится сопоставление временных зависимостей основных параметрах ЯЭУ для данных состояний и выявление причин в их различии.

Вариативность проведения занятия состоит в том, что все задания выполняются двумя группами: одна группа обучающихся - для 320 проекта ЯЭУ; вторая группа - для 338 проекта. Проекты отличаются разным расположением в активной зоне ОР СУЗ в рабочей управляющей группе, предназначенной для УРБ (УПЗ).

Каждый из вариантов предполагает выполнение работы для двух состояний модели ЯЭУ:

- для пусковой топливной загрузки на начало кампании на номинальной мощности реактора;
- для стационарной топливной загрузки на конец кампании на номинальной мощности реактора.

При выполнении каждого задания и для каждого состояния модели работа выполняется при работающем алгоритме АКЭ и при неработающем алгоритме.

Цель моделирования процессов при указанных выше нарушениях нормальной эксплуатации при работающем алгоритме АКЭ и без этого алгоритма показать разницу в работе систем управления и в значениях тепловой мощности активной зоны, на которую выходит реакторная установка по стабилизации параметров ЯЭУ и объяснить причину этой разницы.

Глава 4. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

Исходными данными для проведения лабораторного занятия по указанной теме являются учебные задания, включающие в себя необходимые сценарии, и набор исходных состояний модели ЯЭУ с ВВЭР-1000. Задания и состояния располагаются в соответствующих каталогах. Местоположения заданий и моделей указаны ниже.

Для выполнения работы необходимо выбрать модель ЯЭУ с ВВЭР-1000. Далее нужно выбрать соответствующий каталог с именем лабораторного цикла (рис. 1).

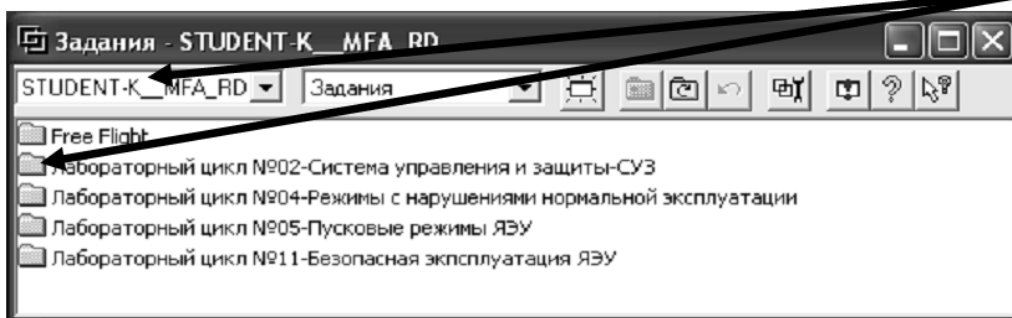


Рис. 1. Каталог с именем лабораторного цикла

Далее нужно войти в данный каталог и выбрать каталог с именем указанной лабораторной работы (рис. 2).



Рис. 2. Каталог с именем заданной лабораторной работы

В указанном каталоге размещаются учебные задания для данного лабораторного занятия. Для данной работы № 2.1 имеется 4 задания по указанной теме: два для одной группы студентов и два других для другой группы студентов (рис. 3).

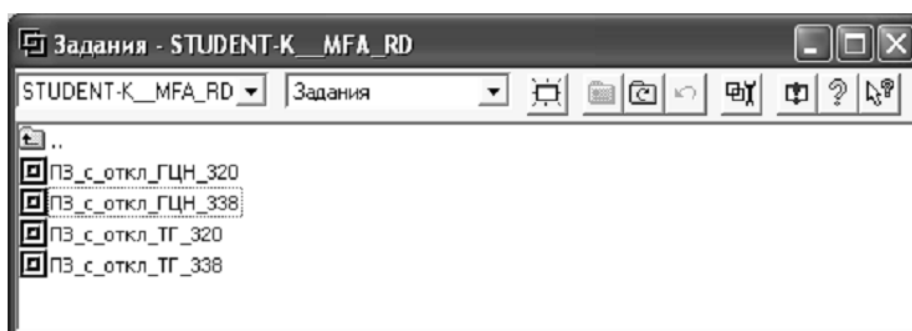


Рис. 3. Задания по теме лабораторной работы

Запуск начинается с выполнения заданий для моделирования режима с отключением турбогенератора (рис. 4).

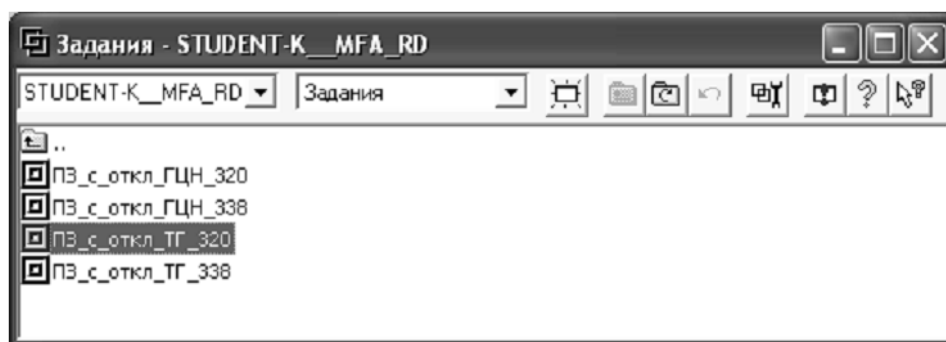


Рис. 4. Каталог с заданием для моделирования режима с отключением турбогенератора для 320 проекта

Для проведения лабораторной работы по данной теме студенты разделяются на две группы. Одна группа выполняет работу с заданиями по проекту 338, а другая - по проекту 320. В ходе выполнения каждого из указанных на выше-приведенном фрагменте заданий используются следующие состояния:

- состояние для начала кампании пусковой топливной загрузки с 61 приводом ОР СУЗ для 338 проекта (рис. 5);



Рис. 5

- состояние для стационарной топливной загрузки с 61 приводом ОР СУЗ для 338 проекта (рис. 6);



Рис. 6

- состояние для начала кампании пусковой топливной загрузки с 61 приводом ОР СУЗ для 320 проекта (рис. 7);



Рис. 7

- состояние для конца кампании стационарной топливной загрузки с 61 приводом ОР СУЗ для 320 проекта (рис. 8).

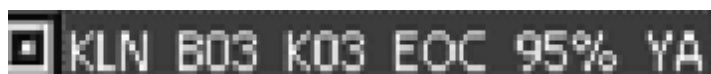


Рис. 8

Первое состояние загружается при запуске задания по умолчанию, второе загружается самим пользователем после выполнения задания для первого задания, не выходя из работы модели.

Данные состояния располагаются по следующим маршрутам:

...\\LAB_NPP_WWER\\VVER1000\\MODELS_TMP\\YMPROJECT2REA\\state\\
KLN_B02_K01_BOC_100%_YA.sta
...\\LAB_NPP_WWER\\VVER1000\\MODELS_TMP\\YMPROJECT2REA\\state\\
KLN_B02_K22_EOC_100%_YA.sta
...\\LAB_NPP_WWER\\VVER1000\\MODELS_TMP\\YMPROJECT2REA\\state\\
KLN_B03_K01_BOC_100%_YA.sta
...\\LAB_NPP_WWER\\VVER1000\\MODELS_TMP\\YMPROJECT2REA\\state\\
KLN_B03_K03_EOC_95%_YA.sta

Данный маршрут универсален и его вложенность создается при установке комплекса в учебной лаборатории. Верхняя часть маршрута зависит от установки каталога LAB_NPP_WWER на компьютерах учебной лаборатории.

Работы по данному этапу проводятся каждой группой студентов для двух указанных для выбранного проекта (320 или 338) состояний.

Выполнение задания для обоих состояний модели выполняются в рамках каждого задания, не выходя из него, с помощью загрузки следующего очередного состояния модели.

Выполнение задания при работающем алгоритме АКЭ и неработающем производится в рамках каждого задания, не выходя из него, с помощью повторной загрузки очередного состояния модели и последующего нажатия (или не нажатия) кнопки «Работа АКЭ» на формате K_SUZSYS и последующего нажатия (или не нажатия) кнопки «Работа АКЭ» на формате K_SUZSYS. Задание с отключением ТГ является 1-м этапом лабораторной работы 2.1. На этом этапе (для каждой из двух групп обучаемых специалистов) предполагается выполнение 4-х вариантов задания:

- 1-й вариант – отключение ТГ для ВОС пусковой загрузки без АКЭ;
- 2-й вариант – отключение ТГ для ВОС пусковой загрузки с АКЭ;
- 3-й вариант – отключение ТГ для ВОС стационарной загрузки без АКЭ;
- 4-й вариант – отключение ТГ для ВОС стационарной загрузки с АКЭ.

Задание с отключением двух смежных ГЦН является 2-м этапом лабораторной работы 2.1. На этом этапе (для каждой из двух групп обучаемых специалистов) предполагается выполнение 4-х вариантов задания:

- 1-й вариант – отключение ГЦН для ВОС пусковой загрузки без АКЭ;
- 2-й вариант – отключение ГЦН для ВОС пусковой загрузки с АКЭ;
- 3-й вариант – отключение ГЦН для ВОС стационарной загрузки без АКЭ;
- 4-й вариант – отключение ГЦН для ВОС стационарной загрузки с АКЭ.

Глава 5. СОДЕРЖАНИЕ РАБОТ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНОГО ЗАДАНИЯ

В ходе лабораторной работы студентам предстоит выполнение следующих заданий (рис. 9).



Рис. 9. Задание: а) для первой группы студентов; б) для второй группы студентов

При выполнении заданий по изучению ПЗ происходит ознакомление с технологическими причинами срабатывания ПЗ, поведением основных параметров ЯЭУ по времени при этом и приобретаются первичные навыки по технологии обеспечения полевых ограничений по локальной мощности в активной зоне. Работа проводится в два этапа.

Первый этап:

Закрытие СК ТГ и отключение турбогенератора – уменьшение теплосъема со стороны 2-го контура. При штатной работе СУЗ должен сработать алгоритм УРБ (УПЗ) – падает одна группа ОР СУЗ (для 338 проекта группа № 1, а для 320 проекта группа №4). Затем по сигналу ПЗ-2 работает РОМ и инициирует движение 10-й группы ОР СУЗ для снижения мощности до 40 % от номинальной мощности. Цель - уменьшить мощность зоны и сбрасывать пар из ПГ в конденсаторы через БРУ-К до обратного подключения турбогенератора и турбины. Турбогенератор отключается автоматически из сценария на 25 секунде.

При отключении турбогенератора и закрытия СРК давление в ГПК (датчик 19МЦ11 на формате K_2KSYS) превышает 67 ати и срабатывает система БРУ-К для сброса пара напрямую в конденсатор. Далее давление поднимается до 73 ати и срабатывают предохранительные клапаны на ПГ БРУ-А и часть пара сбрасывается в машинный зал. Это происходит из-за тепловой инерции между 1-м и 2-м контурами до установки теплового баланса между ними. При этом из-за срабатывания обратных связей в активной зоне нейтронная мощность при отключении РОМ может увеличиться, и это может привести к нескольким повторным срабатываниям ПЗ-1 и РОМ. После завершения работы системы ПЗ и приведения мощности реактора к 43 % (42 %) от номинала (при повторной работе РОМ чуть ниже (33...39 %) от номинала) как в 1-м, так и во 2-м контурах возникает задача по обеспечению относительного распределения локальной мощности по объёму активной зоны в установленных пределах: $KV(x,y,z) < KV_{lim}(x,y,z)$.

Данное неравенство контролируется по переменной модели ЯЭУ: $YZ_DKV_MIN = \max_{x,y,z}(KV(x,y,z) - KV_{lim}(x,y,z))$, где KV – объёмный коэффициент неравномерности энерговыделения по активной зоне. Эта цель в основ-

ном достигается после завершения работы ПЗ начальным снижением интегральной мощности до 33...37 % от номинала, действиями по боромассообмену с полным или частичным извлечением группы ОР СУЗ, выделенной для УРБ (для 338 проекта это группа №1, а для 320 проекта эта группа № 4), возвратом мощности до 40% при извлеченной группе УРБ и дальнейшим поддержанием этой мощности АРМ с помощью 10-й группы и боромассообмена. Указанные действия подробно описаны в инструкции по выполнению первого задания лабораторной работы № 2.1. Все эти действия выполняются для вариантов с работой системы АКЭ и без неё для двух указанных в предыдущем разделе состояний. Всего вариантов для 1-го этапа данной лабораторной работы 4. Все эти варианты выполняются, не выходя из режима работы модели.

Второй этап:

Отключение двух смежных ГЦН в 1-м контуре - уменьшение теплосъема в 1-м контуре. При штатной работе СУЗ должен сработать алгоритм УРБ – падает одна группа ОР СУЗ (для 338 проекта группа № 1, а для 320 проекта группа № 4). Затем по сигналу ПЗ-1 работает РОМ и инициирует движение 10-й группы ОР СУЗ для снижения мощности до 40...41 % от номинальной мощности. Цель уменьшить мощность зоны и не перегреть топливо и обеспечить выполнение полевых ограничений по локальной мощности в активной зоне. Минимальное отклонение относительной линейной тепловой нагрузки в зоне от уставки должно быть отрицательным.

Уставки по зоне и значения относительных линейных тепловых нагрузок в зоне определяются в СВРК и выдаются на специальные форматы на блочном щите. В модели минимальное отклонение выведено на формате K_ROPAR1 под названием: YZ_DKV_MIN. Отключение происходит автоматически из сценария задания.

Наблюдается поведение основных параметров ЯЭУ до полной стабилизации параметров, отключения РОМ и включения АРМ в режим «Н» и достижения теплового баланса между 1-м и 2-м контурами на уровне 40 % от номинала. После завершения работы системы ПЗ и приведения мощности реактора к 40 % от номинала как в 1-м, так и во 2-м контурах возникает задача по обеспечению относительного распределения локальной мощности по объёму активной зоны в установленных пределах: $\min(KV(x,y,z)-KV_{\lim}(x,y,z))$.

Данное неравенство контролируется по переменной модели ЯЭУ: $YZ_DKV_MIN = \min(KV(x,y,z)-KV_{\lim}(x,y,z))$, где KV – объёмный коэффициент неравномерности энерговыделения по активной зоне. Эта цель в основном достигается после завершения работы ПЗ начальным снижением интегральной мощности до 35...37 % от номинала, действиями по боромассообмену с полным или частичным извлечением группы ОР СУЗ, выделенной для УРБ (для 338 проекта это группа № 1, а для 320 проекта эта группа № 4), возвратом мощности до 40 % при извлеченной группе УРБ и дальнейшим поддержанием этой мощности АРМ с помощью 10-й группы и боромассообмена.

Указанные действия подробно описаны в инструкции по выполнению первого задания лабораторной работы. Все эти действия выполняются для вариан-

тов с работой системы АКЭ и без неё для двух указанных в предыдущем разделе состояний. Всего вариантов для 2-го этапа данной лабораторной работы 4. Все эти варианты выполняются, не выходя из режима работы модели.

Порядок выполнения лабораторной работы с моделированием указанных выше нарушений нормальной эксплуатации следующий:

- *1 этап.* Иницируется задание с отключением ТГ, по умолчанию загружается состояние для ВОС пусковой загрузки, и в рамках этого задания выполняется работа для двух вариантов работы АКНП: с АКЭ и без АКЭ для первого состояния и затем то же самое для второго состояния: для ЕОС стационарной топливной загрузки.

- *2 этап.* Иницируется задание с отключением смежных противоположных ГЦН, по умолчанию загружается состояние для ВОС пусковой загрузки и в рамках этого задания выполняется работа для двух вариантов работы АКНП: с АКЭ и без АКЭ для первого состояния и затем то же самое для второго состояния: для ЕОС стационарной топливной загрузки.

В рамках одного задания для проведения моделирования при различных вариантах работы АКНП модель просто перегружается (по умолчанию загружается первое состояние модели без работы АКЭ), включается или не включается работа АКЭ в составе АКНП и иницируется то же нарушение нормальной эксплуатации, затем, то же самое делается для второго состояния активной зоны: ЕОС стационарной топливной загрузки. В протоколе имеются четыре группы результатов моделирования для двух моделируемых режимов работы АКНП и двух состояний, которые сопоставляются между собой и делается вывод достижения поставленной цели или нет (обеспечение полевых ограничений по локальной мощности в активной зоне). Также проводится сравнение результатов моделирования для пусковой и стационарной загрузок.

Как проводится сравнение описано в разделе с описанием результатов выполнения лабораторной работы и их обработки.

Далее производится та же работа с моделированием другого отказа (отключение двух ГЦН). В протоколе также получается четыре группы протоколируемых данных.

Проводится сравнение результатов моделирования процесса для данного отказа при работающем алгоритме АКЭ и без него для двух состояний активной зоны, а также проверяется выполнение полевых ограничений по распределению энерговыделения в зоне. Также проводится сравнение результатов моделирования для пусковой и стационарной загрузок. Как проводится сравнение описано в разделе с описанием результатов выполнения лабораторной работы и их обработки.

Глава 6. ИНСТРУКЦИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЗАДАНИЙ ЛАБОРАТОРНОГО ЗАНЯТИЯ

Загрузить студенту в режиме индивидуальных занятий с рабочего стола систему ПЗ и выбрать модель ЯЭУ (см. рис.1 - 4).

После запуска задания загружается модель ЯЭУ по 320 проекту с пусковой топливной загрузкой на начало кампании. Кнопку «Пуск» не нажимать. Прежде чем запустить модель ЯЭУ необходимо осмотреть следующие форматы: K_SUZSYS, K_1KSYS, K_2KSYS, K_TKSYS - вызываются с помощью меню в правом нижнем углу формата через серую закладку по кнопкам «СУЗ», «1-К», «2-К» и «ТК», формат K_ROPAR1 - вызывается с помощью меню в правом нижнем углу формата через синюю закладку по кнопке «П1», формат Local_par_core – вызывается с помощью меню в правом нижнем углу формата через зеленую закладку по кнопке «ПБ».

Для перехода на данные форматы нужно в правом нижнем углу любого формата компьютерного анализатора МФА РУ выбрать 1-ую группу форматов и в этой группе нажать на кнопку с именем СУЗ, затем на кнопку «1-К», затем на кнопку «2-К», затем на кнопку «ТК». После этого выбрать закладку и нажать на кнопку «П1». После этого выбрать 3-ю закладку и нажать на кнопку «ПБ» (рис. 10).

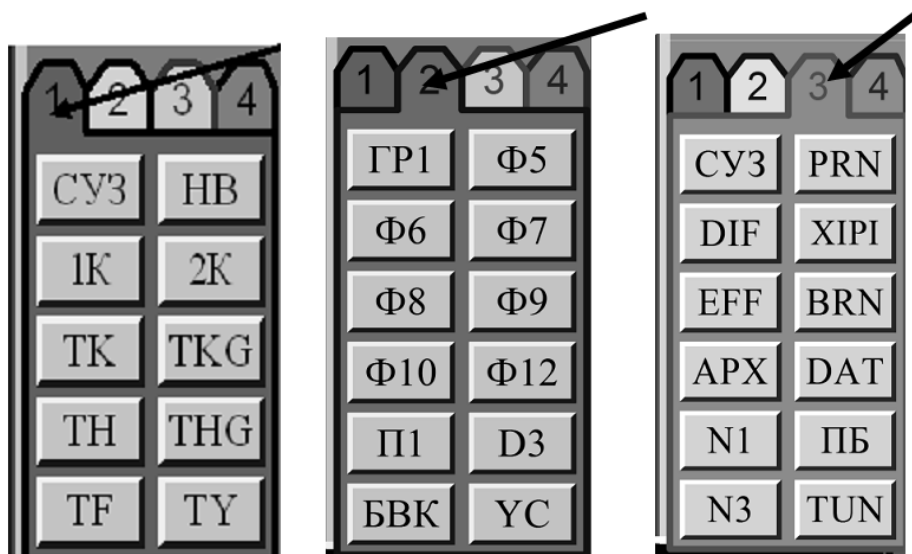


Рис. 10

С формата «СУЗ» (рис. 11) осуществляется управление групповым и индивидуальным движением ОР СУЗ. На формате проверить включение АРМ в режим «Т», все параметры, мощность, средняя температура теплоносителя, период, аксиальный офсет и т.д. стабильны во времени.

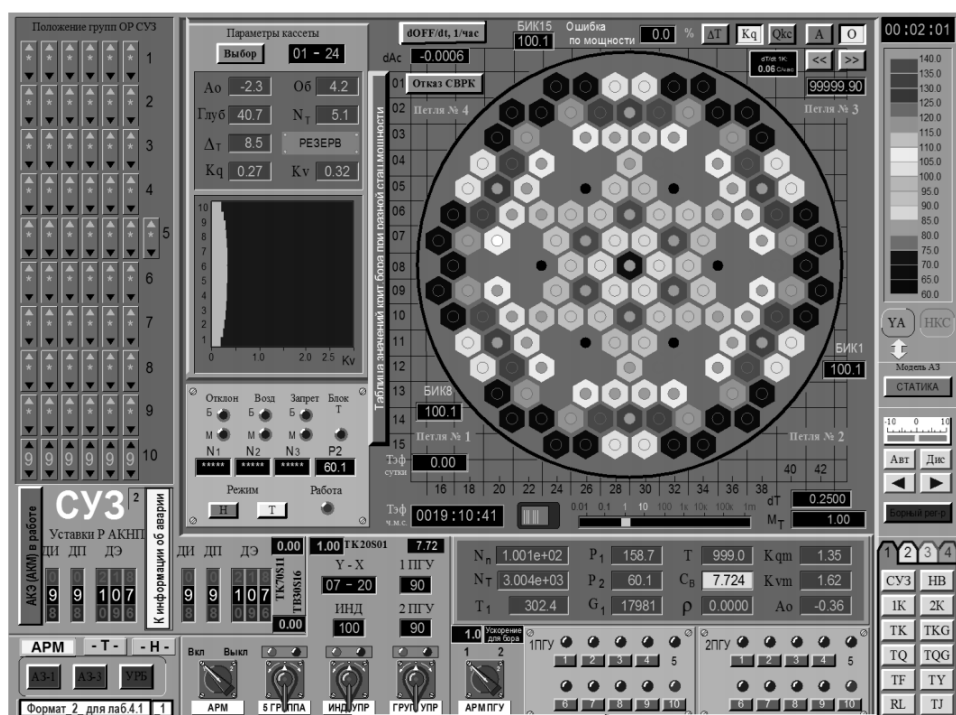


Рис. 11. Формат СУЗ

На формате «СУЗ» нужно акцентировать внимание пользователя на фрагмент со следующими цифровыми окнами, с помощью которых можно управлять боромассообменом в 1-м контуре (рис. 12).



Рис. 12

На данном фрагменте приведено цифровое окно для задания степени открытия задвижки TK70S11 - на тракте из бака с дистиллированной водой без бора для разбавления воды в 1-м контуре (рис. 13).



Рис. 13

В данной работе степень открытия может быть равной 1 или 0, т.е. задвижка открыта полностью или полностью закрыта. Рядом располагается цифровое окно для задания степени открытия задвижки TK20S01 на тракте подпитки между баком «деаэратора» и основными питательными насосами системы подпитки-продувки.

При открытии задвижки TK70S11 нужно прикрыть задвижку TK20S01 (рис. 14) для того, чтобы дать возможность свободного прохода дистиллированной воды в 1-й контур, степень открытия равна от 0.1 до 0.05.

При закрытии задвижки TK70S11 нужно открыть задвижку TK20S01 полностью. Рядом расположено окно для контроля концентрации борной кислоты в узле подпитки перед питательными насосами.



Рис. 14

Здесь же расположено окно для задания степени открытия задвижки TB30S16 (рис. 15) на тракте подачи воды с концентратом бора (40г/кг) в узел подпитки и дальнейшей транспортировки в 1-й контур.



Рис. 15

При открытии данной задвижки степень её открытия не должна превышать величины 0.03. На этом же фрагменте есть специальное цифровое окно для задания точного значения для задания ускорения процессов размешивания бора в 1-м контуре (рис. 16). Ускорение используется для повышения скорости размешивания дистиллята или бора при их подаче в контур (от 1 до 50).



Рис. 16

Все эти окна и наименования задвижек выведены на данный формат с формата –ТК- для удобства выполнения работы, чтобы не прыгать с формата на формат и не потерять управления энергоблоком (на практике на АЭС эти функции выполняет не один человек). На формате «2-К» (рис. 17) приведены основные системы управления турбиной и сбросом пара через СРК на турбину или через БРУ-К в конденсатор.

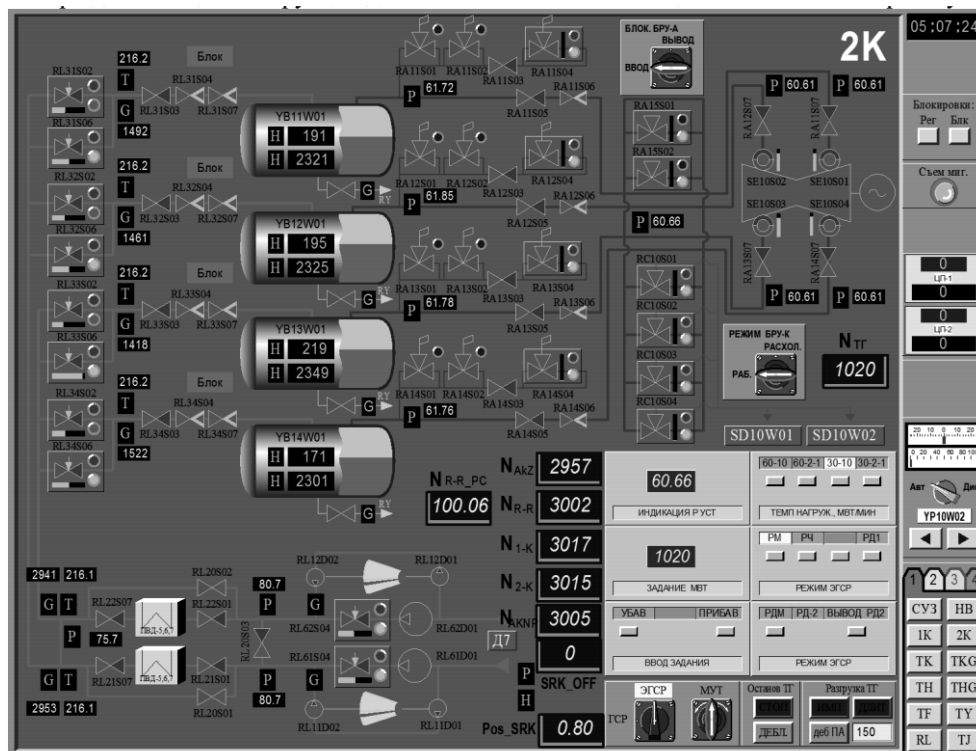


Рис. 17

Здесь происходит автоматическое регулирование уровня в ПГ с помощью регуляторов питательной воды, подаваемой по линиям на которых располагаются турбопитательные насосы (ТПН), а также аварийные насосы АПЭН. На формате нужно проверить стабильность всех значений мощностей, объяснить их различие. На этом формате приведена система ЭГСР (автоматическая гидравлическая система регулирования расхода пара на турбину), которая при переходном режиме работает режиме РД1, а АРМ в режиме «Н». В переходном режиме реактор диктует турбинному цеху, с какой мощностью работать, а не наоборот. Также здесь приведен ключ переключения режима работы БРУ-К. Для состояний зоны при практическом отсутствии бора в реакторе нужно создать небольшой запас положительной реактивности для компенсации отравления ксеноном. Это достигается снижением давления во 2-м контуре и уменьшением температуры теплоносителя на входе в зону. Для реализации такой воз-

возможности нужно перевести регулятор БРУ-К в режим расхолаживания, что делается нажатием кнопки на правой панели формата «Local_Par_Core» (рис. 18).

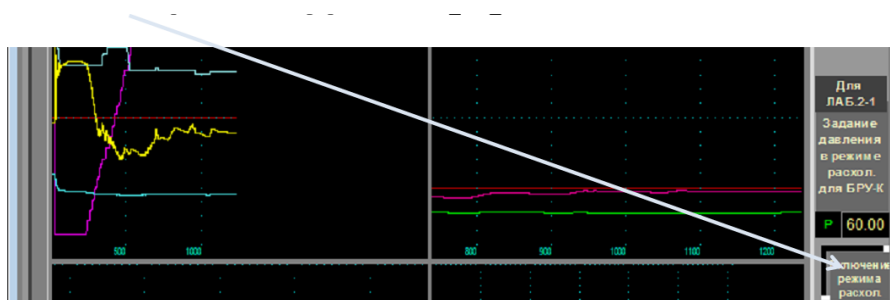


Рис. 18

Когда менять режим работы БРУ-К и какое значение уставки задавать в цифровик рассказано ниже при детализации инструкции для состояния зоны на конец кампании по 320 проекту.

С формата «ТК» (рис. 19) осуществляется управление боромассообменом через бак ТВ30В01 с концентратом бора ($40 \text{ г H}_3\text{BO}_3/\text{кг H}_2\text{O}$) и через бак ТК70В01. Бак ТВ30В01 предназначен для подачи бора и уменьшения реактивности в активной зоне, а бак ТК70В01 предназначен для разбавления первого контура чистой водой без бора и увеличения реактивности в активной зоне. При просмотре данного формата нужно убедиться в том, что насос ТВ30D01 включен, ручная задвижка ТВ30S16 должна быть закрыта, должны быть открыты задвижки ТВ30S13 и ТВ30S02 для организации рециркуляции концентрата бора через бак. Нужно убедиться в том, что задвижка ТК70S11 закрыта.

При инициировании подачи бора в контур, нужно открыть ручную задвижку ТВ30S16. Её открытие лучше производить через изменение числа в цифровом окне рядом с этой задвижкой (при малых вбросах бора в контур степень открытия должна быть от 0.01 до 0.02, не больше). Для инициирования подачи дистиллированной воды нужно открыть задвижку ТК70S11, а задвижку ТК10S06 нужно прикрыть до степени открытия 0.05...0.1. Это нужно сделать для того, чтобы продавить напор на тракте циркуляции воды в системе подпитки-продувки и организовать доступ чистой воды к линии подпитки. Аналогичные окна для задания степени открытия задвижек имеются на базовом формате K_SUZSYS.

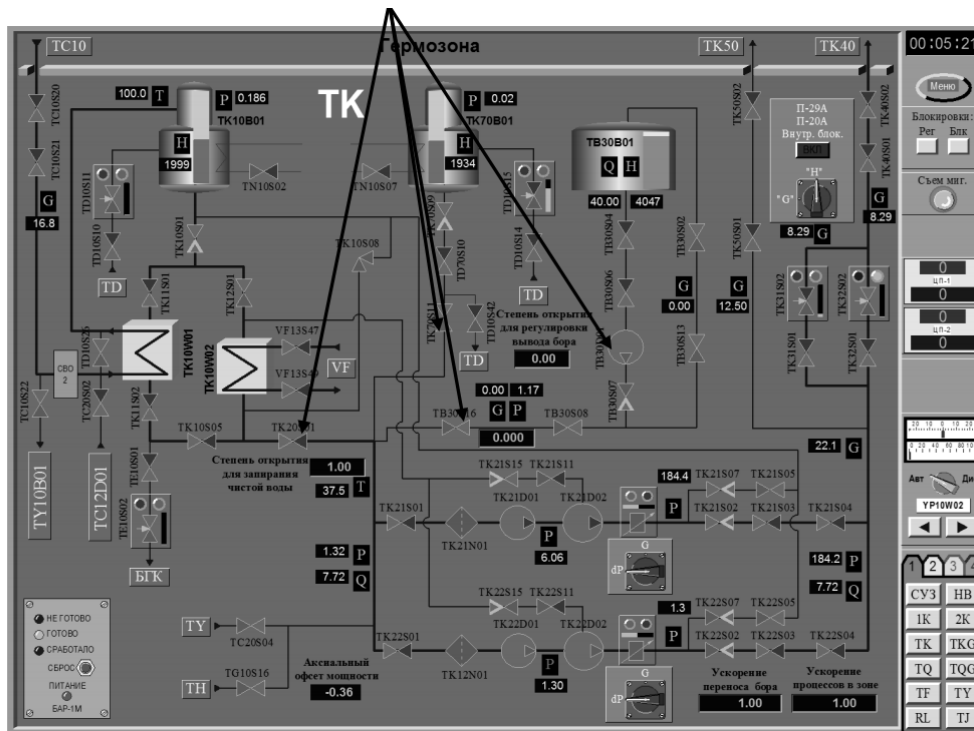


Рис. 19

Данные задвижки и окна для задания степени их открытия очень важны для проведения занятия.

После просмотра форматов K_SUZSYS, K_1KSYS, K_2KSYS, K_TKSYS нужно разместить формат «Local_Par_Core» на формате K_SUZSYS и сделать его всегда сверху, уменьшив его размер (рис. 20). Он понадобится для постоянного контроля поведения локальных характеристик, а именно величины Yz_DKV_MIN , которая при стабилизации параметров в активной зоне должна быть отрицательной. По поведению данной величины производится коррекция управления с помощью переключения групп ОР СУЗ и боромассообмена.

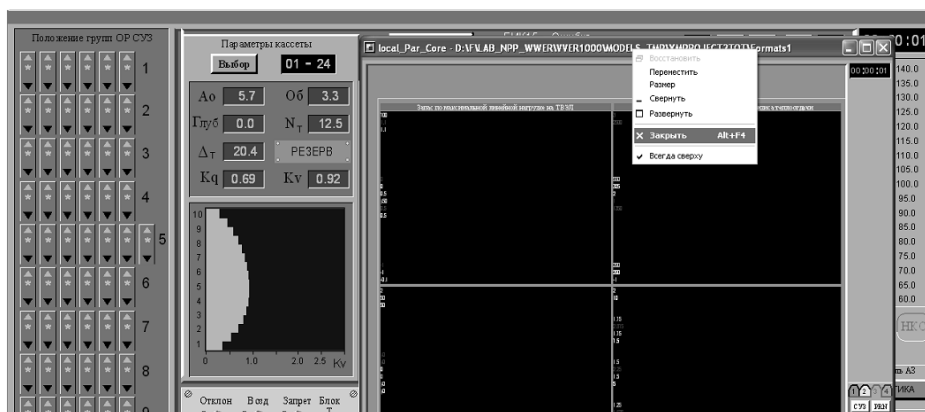


Рис. 20

Величина Yz_DKV_MIN показана на верхнем левом графике формата «Local_Par_Core» (рис.20). На этом графике выводятся следующие параметры(рис. 21): Yz_DKV_MIN – запас по KV, YSHGRP(1) – положение 1-й группы

ОР СУЗ (для УРБ в 338 проекте), YSHGRP(4) – положение 4-й группы ОР СУЗ (для УРБ в 320 проекте), YSHGRP(10) – положение управляющей 10-й группы ОР СУЗ, Show_r(501)=0 для указания нулевой линии, ниже которой должны быть значения Yz_DKV_MIN.

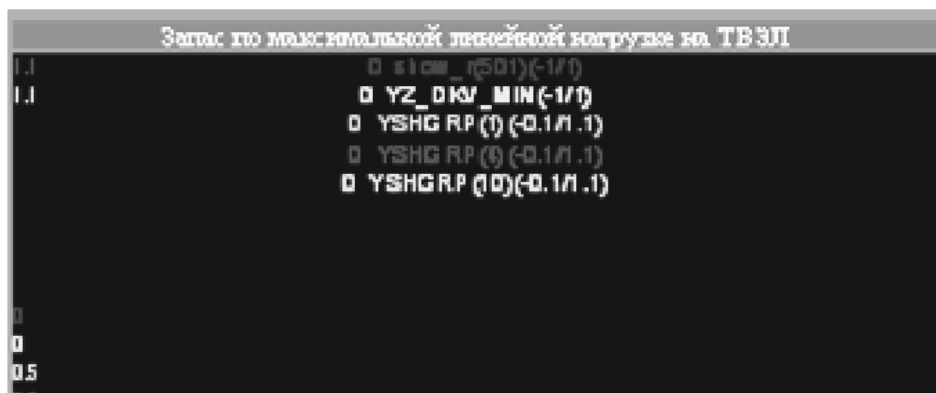


Рис. 21

Второй график в правом верхнем углу формата (рис. 20) в данной работе не нужен. На 3 графике в левом нижнем углу формата (рис. 20) выводятся следующие переменные модели (рис. 22): YCINTCAM – усредненное показание по ионизационным камерам (БИК) интегральной мощности активной зоны (%), YMINTPOW – интегральная мощность активной зоны по данным СВРК (%), WORKROM – указатель работы РОМ (1 - РОМ в работе, 0 - РОМ выключен), ROM_TPOWER- величина тепловой мощности, определяемая алгоритмом РОМ по данным СВРК и показаниям БИК и которая сравнивается с уставкой РОМ по мощности, ROMSET – текущая уставка РОМ. Уставки РОМ: ROM01C1 = 103 %, ROM01C2 = 69 %, ROM01C3 = 53 %, ROM01C4 = 43 %, ROM01C5 = 9 %. Используются при разных нарушениях нормальной эксплуатации и плановых режимах.



Рис. 22

Когда ROM_TPOWER становится меньше ROMSET РОМ выключается. РОМ имеет запаздывание по времени для определения нового значения ROM_TPOWER 20...30 с. На 4 графике в правом нижнем углу формата выводятся следующие переменные (рис. 23):

-YM_KQ_W_MAX – максимальный коэффициент неравномерности покассетного распределения мощности в активной зоне;
 -YM_KV_W_MAX – максимальный коэффициент неравномерности объемного распределения мощности в активной зоне;
 -YMBOR_COR – значение концентрации борной кислоты в активной зоне;
 -YMOFFSET – значение аксиального офсета нейтронной мощности.
 Show_r(501) = 0 - указание нулевой линии для быстрого определения знак офсета.

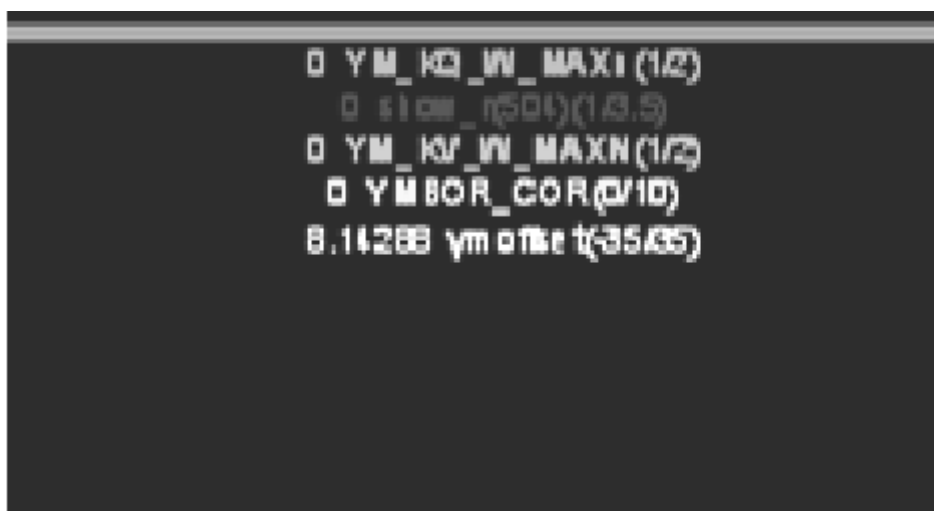


Рис. 23

Ниже показан фрагмент формата «П1» (рис. 24), на котором выводятся основные показатели теплотехнической безопасности и запас по полевым ограничениям относительной локальной мощности в активной зоне (переменная Yz_DKV_MIN), который понадобится для контроля этих показателей во время переходного процесса. Перед пуском модели нужно убедиться в том, что модель горячего канала подключена к расчету параметров в активной зоне. Ниже показаны фрагменты формата, на котором указаны маркеры для идентификации подключения.

Горячий канал	
Tfu max	1622.6
Tcl max	350.0
Dnbr min	1.39
Ql max	362.5
Dif_KV min	

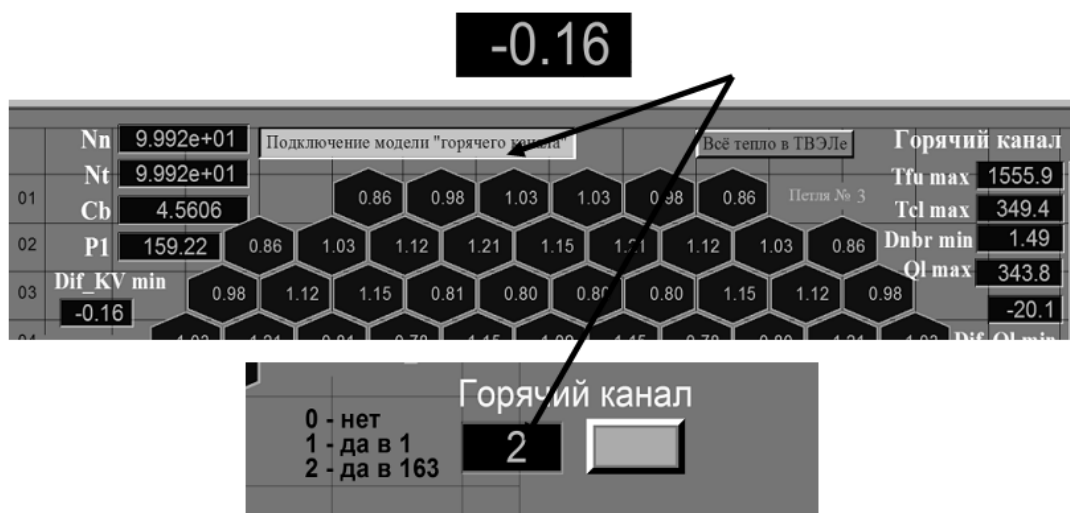


Рис. 24

После осмотра данных форматов и содержимого графиков на формате «Local_Par_Core», понимания роли управления задвижками в системе ТК с формата K_SUZSYS, понимания какие переменные на формате «Local_Par_Core» нужно контролировать (Yz_DKV_MIN на 1-м графике, WORKROM, ROM_TPOWER, ROMSET на 3-м графике) завершается общая часть для обоих вариантов задания. Если имеется два монитора, то на второй монитор желательно разместить формат ТК для контроля расхода подпитки (рис. 25).



Рис. 25

Далее осуществляется пуск модели. Для этого нужно на верхней всплывающей линейке формата нажать на кнопку «Пуск» (рис. 26).



Рис. 26

Аппаратное ускорение модели ЯЭУ не включать. На 25 секунде происходит отключение турбогенератора. В первые секунды после отключения происходят следующие события во 2-м контуре. Мощность турбины практически

равна нулю. Давление во втором контуре возрастает выше 72 ати, открываются БРУ-К и БРУ-А на ПГ. Работа 2-го контура переходит на сброс пара мимо турбины в конденсатор через БРУ-К. Это можно наблюдать на формате K_2KSYS, но не долго – не больше 10...15 с. Далее нужно перейти на формат K_SUZSYS и практически постоянно оставаться на этом формате. По факту закрытия СРК срабатывает алгоритм УРБ и падает 1-я группа ОР СУЗ (для 338 проекта) или 4-я группа (для 320 проекта) на НКВ за 3...4 с, это видно на формате «СУЗ» (рис. 27). Реактор по мощности разгружается до величины порядка 40 %номинальной мощности. Это происходит за счет включения в системе ПЗ РОМ, который опускает последовательно все группы, начиная с 10-й, до снятия сигнала ПЗ-1, а именно до снижения мощности ниже 43 % - 42 %, зарегистрированной по СВРК и БИК.

Сначала работа выполняется без участия системы АКЭ. На формате «НВ» Видна вся сигнализация системы ПЗ, а именно ПЗ-1(А3-3) и ПЗ-2(А3-4), РОМ (действие ПЗ-1), УРБ. Реактор разгружается РОМ до 43 % - 42 % . РОМ отключается и включается автоматически АРМ в режим «Н», а ЭГСП в режим «РД1».

Разгрузка производится группой УРБ и погружением 10-й группы на 30...70 % по высоте извлечения из зоны. Возможно повторное включение РОМ (и не один раз для конца кампании стационарных топливных загрузок) из-за срабатывания обратных связей. Ждем окончательного завершения действия ПЗ-1 и снятия сигнала РОМ. Контроль за этим проводится на 3 графике формата «Local_Par_Core» (см. рис. 20) по сравнению значений ROM_TPOWER и ROMSET. Когда устойчиво величина ROM_TPOWER становится меньше ROMSET, то действие РОМ прекращено. Для того чтобы не пропустить повторного срабатывания РОМ, нужно после каждого завершения работы РОМ ждать около 20-30 секунд модельного времени и только после этой выдержки, если РОМ не сработал, можно приступать к дальнейшим действиям по инструкции.

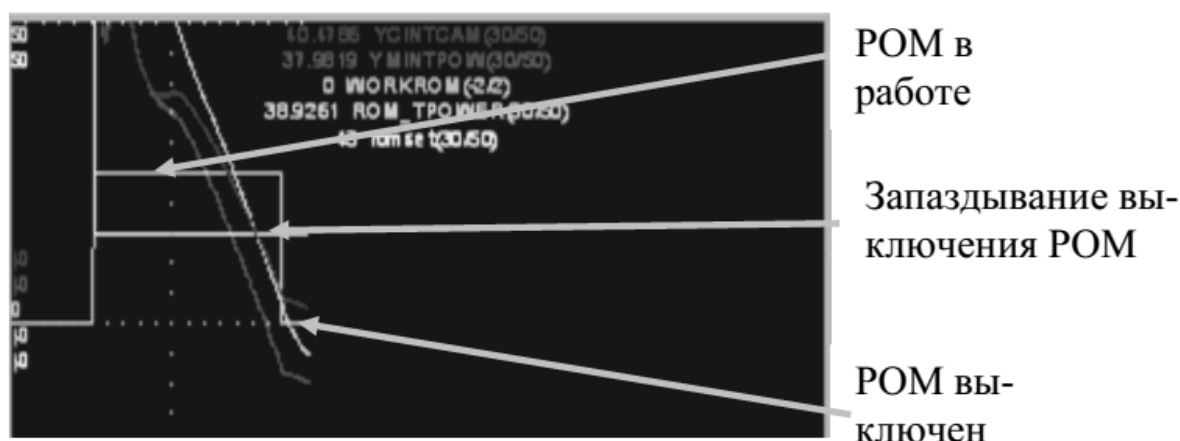


Рис. 27

Нужно перейти на формат K_HB113 по кнопке НВ на серой закладке для 1-й группы форматов. Снимаем мигание сигнализации. РОМ выключен, это видно на данном формате (рис. 28).

Землетрясение 5 баллов	Повышение потока нейтронов в ДИ	Р АЗ > 180 кг/см2	Отключение 2 из 4-х ГЛН		Нет У АЗ-4 1 сист.	Идет опробо- вание АЗ-3,4 1 сист.	Сработал прибор АЗ-3 1 сист.
Р ГПК > 80	Р ГО > 0,7	Т ГО > 90 С	АЗ-3 технол. 20 сек		Нет У АЗ-3 3 сист.	Идет опробо- вание АЗ-1,2 сист.	Сработал прибор АЗ-3 3 сист.
АЗ-3 АЧНП 10 сек	Контроль ПАК					Сработал прибор АЗ-4 3 сист.	Нет У АЗ-1 3 сист.

АЗ-3 Б	Т ДЗ < 20 сек	Т ДП < 20 сек	Увеличение N теп до 104 - 109%	Сработал прибор АЗ-3 2 сист.	Нет У АЗ-3 1 сист.	Нет У АЗ-3 2 сист.	Опробование АЗ-3,4 2 сист.
Увелич. потока нейтр. в ДЗ 105%	Р АЗ > 175 кг/см2	РОМ Б	Уменьшение F сети ГЛН	УРБ поворот ключа	УРБ N <= 75%	УРБ Б	Сработало 1,3 канала АЗ
Увелич. Т в гор. нитках до 923 С	Р ГПК > 74 кг/см2	Действие АЗ-3					
Обесточ 2 из 3-х промере АЗ-3	Отк. ТПН ЦН КЭН, закр. ОК ЦСД	АЗ-3 от ключа					Опробование АЗ-3,4 3 сист.
АЗ-4 Б						У др. канала до критич. в АЗ	Т на выходе > 230 С
	Т ДИ < 20 сек	Действие АЗ-4	Увелич. N теп. до 102%	Сработал прибор АЗ-4 1 сист.	Сработал прибор АЗ-4 2 сист.	Нет питания АЗ-4 2 сист.	Нет питания АЗ-4 3 сист.
Р АЗ > 185 кг/см2	Т гор. нитки > 320 С	Обесточ 2 из 3-х промере АЗ-4	Упад ОР	Нет У приборов и датч. АЗ 3 сист.	Нет У первопричины АЗ	Нет У приборов и датч. АЗ 1 сист.	Нет У приборов и датч. АЗ 2 сист.

Рис. 28

Далее деблокируем ПЗ-1(АЗ-3), ПЗ-2(АЗ-4) и УПЗ (УРБ), нажав на кнопки, указные на рис. 29.

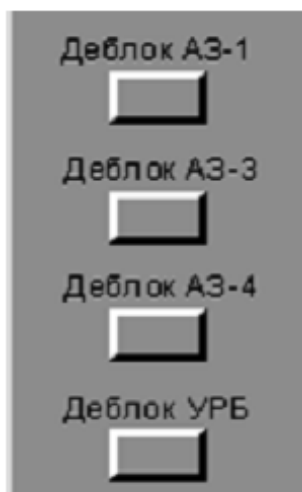


Рис. 29

Вся сигнализация по СУЗ и на технологической карте защит и блокировок (ТЗБ) гаснет, что означает, что реактор находится в нормальных условиях эксплуатации по интегральным параметрам ЯЭУ (рис. 30).

НВ113							
АЗ-1 Б	Т ДЗ < 20 сек	Т ДП < 20 сек	Увеличение N теп до 104 - 109%	Сработал прибор АЗ-3 2 сист.	Нет У АЗ-3 1 сист.	Нет У АЗ-3 2 сист.	Опробование АЗ-3,4 2 сист.
Увелич. потока нейтр. в ДЗ 105%	Р АЗ > 175 кг/см2	РОМ Б	Уменьшение F сети ГЛН	УРБ поворот ключа	УРБ N <= 75%	УРБ Б	Сработало 1,3 канала АЗ
Увелич. Т в гор. нитках до 923 С	Р ГПК > 74 кг/см2	Действие АЗ-3					
Обесточ 2 из 3-х промере АЗ-3	Отк. ТПН ЦН КЭН, закр. ОК ЦСД	АЗ-3 от ключа					Опробование АЗ-3,4 3 сист.
АЗ-4 Б						У др. канала до критич. в АЗ	Т на выходе > 230 С
	Т ДИ < 20 сек	Действие АЗ-4	Увелич. N теп. до 102%	Сработал прибор АЗ-4 1 сист.	Сработал прибор АЗ-4 2 сист.	Нет питания АЗ-4 2 сист.	Нет питания АЗ-4 3 сист.
Р АЗ > 185 кг/см2	Т гор. нитки > 320 С	Обесточ 2 из 3-х промере АЗ-4	Упад ОР	Нет У приборов и датч. АЗ 3 сист.	Нет У первопричины АЗ	Нет У приборов и датч. АЗ 1 сист.	Нет У приборов и датч. АЗ 2 сист.

Рис. 30

Теперь нужно вернуться на формат K_SUZSYS и посмотреть, что происходит с полевыми ограничениями на формате «Local_Par_Core». Видно на фрагменте слева внизу, что запас по KV практически исчерпан или его даже нет, и нужно или снижать мощность, или что-то сделать для организации запаса по KV (рис. 31).

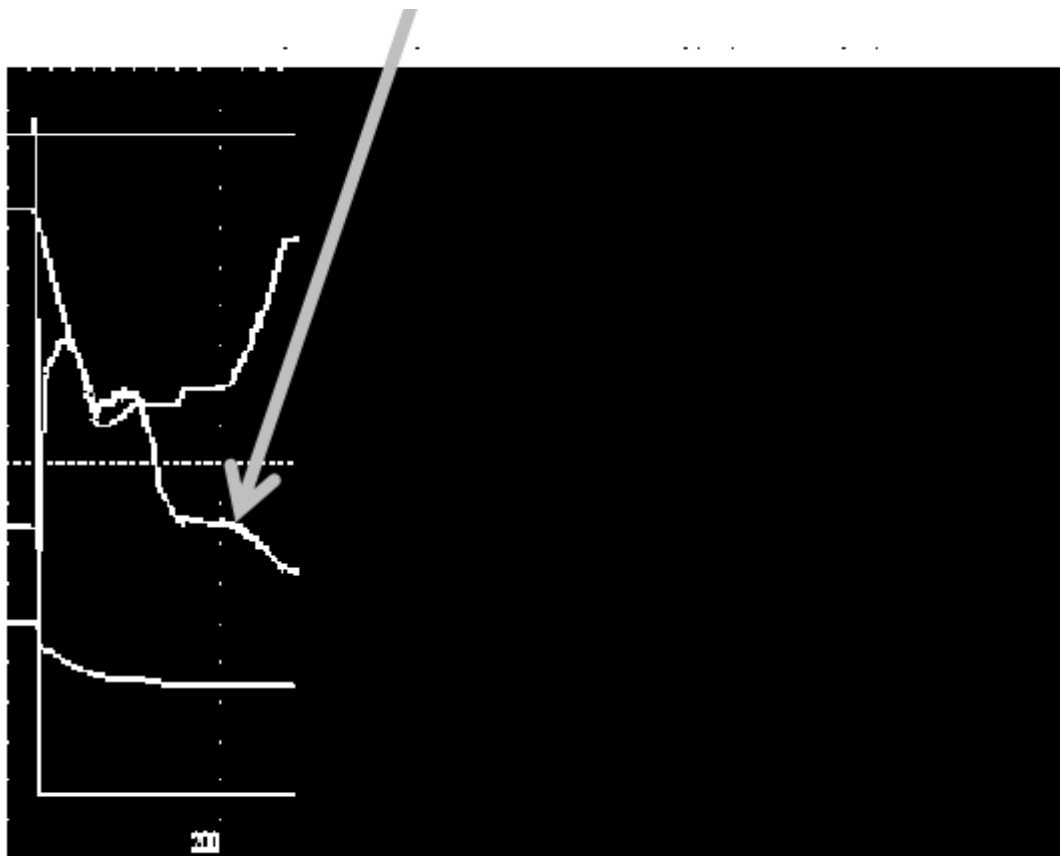


Рис. 31. Поведение запаса по KV перед переключением АРМ на группу УРБ

Технология обеспечения запаса по KV при отключении ТГ практически одинаковая – это снижение мощности до 33...37 %, полное извлечение группы УРБ за два часа (с частичным погружением 9- ой группы на 20...25 % для состояний зоны на конец кампании), извлечение рабочей группы № 10 до 80...90 %, затем подъем мощности до 39...40 % за счет боромассообмена при отключении АРМ с одновременным погружением группы №10 на 68 %...71 % и дальнейшая стабилизация параметров за счет компенсации отравления зоны ксеноном выводом бора из контура на первой фазе и на второй фазе стабилизация параметров за счет компенсации разотравления зоны ксеноном вводом бора в контур при перемещении группы № 10 от 70 % до 75 % по высоте извлечения. Для состояний активной зоны на ВОС и ЕОС технология перемещения группы № 10 может быть разной.

Нужно отметить, что инструкции для всех вариантов и по разным проектам являются практически самодостаточными. Исключением является указание имен форматов и задвижек, а также действий по нормировке камер в составе АКНП, которые понадобятся для выполнения лабораторной работы. Эти имена и действия полностью описываются для 1-го варианта задания для

ВОС пусковой загрузки и 3-го варианта для ЕОС стационарной по 338 проекту без работы АКЭ. Все остальные инструкции подразумевают знание имен и действий, упомянутых в данных вариантах. Поэтому для выполнения всех вариантов нужно обязательно знать инструкции для указанных выше двух вариантов.

После окончательного завершения работы РОМ и стабильного включения в работу АРМ нужно отключить АРМ, снизить мощность по каждой камере ниже 40 % (до 38...39 %), чтобы при маневрировании группами ОР СУЗ не нарваться на повторное включение РОМ. Затем включить АРМ снова и ускорить работу модели в 10 раз рис. 32).



Рис. 32

Для некоторых состояний активной зоны (в основном для конца кампании) для ускорения процесса снижения мощности можно включить подачу бора в контур через задвижку ТВ30S16. Дождаться извлечения группы № 10 на 90...100 % и переключить АРМ на группу УРБ (для 320 проекта – 4группа, для 338 проекта 1-группа). Переключение происходит следующим образом (рис. 33).

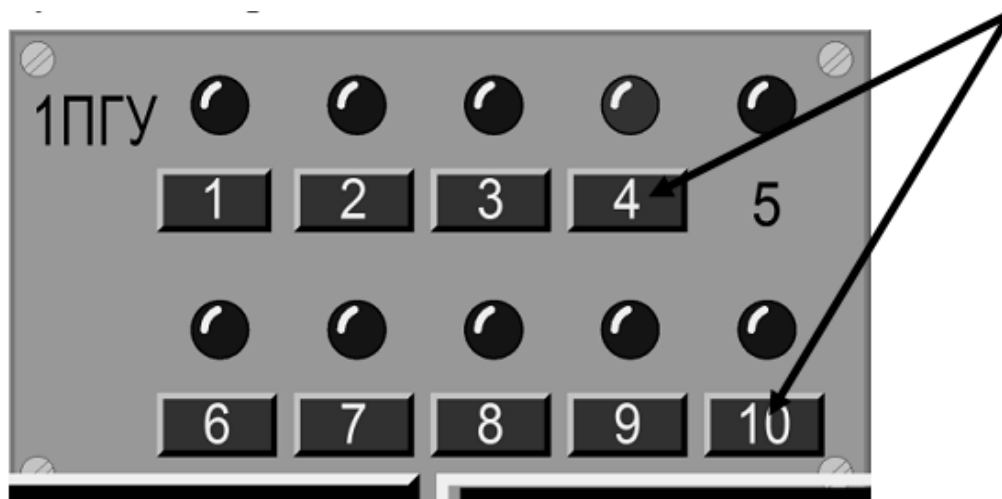


Рис. 33

Для ВОС бор вводить не надо, так как роль поглотителя для извлечения группы в верхнее положение играет отравление зоны нестационарным ксеноном за счет распада йода, количество которого определяется 100 % мощностью, а не 40 % мощности. Температурный эффект реактивности заметно ниже для пусковой загрузки на начало кампании, чем для стационарной загрузки на конец кампании. Поэтому отравления ксеноном достаточно для быстрого извлечения 10-й группы и группы УРБ. В ходе извлечения группы ОР СУЗ для УРБ на пониженной мощности не наблюдается превышения KV(рис. 34).

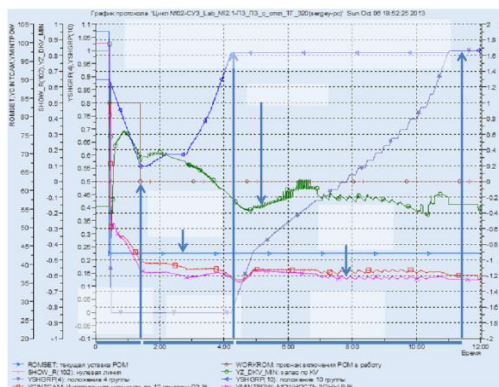


Рис. 34

В ходе извлечения группы УРБ до 70 % нужно на формате K_TKGSYS выбрать и перевести регулятор TK82S02 в дистанцию, приоткрыть его до установления расхода продувки 28 т/ч (рис. 35).



Рис. 35

Указанная операция выполняется всегда в данной лабораторной работе при извлечении группы УРБ. После стабилизации параметров реактора в самом конце выполнения лабораторной работы нужно данный регулятор поставить обратно в режим автоматической работы. При достижении группы УРБ величины 70 % извлечения нужно подключить подачу дистиллята для разбавления воды в 1-м контуре для возврата мощности до 39...40 % и компенсации отравления нестационарным ксеноном. Для этого нужно открыть задвижку TK70S11 полностью (степень открытия равна 1), прикрыть задвижку TK20S01 до 0.1. При достижении группы УРБ величины 90 % извлечения нужно ускорить размешивание дистиллята с водой в 1-м контуре с 1 до 10 раз и уменьшить ускорение процессов в зоне до 1. При дальнейшем извлечении запас по KV начинает несколько уменьшаться.

После полного извлечения группы УРБ из активной зоны (иногда для того, чтобы побыстрее вывести группу на ВКВ нужно снова увеличить ускорение процессов в зоне до 10 после её извлечения на 90 %), нужно включить ускорение процессов в зоне до 10, дождаться остановки извлечения группы № 10 (группа может выйти на 100 % извлечения) и после этого убрать ускорение размешивания бора и процессов в зоне, далее отключить АРМ и провести тари-

ровку камер по данным СВРК. Для этого нужно блокировать защитные функции СУЗ (рис. 36).

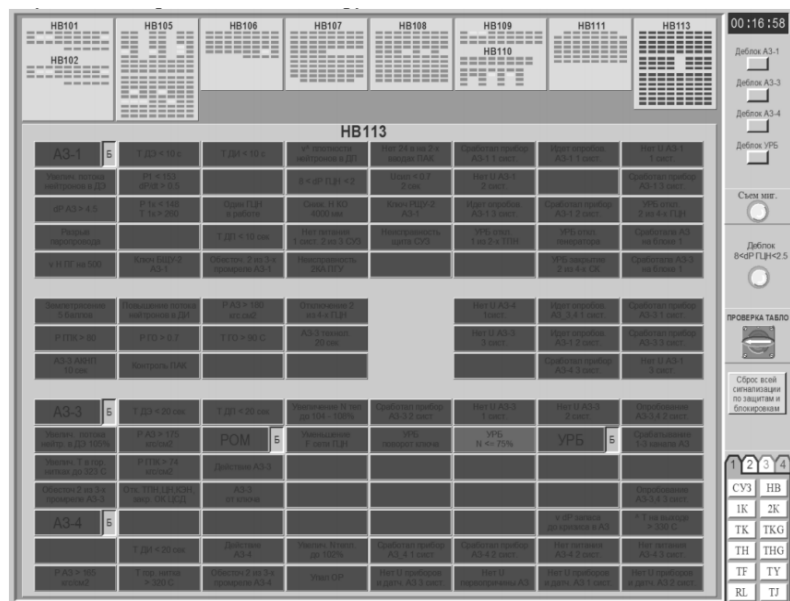


Рис. 36

Перейти обратно на формат СУЗ и нажать кнопку с именем «АКЭ (АКПМ) в работе» (рис. 37).

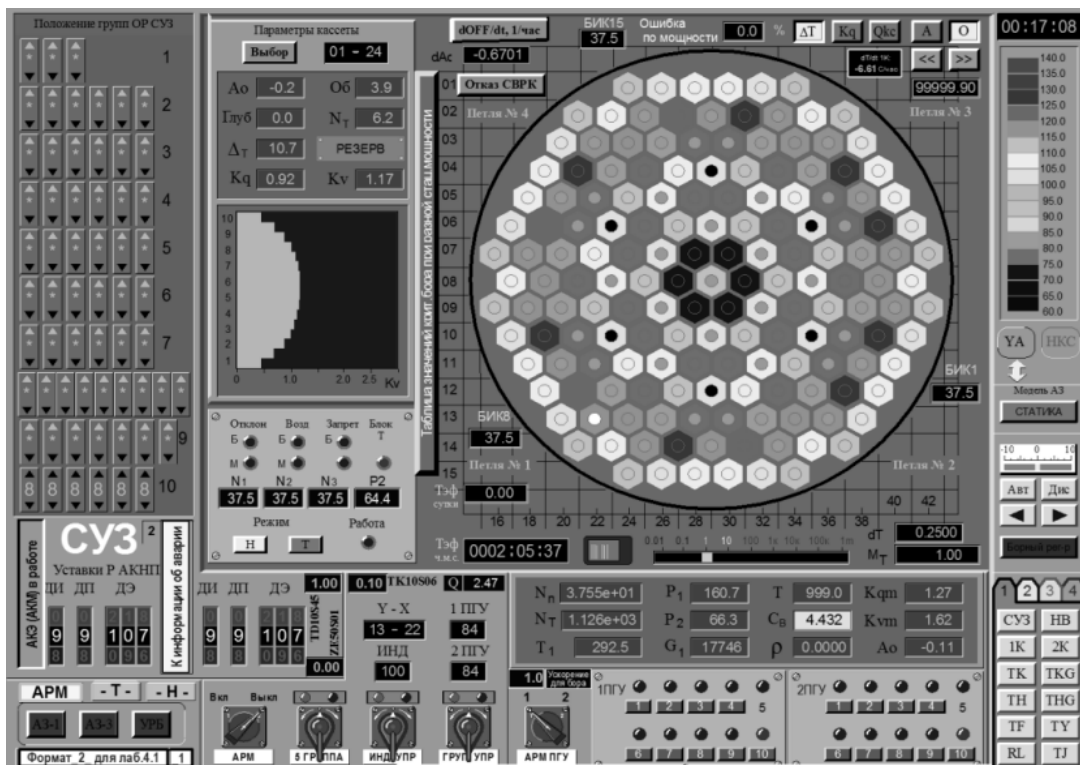


Рис. 37

После нормировки значения мощности по камерам она равна мощности по СВРК, т.е. знаем реальную мощность зоны. При этом запас по KV резко изменится, но останется меньше нуля. После этого снять мигание сигнализации и

деблокировать все сигналы СУЗ (АЗ-1, ПЗ-1, ПЗ-2, РОМ, УРБ). После этого нужно снять блокировку работы СУЗ, как делается всегда на АЭС, однако для студентов эту операцию можно разрешить не делать, т.е. можно оставить заблокированной СУЗ до стабилизации параметров реактора, после чего конечно нужно снять блокировку СУЗ, чтобы показать, что Вы обеспечили нормальные условия эксплуатации. Далее довести мощность до 39,5 %, включив ускорение перемешивания бора до 10, при этом опустить группу № 10 до 67...70 %, затем включить АРМ на 10 группу ОР СУЗ. Ниже показан график зависимости запаса по KV и некоторых параметров реактора от времени при извлечении группы УРБ, подъеме мощности и достижения положения 10 группы до значения 68 % извлечения (рис. 38). Запас всегда есть (отрицательная величина).

При маневрировании группой ОР СУЗ № 10 нужно периодически тарировать камеры, чтобы не потерять представление о реальной мощности установки. Почему снижается мощность до 39,5 %? Для того, чтобы иметь запас регулирования до значения мощности 40,5 %, при которой запас по KV становится нулевым при оптимальном положении групп ОР СУЗ.

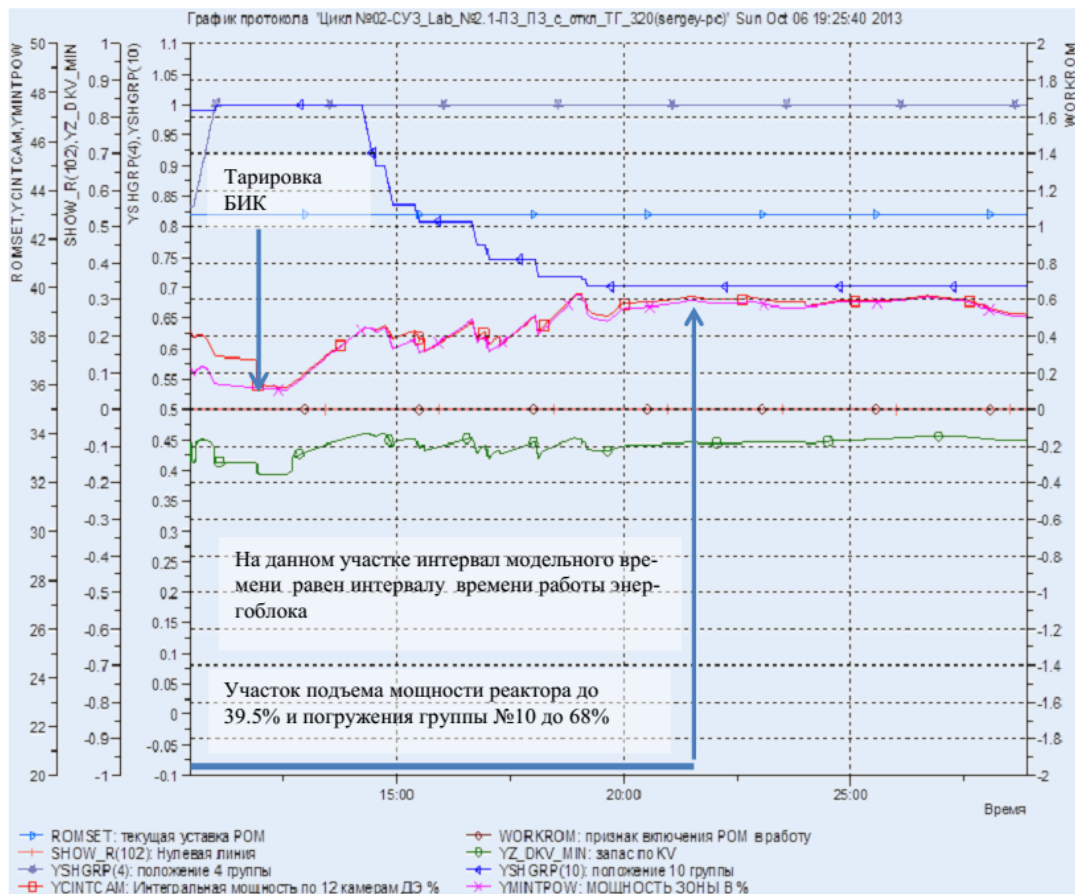


Рис. 38

Далее, маневрируя ускорением перемешивания бора при постоянном ускорении процессов в зоне (10), нужно обеспечить баланс между отравлением ксеноном и выводом бора из воды при достигнутых положениях групп ОР СУЗ (это является аналогом изменения расхода дистиллята за счет подключения или

отключения дополнительных его источников, которых в модели ЯЭУ нет). При маневрировании желательно ускорение процессов в активной зоне оставлять постоянным и равным 10, чтобы ускорить процессы нестационарного отравления и разотравления активной зоны ксеноном. Это позволит сэкономить время выполнения лабораторной работы. Баланс достигается с помощью множителя размешивания дистиллята с водой 1-го контура, что является аналогом управления подачей дистиллята в контур на АЭС. На рисунке показано устойчивое поведение по времени запаса по KV при положении рабочей группы 68 %, мощности 39,5 %, ускорение размешивания 2 и ускорения отравления зоны ксеноном 10. На этом первая фаза работы выполнена. Она занимает около 25 мин модельного времени и около 2,5 часов реальной работы энергоблока. Астрономическое время работы при аппаратном ускорении в 3 раза занимает около 8...10 мин. Данная фаза работы отмечается тем, что достигнута стабилизация параметров на стадии отравления зоны ксеноном и ввода дистиллята в контур. Если турбогенератор готов к пуску к этому времени, то на этой стадии и будет подключена турбина, но это не является целью данной работы. Важно отметить, что вся аварийная сигнализация снята и блок находится в условиях безопасной эксплуатации. Если турбогенератор не готов к пуску в данный момент времени, то начинается вторая фаза 1 -го этапа лабораторной работы, а именно переход от стадии отравления ксеноном зоны к стадии разотравления.

В процессе маневрирования подачей дистиллятом в контур при каждом новом меньшем значении ускорения размешивания дистиллята наблюдается смена тенденции к снижению мощности реактора на тенденцию её возрастания, при этой смене уменьшается значение ускорения размешивания на единицу (10→9→8→7→6→5→4→3→2→1). Уменьшение происходит до тех пор, пока не произойдет смена тенденции возрастания на тенденцию уменьшения. При невозможности уменьшать ускорение размешивания (=1), закрывают подачу дистиллята (задвижка ТК70S11 закрывается полностью) и открывают полностью задвижку ТК20S01 на линии продувки. При этом мощность продолжает расти и группа № 10 погружается до 60...65 %. В этом момент открывается подача бора в контур (открывается задвижка на 0,01 - 0,03) и начинается маневрирование подачей бора в контур, ускорение процессов в зоне остается по прежнему равным 10. При этом положение группы № 10 может несколько меняться от 65 % до 70 %. Оптимальное положение группы при разотравлении зоны может меняться и составлять величину от 70 % до 77 % в связи с перестройкой нейтронных полей из-за изменения распределения ксенона по объему зоны, но этого нужно долго ждать и не является обязательным для выполнения работы.

О перестройке полей лучше всего судить по поведению аксиального оффсета. При его увеличении (так определен офсет в модели: низ – вверх) нужно группу № 10 постараться немного погрузить в интервале 69...77 % за счет уменьшения скорости ввода бора в контур. При уменьшении оффсета нужно группу № 10 постараться немного поднять в интервале 69...77 % за счет увеличения скорости ввода бора в контур. Работа может быть завершена на 80...90 минуте модельного времени (астрономическое время составляет величину порядка получаса при аппаратном ускорении, равном 3). Ниже на рис. 39 показана

но поведение параметров реактора при смене отравления разотравлением ксеноном. Запас по KV имеется. Условия нормальной эксплуатации обеспечены, реактор на 39,5 % мощности, прошло около 10 часов реального времени работы энергоблока, можно подключать ТГ, если он в порядке. Само подключение является предметом отдельной лабораторной работы.

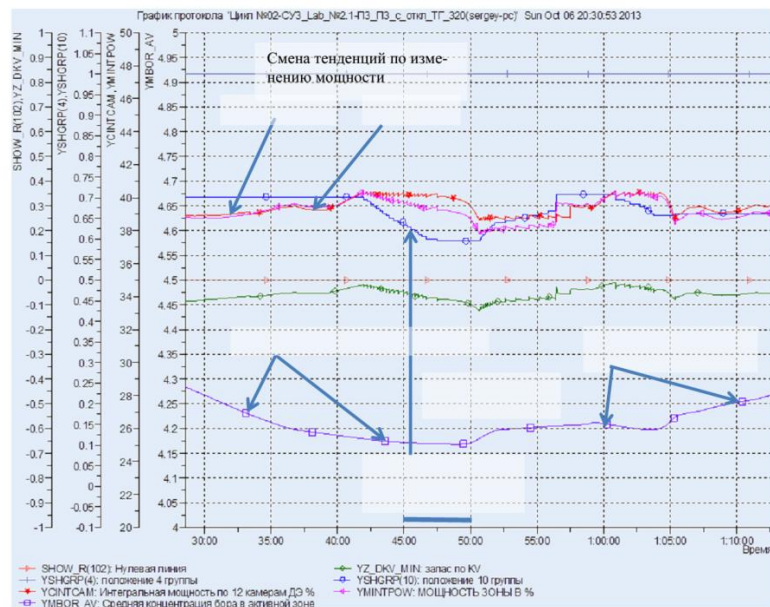


Рис. 39

На этом завершается выполнение *1-го варианта 1-го этапа работы* для 1-го состояния без работы АКЭ. Останавливаем работу модели. Прежде, чем перейти к выполнению следующего варианта, нужно пометить, правильно ли выполнена работа, достигнута ли цель работы: стабилизация параметров ЯЭУ после нарушения нормальной эксплуатации при выполнении полевых ограничений по локальной мощности в активной зоне. Если нет, то этот протокол бракуется и помечается как испорченный. Для этого нужно через верхнюю управляющую линейку войти в режим просмотра протоколов через кнопку, на которой нарисованы «инструменты». Каждый протокол в рамках одного задания обозначается траекториями в виде сплошных столбиков в правой стороне окна, появляющегося после входа в среду системы протоколирования (рис. 40).

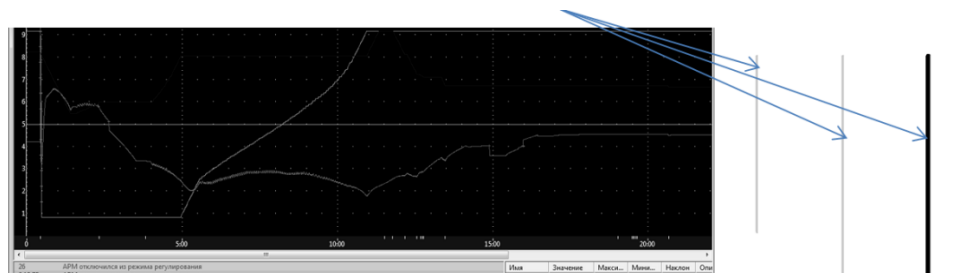


Рис. 40

Каждый столбик-траектория содержит результаты протоколирования выполнения задания для одного из вариантов данного этапа работы. Если протокол не испорчен, то его надо идентифицировать по состоянию активной зоны и режиму работы АКЭ. Если протокол испорчен, то его и нужно пометить как испорченный. Для этого вызываются комментарии к траектории только, что выполненного задания. Для этого подводим стрелку «мыши» к нужной траектории и нажимаем на правую кнопку «мыши», появляется комментарий. Комментарий содержит информацию о том, правильный ли это протокол или нет, и, если правильный, то к какому варианту он относится. Ниже показаны примеры того, как это делается (рис. 41).

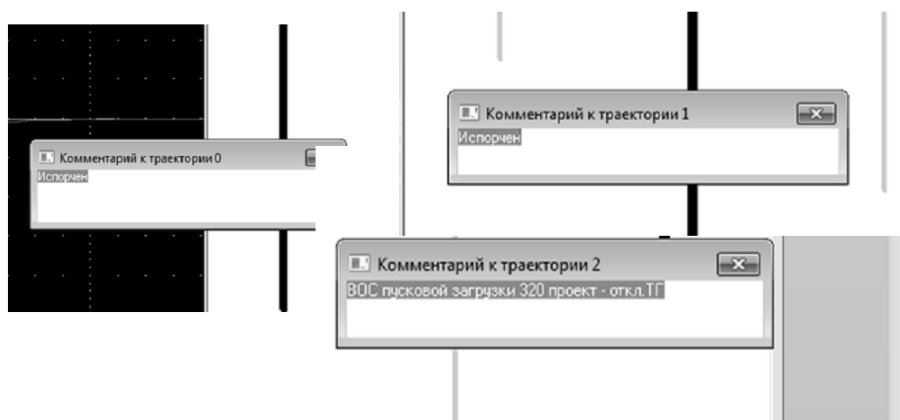


Рис. 41

Далее переходим ко 2-му варианту 1-го этапа, загружаем то же самое состояние, не выходя из СПМК (на рисунке 42 ниже показано состояние для 320 проекта): Загружается указанное состояние, далее нажимается кнопка на формате K_SUZSYS с названием: «АКЭ (АКПМ) в работе».



Рис. 42

Далее запускается модель и все действия для ВОС пусковой загрузки без АКЭ повторяются при работе модели с подключением АКЭ до прекращения работы РОМ. После завершения работы РОМ в случае работы АКЭ нужно отключить АРМ и за счет отравления ксеноном (можно увеличить ускорение процессов в зоне до 10 раз) снизить мощность до 39,5 %. Далее вернуть ускорение на 1 и все дальнейшие действия аналогичны действиям во время процесса разгрузки энергоблока при отключении ТГ без АКЭ. Важно обеспечить нуле-

вой баланс реактивности при извлеченной группе УРБ и положении рабочей группы порядка 67...70 % в начальной фазе и положении 10-й группы 69...79 % в завершающей фазе. Действия те же самые, и запас по KV практически тот же (за исключения начального этапа при извлечении группы УРБ из-за большой мощности по СВРК при работе АКЭ – 39,7 % против 37,5 %), что и для варианта работы без АКЭ. И ещё одно отличие в том, что не потребовалась нормировка камер после извлечения группы УРБ. Перед завершением 2-го варианта 1-го этапа работы нужно также, как и для работы без АКЭ, прокомментировать траекторию в протоколе лабораторной работы. Ниже показан один из результатов работы по поведению параметров реактора от времени для двух вариантов работы РОМ и АРМ с АКЭ и без АКЭ (рис. 43). Поведение параметров реактора очень близко друг к другу при работе АКЭ и без АКЭ.

Рис. 43

показаны параметры реактора и действия по управлению блоком при выходе на стационарное отравление ксеноном для варианта работы блока с включением АКЭ.

Перемещение группы №10 происходит между 70 % и 80 % и так, чтобы удержать запас по KV, а сигнал к действию для движения группы поведение аксиального офсета. Концентрация бора стремится к критической при 40% мощности и равной величине порядка 5,1 г/кг. На рисунке показан диапазон модельного времени от 1 часа 20 минут до 2 часов 40 минут, что составляет порядка 14 часов реального времени работы энергоблока (ускорение процессов в зоне всегда было равным 10). До этого блок проработал около 12 часов. Таким образом, здесь приведены результаты моделирования протекания режима на блоке в течение суток и более. Еще раз нужно повторить, что для выполнения работы достаточно 25 минут модельного времени или 10 - 12 часов реального времени работы энергоблока (астрономическое время равно 8 - 10 минут при аппаратном ускорении в 3 раза, для студентов рекомендуется аппаратное ускорение равное 2, тогда на моделирование одного варианта уйдет 12 - 15 минут).

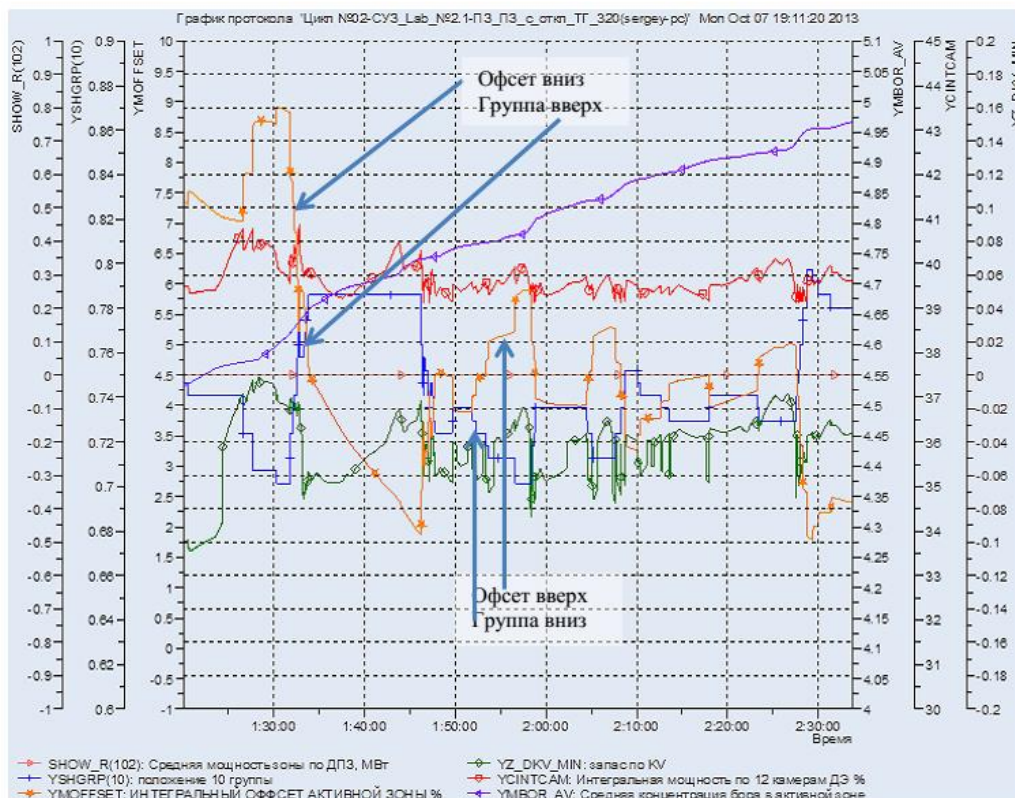


Рис. 44

Следующим шагом является выполнение 3-го варианта 1-го этапа работы, а именно, загрузка состояния активной зоны для ЕОС стационарной загрузки (ниже показана загрузка состояния модели для 320 проекта) (рис. 45).

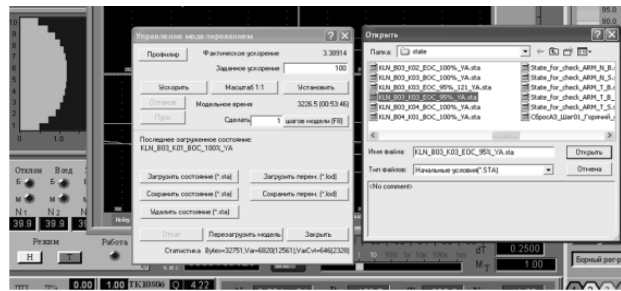


Рис. 45

Далее запускается модель и на 25 секунд происходит отключение ТГ, после чего срабатывает алгоритм УРБ и после падения группы ОР СУЗ включается РОМ, который разгружает энергоблок до тепловой мощности порядка 40 % (рис. 46). При этом РОМ срабатывает несколько раз (для данной загрузки два раза) из-за наличия обратных отрицательных связей, которые существенно по модулю больше для ЕОС стационарной загрузки по сравнению с ВОС пусковой загрузки. Причем, данный фактор, усиливается запаздыванием определения тепловой мощности в алгоритме РОМ. Именно из-за этого срабатывает первый раз РОМ. Дело в том, что при падении группы УРБ мощность по БИК достигает значения ниже 41 % за несколько секунд, а в измерительном канале РОМ еще нет никакого значения тепловой мощности (из-за запаздывания на 20...30 с), в данном случае РОМ работает по мощности, взятой из БИК.

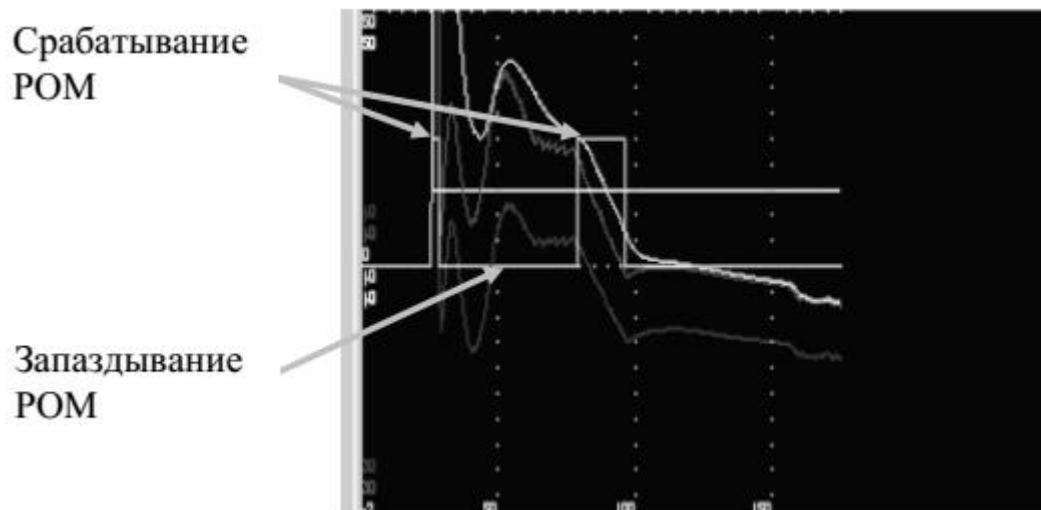


Рис. 46

Без работы АКЭ при переключении с РОМ на АРМ происходит существенное изменение в алгоритмах измерения тепловой мощности реактора. РОМ использует для сравнения с уставкой значение измеренной мощности по СВРК, а АРМ по БИК, что вносит существенную разницу между уставкой АРМ в режиме -Н- и уставкой РОМ. Результатом указанных факторов является заметная разница в уставке АРМ после окончательного завершения работы РОМ между ВОС пусковой загрузки (39...40 %) и ЕОС стационарной загрузки (36...37 %) (рис. 47).

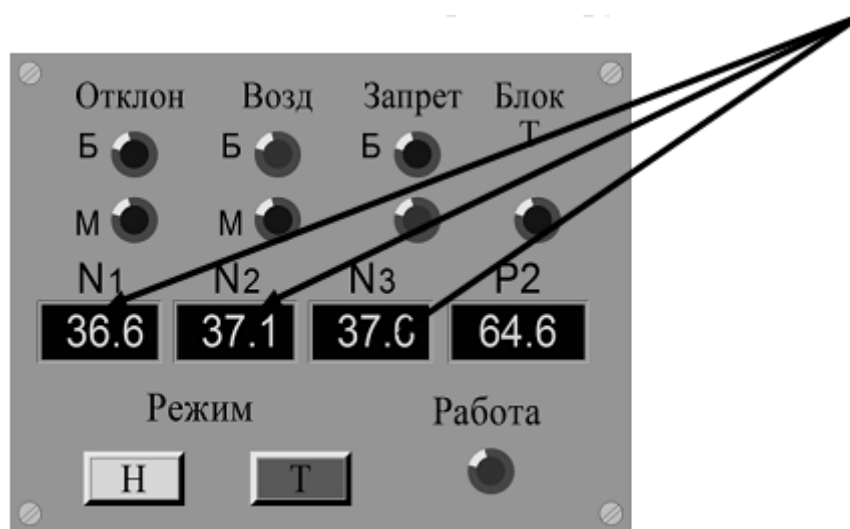


Рис. 47

Для конца кампании стационарной загрузки при данном нарушении, где существенно сильнее проявляются обратные отрицательные связи по мощности и другая расстановка топлива в активной зоне по сравнению с ВОС пусковой загрузки нужна другая стратегия движения групп ОР СУЗ после разгрузки энергоблока до 40 % от номинала. Это вызвано не только более существенными обратными отрицательными связями по мощности, но и тем, что коэффициенты неравномерности для стационарных загрузок больше, чем для начала кампании пусковой загрузки (используются улучшенные схемы перегрузок топлива для уменьшения утечки нейтронов из зоны и потока быстрых нейтронов на корпус реактора, такие схемы всегда приводят к большой неравномерности энерговыделения по объему активной зоны). К тому же, для выгоревшего топлива запасы по локальной мощности становятся, как правило, меньше. При этом запаса по бору практически нет. В этом случае для создания запаса по бору, его нужно вводить, не дожидаясь отравления зоны ксеноном для извлечения группы УРБ из зоны. Ниже (рис. 48) показано поведение параметров реактора в момент работы автоматики (УРБ и РОМ) после отключения ТГ.

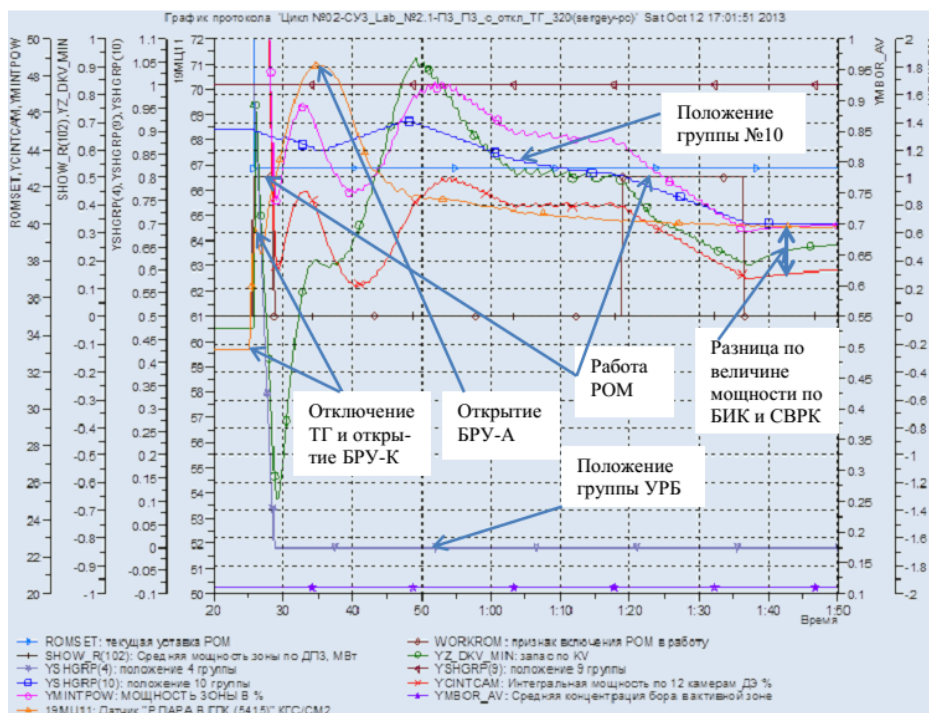


Рис. 48

Действия после завершения работы РОМ:

1) Нужно перейти на формат К_НВ113 по кнопке НВ на серой закладке для 1й группы форматов. Снимаем мигание сигнализации. Далее, деблокируем ПЗ-1(АЗ-3), ПЗ-2 (АЗ-4) и УПЗ (УРБ), нажав на кнопки, указные ниже (рис. 49).

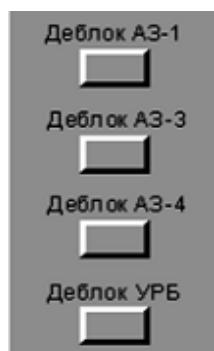


Рис. 49

Отключаем АРМ и снижаем мощность до 37 % по АКНП, затем происходит обратное включение АРМ и его переключение сразу на работу группы УРБ. Делается это нажатием кнопки с номером 4 (для проекта 320) или с номером 1 (для проекта 338) на панели 1ПГУ, предназначенной для автоматической работы групп ОР СУЗ (рис. 50).

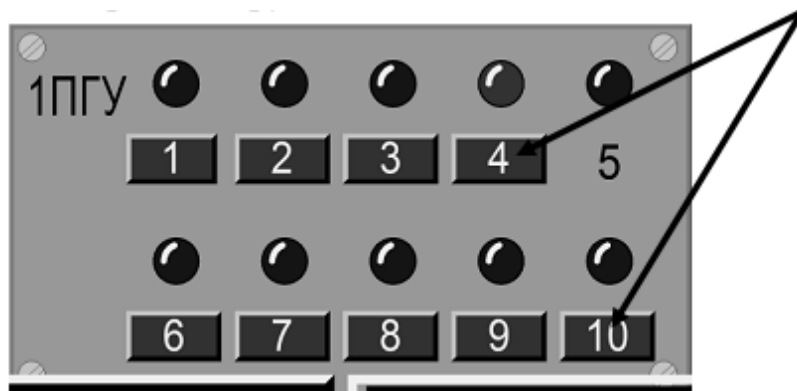


Рис. 50

2) Далее в связи с большим температурным эффектом реактивности при том же примерном интегральном отравлении зоны ксеноном для ЕОС стационарной загрузки для ускорения извлечения группы УРБ из зоны необходимо вводить концентрат бора. Так и делается для ЕОС (как для 320 проекта, так и для 338 проекта). Задается степень открытия задвижки ТВ30S16 величине 0,02 на тракте от бака с концентратом бора в контур системы подпитки-продувки. Ускорение размешивания бора устанавливается равным 10, а ускорение процессов в зоне не включается, оно равно 1,3)

3) После включения подачи бора в контур перейти на формат К_ТКGSYS (по кнопке ТКГ) и там найти задвижку ТК82S02, перевести её в дистанцию и открыть до положения, при котором достигается расход продувки 28 т/ч, расход подпитки с помощью регулятора КД увеличиться до 16-18 т/ч.

4) Во время извлечения группы УРБ 10-я группа в момент прекращения увеличения запаса по КV поднимается до 75 %, что замедляет тенденцию к уменьшению запаса по КV. Затем во второй момент прекращения увеличения запаса по КV группу №10 поднимают ещё раз на 5 % до 80 %, выше 80 % группу не извлекать. При этом изменяется тенденция в поведении запаса по КV. Далее запас начинает увеличиваться. Это изменение объясняется перестройкой нейтронных полей и другой их зависимостью от глубины погружения группы ОР СУЗ для УРБ и рабочей управляющей группы на конец кампании.

5) При достижении концентрации бора в зоне > 0.4 г/кг выключить подачу бора (нужно закрыть задвижку ТВ30S16).

6) При извлечении группы УРБ на 55 % увеличение запаса по КV прекращается и нужно погрузить группу №9 на 80 % (разрешено Регламентом) для компенсации полного извлечения группы УРБ, чтобы сохранить конфигурацию нейтронных полей в зоне и запас по КV. Для этого выбирается на панели 2-ПГУ группа № 9 для ручного перемещения и опускается до 80 %. При этом АРМ вытаскивает группу № 4 до 62...65 %.

7) После погружения группы №9 на 80 % погрузить группу №10 на 70 %. При этом АРМ вытаскивает группу №4 до 72...75 %.

8) После погружения группы № 10 на 70 % открыть задвижку ТК70S11 и прикрыть задвижку ТК20S01 до 0,05, начать подавать дистиллят (рис. 51).

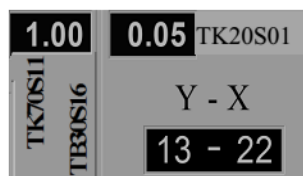


Рис. 51

9) Для ускорения извлечения группы УРБ ускорить процессы в зоне до 10 (ускоряется отравление ксеноном зоны).

10) При извлечении группы УРБ сразу отключить АРМ и убрать ускорение процессов в зоне и сделать его равным 1.

Рассмотренное поведение параметров и указанные действия по управлению показаны ниже на рис. 52.

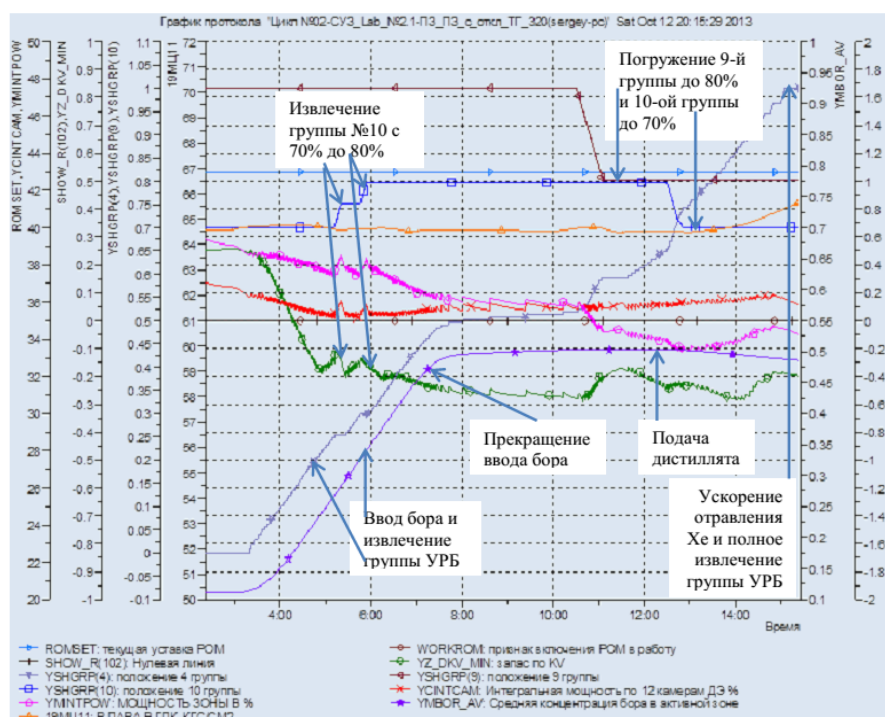


Рис. 52

11) Провести тарировку БИК, заблокировав СУЗ (можно не снимать блокировку до стабилизации параметров реактора во избежание ошибок при маневрировании группами и подачей дистиллята).

12) Включить ускорение процессов в зоне равным 5 и затем на формате нажать на кнопку «Включение режима расхол.», после чего начнется снижение давления во 2-м контуре с 65,5 ати до 63 - 63,5 ати при уставке 62 ати в задатчике регулятора, начнется снижение температуры теплоносителя на входе в зону и начинается подъем мощности реактора до с 34 % до 37,5 %. После стабилизации мощности и давления и после возникновения тенденции к снижению мощности снизить уставку в задатчике до 60 ати. Для этого задать в цифровике число 60 (рис. 53).

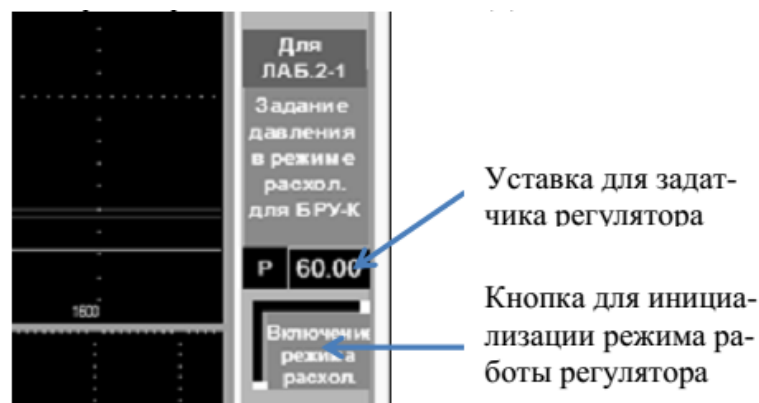


Рис. 53

После задания уставки, равной 60 ати давление во 2-м контуре стабилизируется на уровне 61,9 ати, а мощность возрастает до 40 % и снижается до 39,4...39,6 %. Провести тарировку камер, как было указано выше. Включить при мощности по БИК 39,4...39,7 % АРМ. При данном маневрировании может несколько измениться положения групп, но незначительно.

13) Далее ускорить размешивание дистиллята до 30...35 и меняя это ускорение стабилизировать параметры реактора при положениях групп № 10 и № 9, равных 70 % и 80 % соответственно. Не менять ускорение процессов в зоне (оно равно 5). Ниже показаны поведение параметров реактора и управляющие действия по сохранению запаса по KV и мощности на уровне 39...40 % (рис. 54).

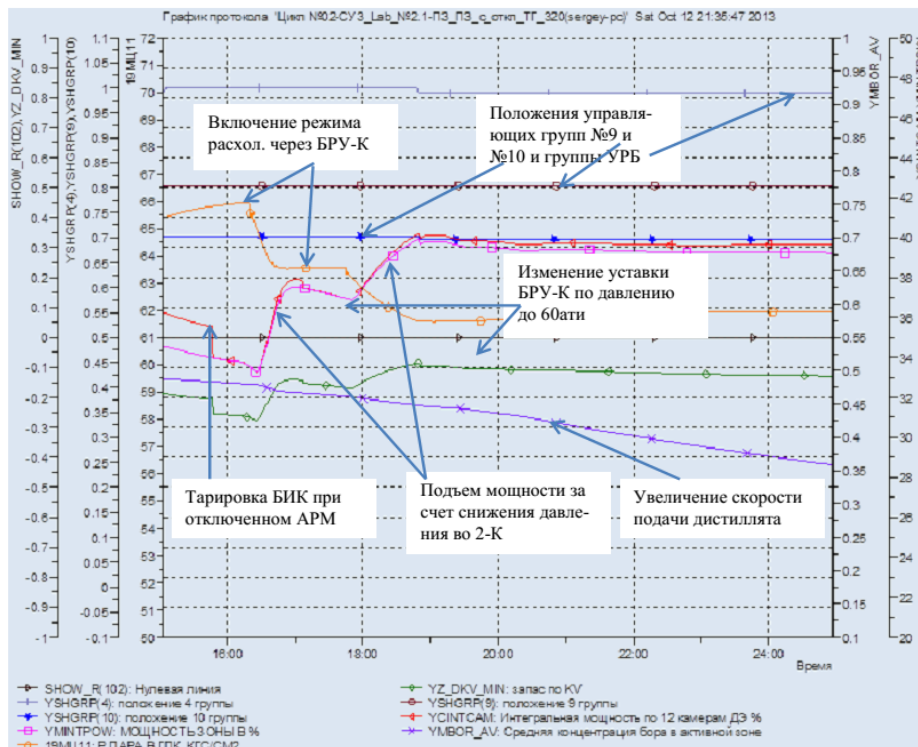


Рис. 54

14) Так как увеличивать скорость подачи бора за счет множителя ускорения размешивания больше 35 не рекомендуется, то для сохранения мощности

нужно будет маневрировать группами № 9 и № 10. Группой № 10 – между 70 % и 75 %, а группой № 9 – между 80 % и 81 %. Можно задействовать один центральный стержень в составе группы № 9, который можно индивидуально перемещать по всей высоте реактора. Для удержания мощности его нужно поднимать, для снижения мощности опускать в пределах от 100 % до 80 %. Ниже на рисунке показано размещение указанного стержня в зоне и как его перемещать с помощью ключа для индивидуального перемещения (рис. 55). Показано положение 100 %, хотя все остальные стержни данной группы имеют положение 80 %.

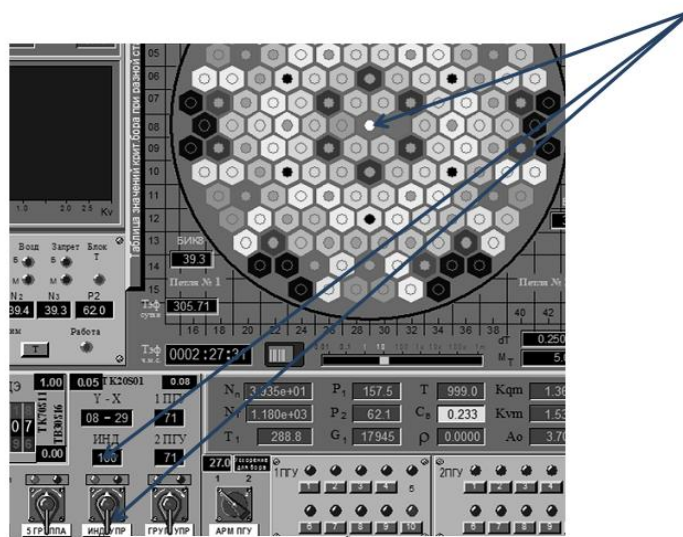


Рис. 55

Маневрирование группами и бором имеет две фазы. На первой фазе в течение примерно одного часа модельного времени, когда происходит отравление зоны ксеноном поднимаем группу № 10 до 74...75 % и центральный стержень (координаты стержня 08...29) до 100 %. Затем, когда начинается разотравление зоны, возвращаем группу №10 на 70 % и начинаем понемногу добавлять концентрат бора. Задается степень открытия задвижки ТВ30S16, равная 0,01 на тракте от бака с концентратом бора в контур системы подпитки-продувки и до увеличения в узле подпитки концентрации бора до 1,0...1,1. Затем, задвижку нужно закрыть. Когда опять мощность начнет увеличиваться, то снова открыть эту задвижку до увеличения в узле подпитки концентрации бора до 1,0...1,1. Затем её закрыть. И так продолжать до 1 часа 30 минут модельного времени. Если продолжить данные действия в течение нескольких часов, то можно выйти на стационарное критическое значение бора в зоне. Но это не является целью этой работы. Цель данной работы найти средства стабильного удержания мощности установки на уровне 39...40 % при сохранения запаса по KV.

Ниже на рис. 56 показаны поведение параметров реактора и управляющие действия во время смены одной фазы процесса с нестационарным отравлением ксеноном на другую фазу с нестационарным разотравлением ксеноном.

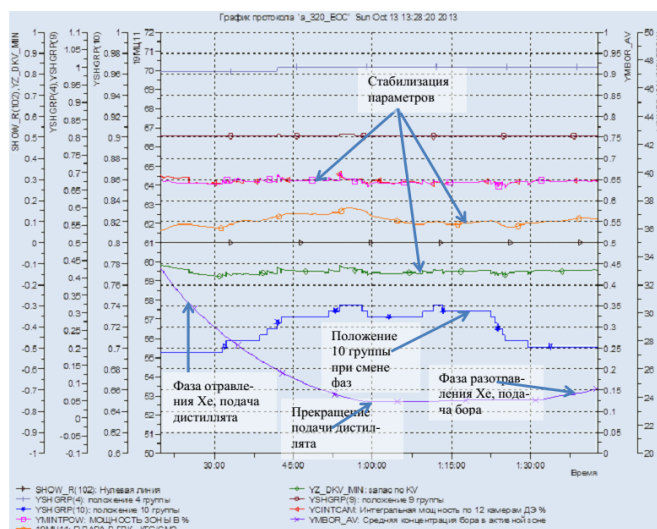


Рис. 56

Далее загружается то же самое состояние для ЕОС стационарной загрузки и включается режим работы АКЭ (АКПМ). Действия пользователя по управлению при работе АКЭ не совсем такие же, что без работы АКЭ. После разгрузки энергоблока при отключении ТГ мощность реактора равна 41 %, и её в начальный момент необходимо снизить до 37 %, чтобы обеспечить запас по KV. Поэтому, после отработки РОМ и включения АРМ, АРМ отключается, ускоряется моделирование процессов в зоне до 10 раз, и мощность снижается до 36...37 %. Затем ускорение моделирования процессов в зоне выключается и все действия такие же, что и для случая без работы АКЭ (кроме нормировки камер по мощности, так этого не нужно при работе АКЭ), а именно:

1) отключение АРМ и снижение мощности до 37 % по АКНП, затем обратное включение АРМ и его переключение сразу на работу группы УРБ.

2) Далее задается степень открытия задвижки ТВ30S16 величине 0,02 на тракте от бака с концентратом бора в контур системы подпитки-продувки. Ускорение размешивания бора устанавливается равным 10, а ускорение процессов в зоне не включается, оно равно 1.

3) После включения подачи бора в контур перейти на формат K_TKGSYS (по кнопке TKG) и там найти задвижку ТК82S02, перевести её в дистанцию и открыть до положения, при котором достигается расход продувки 28 т/ч, расход подпитки с помощью регулятора КД увеличиться до 16...18 т/ч.

4) Во время извлечения группы УРБ 10-я группа в момент прекращения увеличения запаса по KV поднимается до 77 %, что замедляет тенденцию к уменьшению запаса по KV. Затем во второй момент прекращения увеличения запаса по KV группу №10 поднимают ещё раз на 3 % до 80 %, выше 80 % группу не извлекать.

5) При достижении концентрации бора в зоне $> 0,4$ г/кг выключить подачу бора (нужно закрыть задвижку ТВ30S16).

6) При извлечении группы УРБ на 52...55 % увеличение запаса по KV прекращается и нужно погрузить группу № 9 на 80 % (разрешено Регламентом).

Для этого выбирается на панели 2-ПГУ группа № 9 для ручного перемещения и опускается до 80 %. При этом АРМ вытаскивает группу № 4 до 62...65 %.

7) После погружения группы № 9 на 80 % погрузить группу № 10 на 70 %. При этом АРМ вытаскивает группу № 4 до 70...72 %.

8) После погружения группы № 10 на 70 % открыть задвижку ТК70S11 и прикрыть задвижку ТК20S01 до 0,05, начать подавать дистиллят.

9) Для ускорения извлечения группы УРБ ускорить процессы в зоне до 10 (ускоряется отравление ксеноном зоны).

10) При извлечении группы УРБ сразу отключить АРМ и убрать ускорение процессов в зоне и сделать его равным 1.

11) Включить ускорение процессов в зоне равным 5 и затем на формате нажать на кнопку «Включение режима раскол.», после чего начнется снижение давления во 2-м контуре с 65,5 ати до 63...63,5 ати при уставке 62 ати в задатчике регулятора, начнется снижение температуры теплоносителя на входе в зону и начинается подъем мощности реактора до с 36 % до 39 %. После снижения мощности до 38 % уменьшить уставку в задатчике до 61 ати и затем через 10...15 секунд до 60 ати. Это отличие от режима работы без АКЭ, так как без АКЭ мощность реактора меньше на 2 % мощности в случае работы АКЭ. При повышенной мощности можно нарваться на РОМ при снижении давления. Поэтому снижение происходит в два этапа. Для этого задать в цифровике сначала число 61, а затем через 10...15 секунд 60. При этом за временем лучше не следить. Контролировать нужно поведение мощности. Когда мощность после снижения мощности до 61 ати начинает снижаться нужно задать 60 ати (рис. 57). Время при этом может быть заметно разным от 10 до 30 секунд. Это не важно.

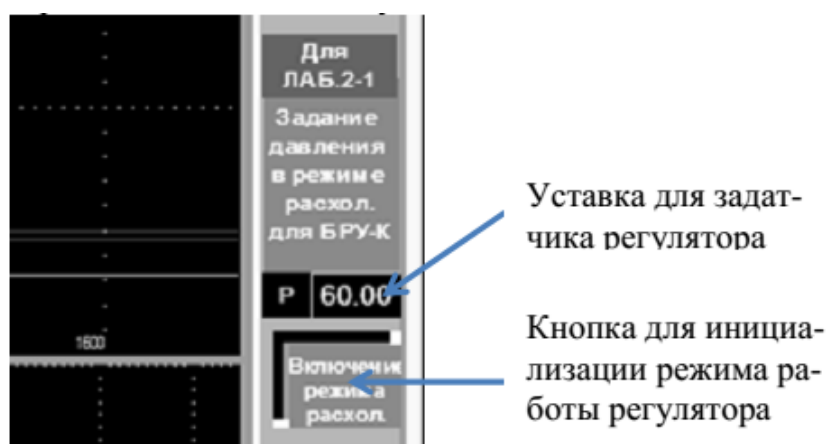


Рис. 57

После задания уставки, равной 60 ати давление во 2-м контуре стабилизируется на уровне 62 ати, а мощность возрастает до 41 % и снижается до 39,6...39,8 %. Перед включением АРМ проверить какая группа на панели 1-ПГУ включена на АРМ, если не 10-я группа, то переключить АРМ на 10-ю группу. При мощности по БИК 39,6...39,8 % включить АРМ. При данном маневрировании может несколько измениться положения групп, но незначительно.

12) Далее ускорить размешивание дистиллята до 30...35 и меняя это ускорение стабилизировать параметры реактора при положениях групп № 10 и № 9, равных 70 % и 80 % соответственно. Не менять ускорение процессов в зоне (оно равно 5).

13) Так как увеличивать скорость подачи бора за счет множителя ускорения размешивания больше 35 не рекомендуется, то для сохранения мощности нужно будет маневрировать группами № 9 и № 10. Группой №10 – между 70 % и 75 %, а группой № 9 – между 80 % и 81 %. Можно задействовать один центральный стержень в составе группы № 9, который можно индивидуально перемещать по всей высоте реактора. Для удержания мощности его нужно поднимать, для снижения мощности опускать в пределах от 100 % до 80 %.

Ниже на рис. 58 показано поведение параметров во время наиболее ответственного временного участка режима, когда происходит рост мощности за счет снижения давления во 2-м контуре при отключенном АРМ в случае работы системы АКЭ и без неё. Есть отличия в поведении параметров при одинаковых управляющих действиях (правда эти действия проведены в разные моменты времени), но результат этих действий в обоих случаях приводит к одинаковому поведению параметров по мощности и запасу по KV после их стабилизации.

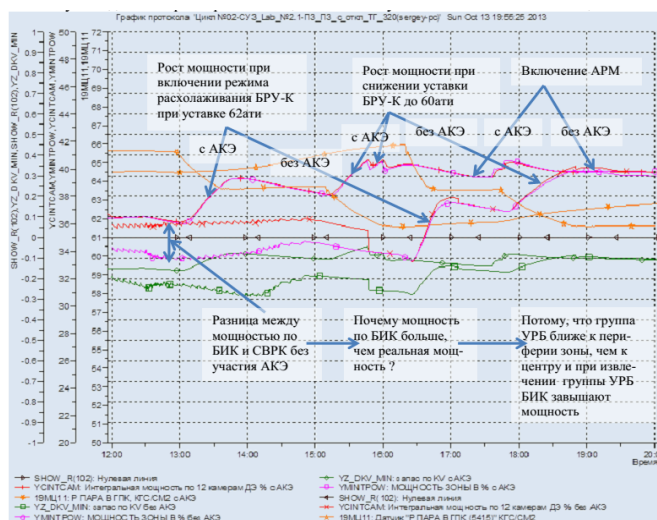


Рис. 58

Ниже на рис. 59 показано поведение параметров реактора при смене фазы процесса с отравлением активной зоны ксеноном фазой процесса с разотравлением ксеноном, когда подача дистиллята сменяется подачей концентрата бора при полной стабилизации параметров реактора, а также показано управляющие действия по поддержанию баланса реактивности за счет перемещения группы ОР СУЗ №10 во время смены фаз. На рисунке показаны изменения параметров при работе системы АКЭ и без неё. Принципиальных отличий на этой стадии процесса в поведении параметров нет. Отличия наблюдаются только в начальный момент времени, когда при работе АКЭ блок разгружается до 41 % и мощность нужно снизить для обеспечения запаса по KV и в момент повышения мощности при отключении АРМ и снижения давления во 2-м контуре, хотя все

управляющие действия одни и те же, кроме тарировки БИК при фиксации оптимального расположения рабочих групп ОР СУЗ: положение 10-й группы – 70 %, положение 9-й группы – 80 %.

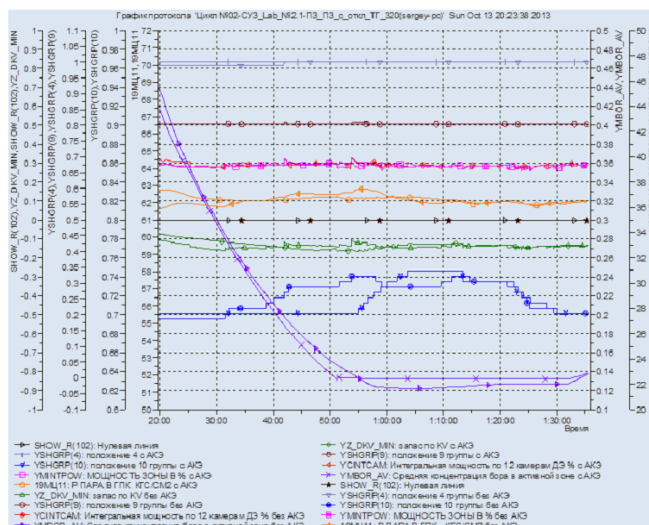


Рис. 59

После завершения данного этапа лабораторной работы, связанного с отключением ТГ нужно провести обработку результатов протоколирования. Описание обработки результатов по данному этапу приведено в следующем пункте. Важно их проделать, прежде чем перейти к следующему этапу лабораторной работы. Также нужно не забыть ввести комментарии на дополнительные траектории в протоколе (рис. 60).

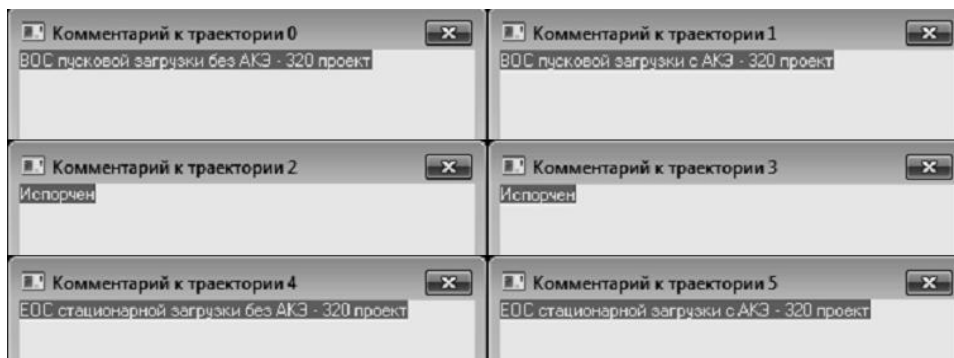


Рис. 60

Отключение ТГ для ВОС пусковой загрузки по 338 проекту (для другой группы студентов).

Все действия до и после отключения ТГ и при первом срабатывании РОМ такие же, что и для проекта 320. Особенность данного состояния заключается в том, что значения мощности по БИК заметно меньше мощности по СВРК из-за искажения показаний БИК при падении группы УРБ. Однако уставки для АРМ при выключении РОМ образуются из величины ROM_TPOWER, которая практически равна мощности по СВРК, которая гораздо больше значения мощности по камерам, и в уставки АРМ залетают значения (39 %, 41 %, 40 %), которые

выше текущей мощности по БИК. После выключения РОМ после стандартных действий по деблокировке СУЗ, отключить АРМ и сразу далее включить опять, дождаться выхода 10 группы на 90%...100%, затем переключить АРМ на 1 - группу и ускорить работу модели в 10 раз (рис. 61).



Рис. 61

Первый этап действий после срабатывания РОМ и снижения мощности по камерам до 33 %: переключение АРМ на группу УРБ, подъем группы № 10 до 90 % и подъем группы УРБ до 11 % при компенсации отравления зоны ксеноном (рис. 62, 63)

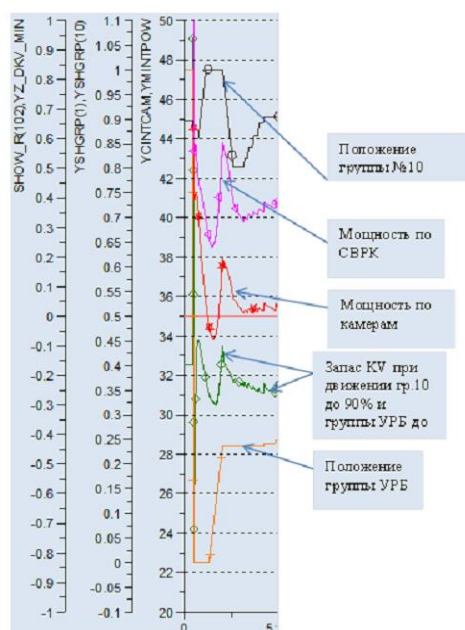


Рис. 62

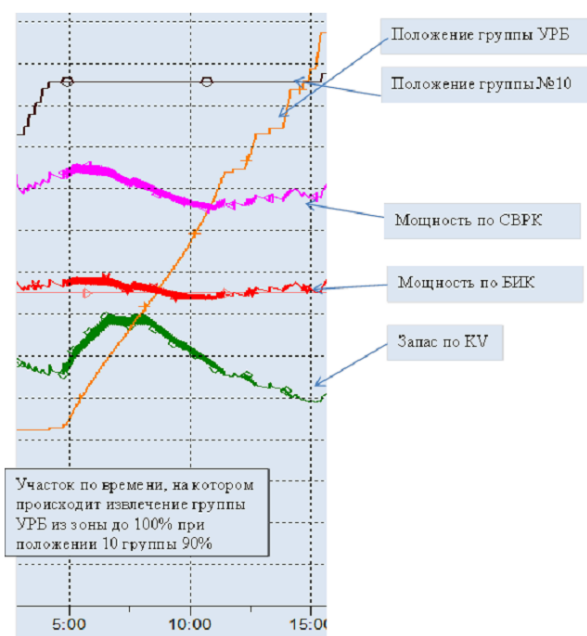


Рис. 63

При достижении группы величины 70 % извлечения нужно подключить подачу дистиллята для разбавления воды в 1-м контуре для компенсации отравления нестационарным ксеноном. Для этого нужно открыть задвижку ТК70S11 полностью (1), прикрыть задвижку ТК10S06 до 0,1 и ускорить размешивание дистиллята с водой в 1-м контуре с 1 до 10 раз. При достижении 90 % извлечения нужно убрать ускорение процессов в зоне до 1 и дождаться прекращения извлечения группы № 10 (92...94 %, но может выскочить и до 100 %). Затем выключить АРМ, нормировать мощность по камерам, довести мощность до 40 %, при этом опустить группу № 10 до 70...75 %. После этого включить АРМ на группу № 10.

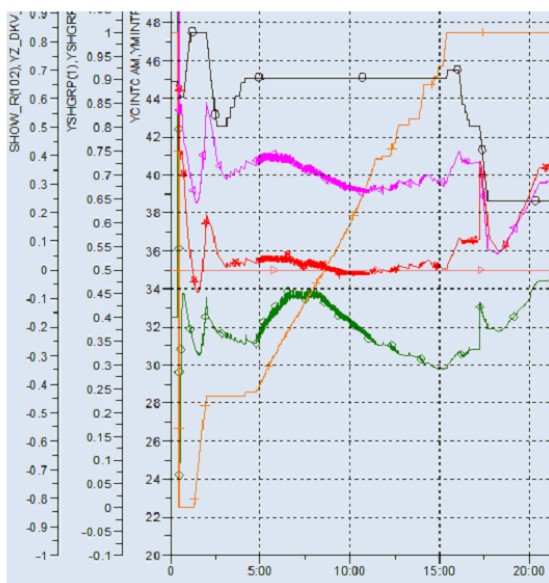


Рис. 64

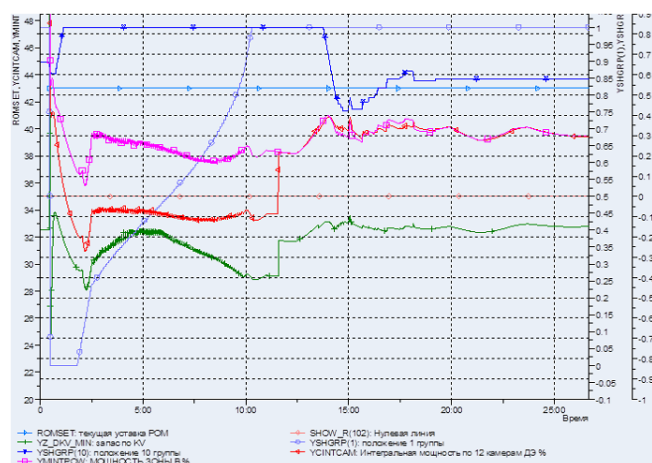


Рис. 65

Далее маневрированием множителями для ускорения процессов в зоне и в 1-м контуре добиваемся стабильного состояния ЯЭУ при положении 10 группы ОР СУЗ около 85 %. Выше на рисунке показан пример успешного завершения работы при отключении ТГ для ВОС пусковой загрузки по 338 проекту (рис. 64, 65). Здесь приведены временные тренды по мощности и запасу по KV на первом фазе при нестационарном отравлении зоны ксеноном. На этом первая фаза работы выполнена. Она занимает около 25...30 мин модельного времени и около 2,5 часов реальной работы энергоблока. Астрономическое время работы при аппаратном ускорении в 3 раза занимает около 8...10 мин. Данная фаза работы отмечается тем, что достигнута стабилизация параметров на стадии отравления зоны ксеноном и ввода дистиллята в контур. Если турбогенератор готов к пуску к этому времени, то на этой стадии и будет подключена турбина, но это не является целью данной работы. Важно отметить, что вся аварийная сигнализация снята и блок находится в условиях безопасной эксплуатации. Если турбогенератор не готов к пуску в данный момент времени, то начинается вторая фаза 1-го этапа лабораторной работы, а именно переход от стадии отравления ксеноном зоны к стадии разотравления. В процессе маневрирования подачи дистиллятом в контур при каждом новом меньшим значении ускорения размешивания дистиллята наблюдается смена тенденции к снижению мощности реактора на тенденцию её возрастания, при этой смене уменьшается значение ускорения размешивания на единицу (10→9→8→7→6→5→4→3→2→1). Уменьшение происходит до тех пор, пока не произойдет смена тенденции возрастания на тенденцию уменьшения. При невозможности уменьшать ускорение размешивания (=1), закрывают подачу дистиллята (задвижка ТК70S11 закрывается полностью) и открывают полностью задвижку ТК20S01 на линии продувки. При этом мощность продолжает расти и группа № 10 погружается до 65...70 %. В этом момент открывается подача бора в контур (открывается задвижка на

0,01...0,03) и начинается маневрирование подачей бора в контур, ускорение процессов в зоне остается по-прежнему равным 10. При этом положение группы №10 может несколько меняться от 75 % до 80 %. Оптимальное положение группы при раз отравлении зоны может меняться и составлять величину от 75 % до 80 % в связи с перестройкой нейтронных полей из-за изменения распределения ксенона по объему зоны, но этого нужно долго ждать и не является обязательным для выполнения работы. О перестройке полей лучше всего судить по поведению аксиального офсета. При его увеличении (так определен офсет в модели: низ – вверх) нужно группу №10 постараться немного погрузить в интервале 75...81% за счет уменьшения скорости ввода бора в контур. При уменьшении офсета нужно группу №10 постараться немного поднять в интервале 75...81% за счет увеличения скорости ввода бора в контур.

Работа может быть завершена на 80...90 минуте модельного времени (астрономическое время составляет величину порядка получаса при аппаратном ускорении, равном 3). Ниже на рисунке показано поведение параметров реактора при смене отравления раз отравлением ксеноном. Запас по KV имеется. Условия нормальной эксплуатации обеспечены, реактор на 39,5 % мощности, прошло около 10 часов реального времени работы энергоблока, можно подключать ТГ, если он в порядке. Само подключение является предметом отдельной лабораторной работы. Все действия по маневрированию ввода и вывода бора и перемещения группы № 10 при сохранении запаса по KV показаны на рисунке ниже (рис. 66).

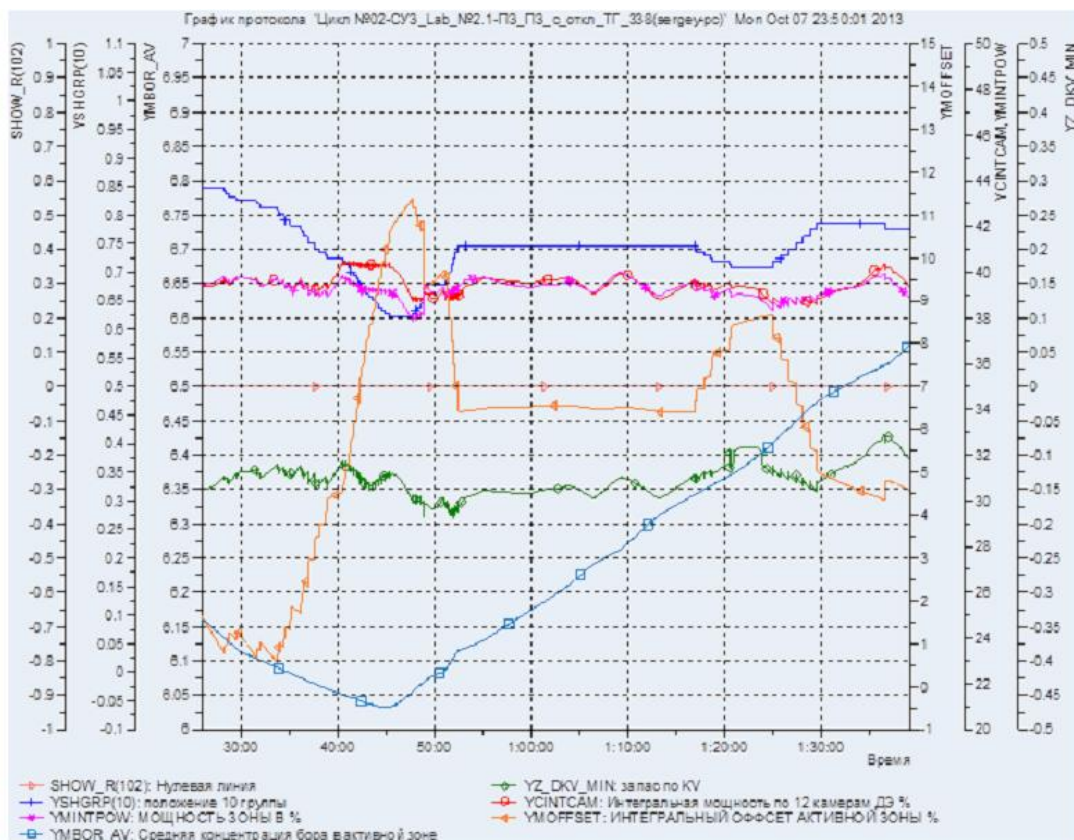


Рис. 66

Если продолжить работу модели энергоблока при этих параметрах, то установка будет выходить на стационарное отравление ксеноном при мощности 39,5 % и положении 10-й группы от 75 % до 80 % высоты активной зоны. Критическая концентрация бора порядка 7 г/кг, больше, чем при номинальном режиме. (В отчете нужно объяснить, почему это так и почему в начальный момент критическая концентрация меньше, чем на номинальном режиме). Ниже на рис. 67 показаны параметры реактора и действия по управлению блоком при выходе на стационарное отравление ксеноном для варианта работы блока без АКЭ. Перемещение группы №10 происходит между 75 % и 80 % и так, чтобы удерживать запас по KV, а сигнал к действию для движения группы поведение аксиального оффсета. Концентрация бора стремится к критической при 40 % мощности и равной величине порядка 7,0 г/кг. На рисунке показан диапазон модельного времени от 1 часа 20 минут до 2 часов 40 минут, что составляет порядка 14 часов реального времени работы энергоблока (ускорение процессов в зоне всегда было равным 10). До этого блок проработал около 12 часов. Таким образом, здесь приведены результаты моделирования протекания режима на блоке в течение суток и более. Еще раз нужно повторить, что для выполнения работы достаточно 80...90 минут модельного времени или 12...15 часов реального времени работы энергоблока (астрономическое время равно 8...12 минут при аппаратном ускорении в 3 раза, для студентов рекомендуется аппаратное ускорение равное 2, тогда на моделирование одного варианта уйдет 12...18 минут).

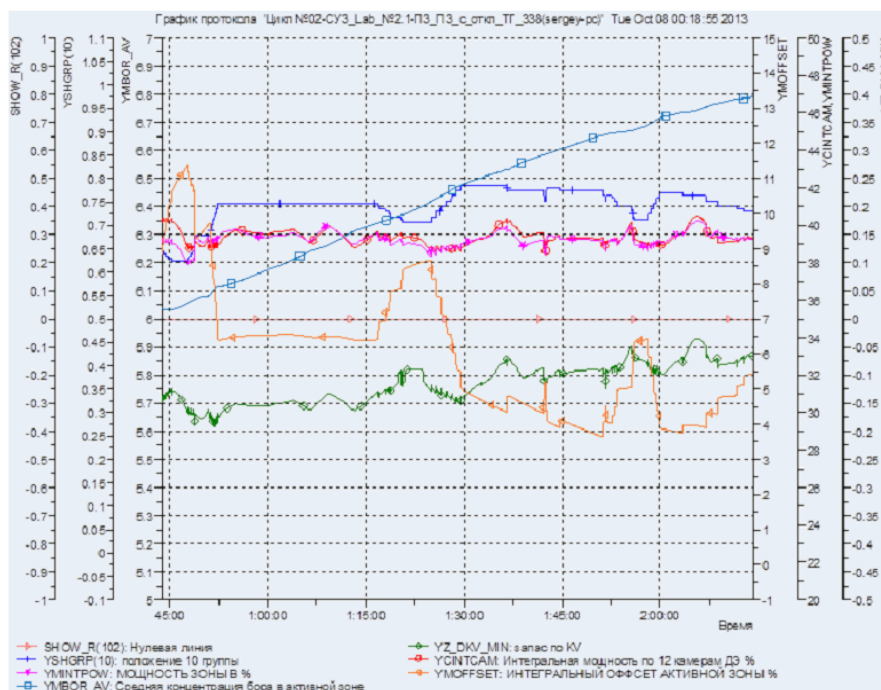


Рис. 67

Далее переходим к 2-му варианту 1-го этапа, загружается то же состояние и повторяется задание с отключением ТГ при включении в работу системы АКЭ. РОМ в данном случае срабатывает один раз, так как все мощности согла-

сованы между собой. После завершения работы РОМ нужно отключить АРМ и снизить мощность до 39,5...40 %, затем включить АРМ и продолжить работу в соответствии с инструкцией для выполнения работы для данного состояния без включения АКЭ. Все остальные действия аналогичны, описанным выше. Не нужно только нормирования мощности по камерам при извлечении группы УРБ. Стабильное состояние выглядит очень похожим на стабильное состояние реактора для случая моделирования процесса без работы системы АКЭ. Исключение составляет начальный этап после работы РОМ, так как для случая работы АКЭ мощность по СВРК заметно выше мощности в случае работы блока без АКЭ. Ниже показаны изменения основных параметров активной зоны на всем временном интервале до их стабильного состояния после разгрузки блока без работы АКЭ и при работе АКЭ на обоих фазах выполнения работы: при отравлении ксеноном зоны и её разотравлении, компенсации отравления выводом бора из контура и компенсации разотравления зоны вводом бора (рис. 68).

Рис. 68

Отключение ТГ для ЕОС стационарной загрузки по 338 проекту (для другой группы студентов).

которые существенно по модулю больше для ЕОС стационарной загрузки по сравнению с ВОС пусковой загрузки. Из-за запаздывания в алгоритме РОМ определения мощности по СВРК срабатывает первые три раза РОМ. Дело в том, что при падении группы УРБ мощность по БИК достигает значения ниже 41 % за несколько секунд, а в измерительном канале РОМ еще нет никакого значения тепловой мощности (из-за запаздывания на 20...30 с), в данном случае РОМ работает по мощности, взятой из БИК. 4 и 5 раз РОМ срабатывает из-за запаздывания и обратных отрицательных связей (рис. 69).

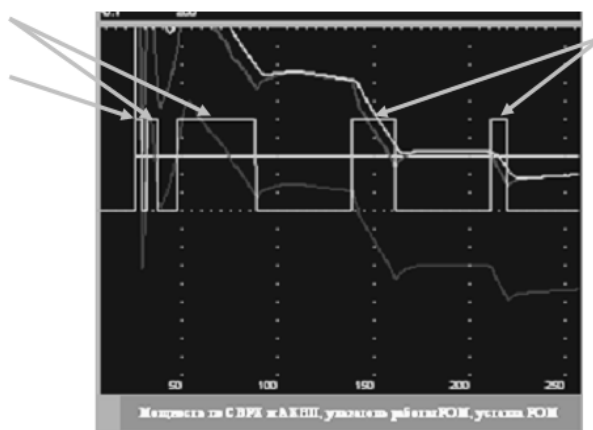


Рис. 69

Без работы АКЭ при переключении с РОМ на АРМ происходит существенное изменение в алгоритмах измерения тепловой мощности реактора. РОМ использует для сравнения с уставкой значение измеренной мощности по СВРК (при условии, что это значение не сильно превышает значение мощности по БИК), а АРМ по БИК, что вносит существенную разницу между уставкой АРМ в режиме «Н» и уставкой РОМ. Чем больше переключений между АРМ и РОМ, тем больше вносится искажений в значениях мощности по СВРК и АРМ (каждый запуск РОМ это дальнейшее погружение ОР СУЗ и ещё большее искажение в мощности по БИК). Результатом указанных факторов является существенная разница в уставке АРМ после окончательного завершения работы РОМ (при повторных включениях) между ВОС пусковой загрузки и ЕОС стационарной загрузки (рис. 70).

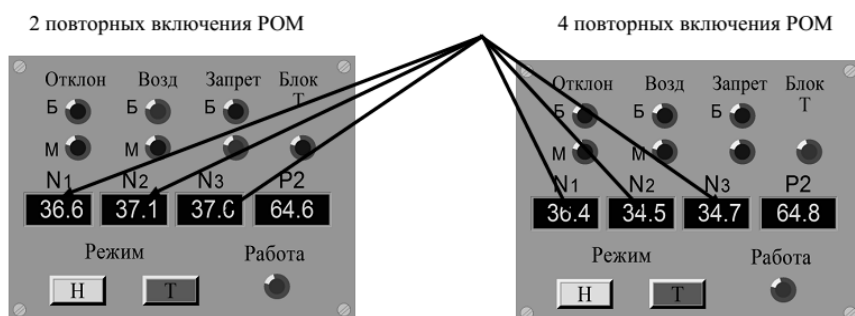


Рис. 70

Для конца кампании стационарной загрузки при данном нарушении, где существенно сильнее проявляются обратные отрицательные связи по мощности и другая расстановка топлива в активной зоне по сравнению с ВОС пусковой загрузки нужна другая стратегия движения групп ОР СУЗ после разгрузки энергоблока до 40 % от номинала. Это вызвано не только более существенными обратными отрицательными связями по мощности, но и тем, что коэффициенты неравномерности для стационарных загрузок больше, чем для начала кампании пусковой загрузки (используется улучшенные схемы перегрузок топлива для уменьшения утечки нейтронов из зоны и потока быстрых нейтронов на корпус реактора, такие схемы всегда приводят к большой неравномерности энерговыделения по объему активной зоны).

Ниже на рис. 71 показан участок режима при срабатывании защитной автоматики (УПЗ и РОМ, РОМ срабатывает пять раз). Запаса по KV нет.

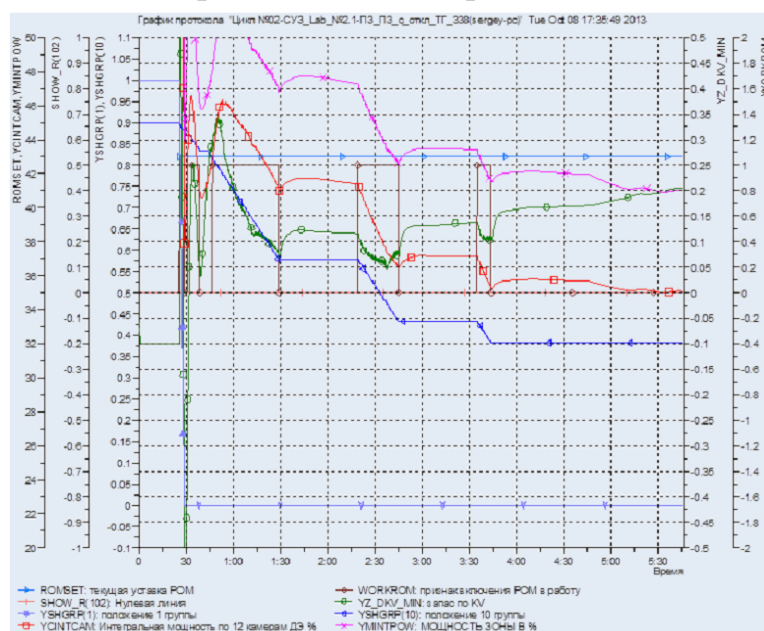


Рис. 71

После прекращения работы РОМ и устойчивого переключения на работу АРМ, нужно снять сигнализацию СУЗ и деблокировать СУЗ, затем отключить АРМ, дождаться снижения средней мощности по камерам до 35 % (можно этот процесс кратковременно ускорить, увеличив ускорение процессов в зоне до 10, затем после достижения 35 % убрать ускорение до 1). Далее начать подавать концентрат бора из ТК в 1-й контур, не ускорять процессы в активной зоне, а скорость размешивания бора с водой 1-го контура можно увеличить за счет ус-

корения боромассообмена до 10. Дождаться выхода 10 группы до 60 %, затем переключить АРМ на группу УРБ (1-ю группу). В процессе выхода группы № 10 на высоту 60 % на формате К_ТКСYS перевести регулятор ТК80S01 в дистанцию и приоткрыть задвижку до получения расхода продувки, равного 28 т/ч. Начинается уменьшаться превышение KV.

При изменении тенденции в поведении KV нужно обратно переключить АРМ на группу №10. Затем при смене тенденции переключит АРМ на 1-ю группу. Ждать пока 1-я группа не выйдет на 70 %. 10 группа должна быть поднята с 60 % на высоту 80 %, не выше. Далее все ускорения убрать до 1. Выбрать на панели 2-ПГУ для ручного регулирования 9-ую группу и опустить её до момента извлечения группы УРБ на 100 % (по Регламенту группу УРБ нужно извлечь из зоны не более чем в течение трех часов, а группу № 9, являющуюся управляющей группой, можно погрузить на небольшую величину – на 10...25 %). Положение 9 группы при этом будет от 72 % до 74 %. В процессе извлечения группы УРБ нужно при достижении борной кислоты в зоне величины больше 1,0 г/кг выключить подачу концентрата бора и поставить группу № 10 в положение 70 %. Ниже на рис. 72 описанные выше действия проиллюстрированы.

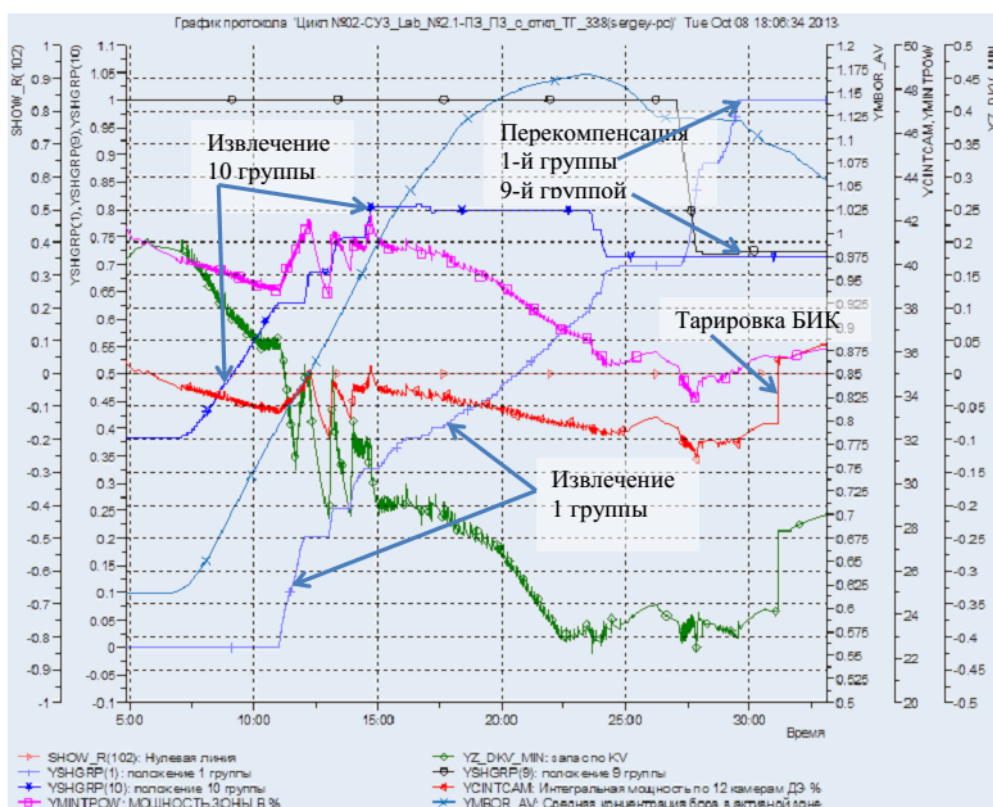


Рис. 72

Результатом выше описанных действий является возникновение запаса по KV. После перекомпенсации групп нужно отключить АРМ, тарировать камеры, как описано выше для вариантов работы без АКЭ, далее ускорить размешивание дистиллята до 20 и довести мощность до 39,5 %. При достижении 39,5 %

мощности включить АРМ и довести ускорение процессов в зоне до 10. Далее маневрированием значением множителя для ускорения размешивания бора или дистиллята в контуре добиваемся стабилизации запаса по KV при полученных положениях групп ОР СУЗ. На этом первая фаза работы при отравлении ксеноном зоны завершена. Далее начинается переход ко 2-й фазе работы на данном этапе, а именно к смене процесса отравления зоны ксеноном процессом её разотравления с выходом на равновесное значение концентрации ксенона в зоне при мощности, равной 39,5 %. Ниже показан участок стабилизации параметров реактора на 1-й фазе при выводе бора из контура (рис. 73).

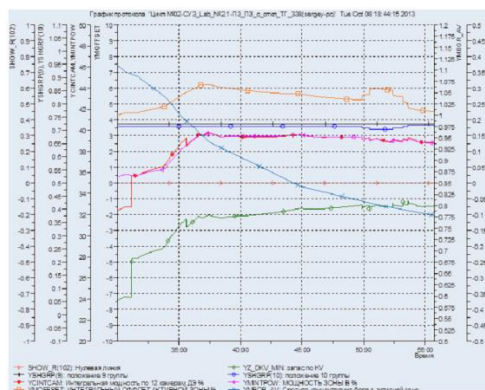


Рис. 73

Далее начинается вторая фаза 1-го этапа лабораторной работы, а именно переход от стадии отравления ксеноном зоны к стадии разотравления. В процессе маневрирования подачей дистиллятом в контур при каждом новом меньшим значении ускорения размешивания дистиллята наблюдается смена тенденции к снижению мощности реактора на тенденцию её возрастания, при этой смене уменьшается значение ускорения размешивания ($20 \rightarrow 10 \rightarrow 5 \rightarrow 4 \rightarrow 3 \rightarrow 2 \rightarrow 1$). Уменьшение происходит до тех пор, пока не произойдет смена тенденции возрастания на тенденцию уменьшения. При невозможности уменьшать ускорение размешивания (равно 1), закрывают подачу дистиллята (задвижка TK70S11 закрывается полностью) и открывают полностью задвижку TK20S01 на линии продувки. При этом мощность продолжает расти и группа № 10 погружается до 70 %. В этот момент открывается подача бора в контур (открывается задвижка на 0,02) и начинается маневрирование подачей бора в контур, ускорение процессов в зоне остается по-прежнему равным 10. При этом положение группы № 10 может несколько меняться от 70 % до 75 %. Оптимальное положение группы при разотравлении зоны может меняться и составлять величину от 70 % до 72 %. О перестройке полей лучше всего судить по поведению аксиального офсета. При его увеличении (так определен офсет в модели: низ – вверх) нужно группу №10 постараться немного погрузить в интервале 70...75 % за счет уменьшения скорости ввода бора в контур. При уменьшении офсета нужно группу № 10 постараться немного поднять в интервале 70...75 % за счет увеличения скорости ввода бора в контур. Работа может быть завершена на 80 минуте модельного времени (астрономическое время составляет величину порядка получаса при аппаратном ускорении, равном 3).

Ниже на рисунке показано поведение параметров реактора при смене отравления раз отравлением ксеноном. Запас по KV имеется. Условия нормальной эксплуатации обеспечены, реактор на 39,5 % мощности, прошло около 10 часов реального времени работы энергоблока, можно подключать ТГ, если он в порядке. Само подключение является предметом отдельной лабораторной работы. Все действия по маневрированию ввода и вывода бора и перемещения группы № 10 при сохранении запаса по KV показаны на рис. 74.

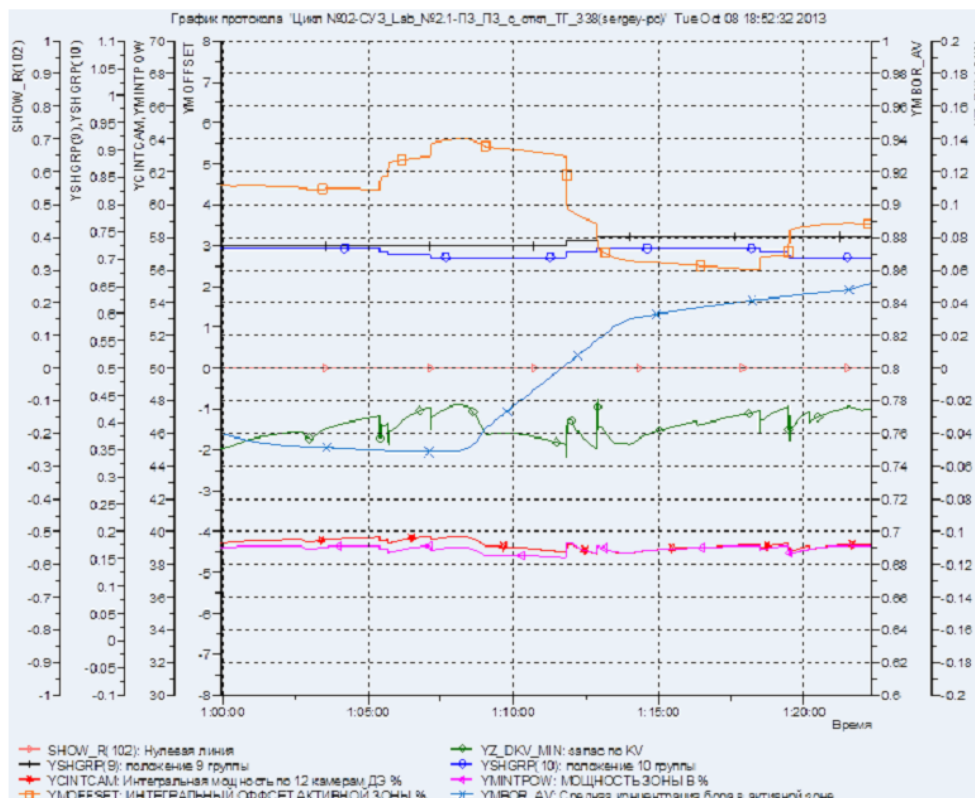
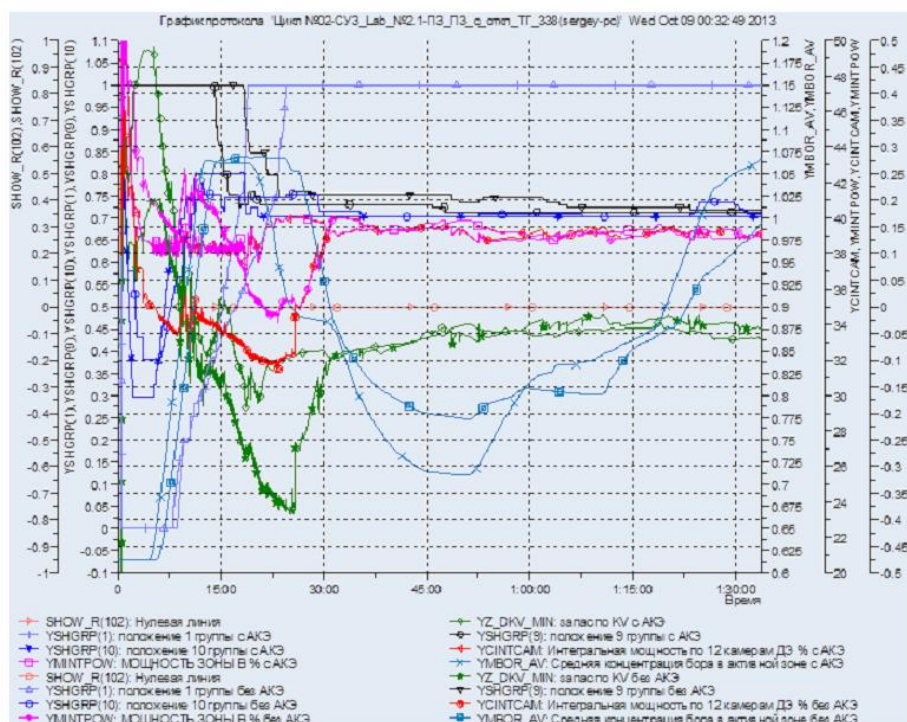


Рис. 74

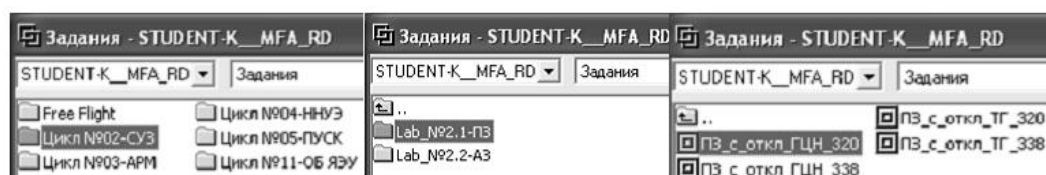
Аналогичную работу проводим для моделирования отключения ТГ для ЕОС стационарной загрузки по 338 проекту с включением в работу АКЭ (для другой группы студентов).

При выполнении 4-го варианта задания на 2-м этапе РОМ срабатывает один раз, как и должно быть. Все остальные действия те же самые, что и для работы без АКЭ. Результаты сравнения поведения мощности и запаса по KV, положения групп ОР СУЗ от времени при работе АКЭ и без неё показаны ниже на рис. 75. Отличие только в начальном участке, так РОМ разгружает реактор при работе АКЭ до 41 % по СВРК и АКНП и превышение KV несколько больше на переходном участке. Поведение остальных параметров очень схоже при работе АКЭ и без АКЭ.



Запас по KV примерно одинаков при работе АКЭ и без АКЭ после стабилизации параметров реактора. После снятия проблем, связанных с ТГ не нужно время для подъема мощности для того, чтобы пускать турбину, она уже равна 39,5 %.

Второй этап лабораторной работы №2.1 - Отключение двух смежных ГЦН. Преподаватель (или обучаемый) выбирает под управлением системы ПЗ нужный цикл и лабораторную работу и далее задание с отключением двух смежных ГЦН (рис.76).



Запускается задание. Можно повторить осмотр тех же форматов, что и для задания с отключением ТГ, открыть формат «Local_Par_Core» и разместить его всегда сверху, уменьшив его размер, чтобы не мешал управлению энергоблоком с нижних панелей на формате K_SUZSYS. Запускается модель, на 25 секунд отключаются два смежных ГЦН (3 и 4). В соответствии с технологическими защитами для данного нарушения по Техническому Регламенту срабатывает алгоритм УРБ и падает 1-я группа ОР СУЗ (для 338 проекта) или 4-я группа (для 320 проекта) на НКВ за 3...4 с. Реактор по мощности разгружается до величины порядка 40 % номинальной мощности. Это происходит за счет

включения в системе ПЗ РОМ, который опускает последовательно все группы, начиная с 10-й, до снятия сигнала ПЗ-1, а именно до снижения мощности ниже 43%...42%, зарегистрированной по СВРК и БИК. Сначала работа выполняется без участия системы АКЭ. На формате «НВ» видна вся сигнализация системы ПЗ, а именно ПЗ-1(АЗ-3) и ПЗ-2(АЗ-4), РОМ (действие ПЗ-1), УРБ. Реактор разгружается РОМ до 43%...42% . РОМ отключается и включается автоматически АРМ в режим «Н», а ЭГСР в режим «РД1». Разгрузка производится группой УРБ и погружением 10-ой группы на 30...70 % по высоте извлечения из зоны. Возможно повторное включение РОМ (и не один раз для конца кампании стационарных топливных загрузок) из-за срабатывания обратных связей. Ждем окончательного завершения действия ПЗ-1 и снятия сигнала РОМ. Контроль за этим проводится на 3 графике формата «Local_Par_Core» по сравнению значений ROM_TPOWER и ROMSET. Когда устойчиво величина ROM_TPOWER становится меньше ROMSET, то действие РОМ прекращено.

Нужно перейти на формат K_HB113 по кнопке НВ на серой закладке для 1-ой группы форматов. Снимаем мигание сигнализации. РОМ выключен, это видно на данном формате. Далее деблокируем ПЗ-1(АЗ-3), ПЗ-2(АЗ-4) и УПЗ(УРБ), нажав на кнопки, указные ниже: вся сигнализация по СУЗ и на технологической карте защит и блокировок (ТЗБ) гаснет, что означает, что реактор находится в нормальных условиях эксплуатации по интегральным параметрам ЯЭУ. Теперь нужно вернуться на формат K_SUZSYS и посмотреть, что происходит с полевыми ограничениями на формате «Local_Par_Core». В начале процесса запас по KV исчерпан (желтая линия выше красной черты) и нужно или снижать мощность, или что-то сделать для организации запаса по KV. Технология обеспечения запаса по KV разная для состояний активной зоны на ВОС и ЕОС . Эта общая часть для всех заданий 2-го этапа. Далее инструкции несколько модифицируются для каждого варианта задания.

Однако нужно отметить, что инструкции для всех вариантов и по разным проектам не являются самодостаточными. Самодостаточными инструкциями являются инструкции для вариантов задания для ВОС пусковой загрузки и ЕОС стационарной по 320 проекту. Все остальные частично ссылаются на эти инструкции. Поэтому для выполнения всех вариантов нужно обязательно знать инструкции для указанных выше двух вариантов. Более того, некоторые имена форматов и задвижек, а также действия такие, как например нормировка камер, описаны подробно только в инструкции для отключения ТГ для ВОС пусковой загрузки.

Отключение двух смежных ГЦН для ВОС пусковой загрузки по 320 проекту.

После прекращения работы РОМ, снять сигнализацию, деблокировать СУЗ и передернуть АРМ, т.е. выключить АРМ и включить заново. Это приведет к уставкам для АРМ порядка 40 %, что на 1 % ниже уставок, сформированных в результате работы автоматики. При каждом выключении АРМ контролировать работу ЭГСР на формате K_2KSYS (кнопка 2К на первой закладке в

нижнем правом углу любого формата), ЭГСП при выключении АРМ может переключиться в режим РМ и его нужно вернуть в режим РД1. (РМ – поддержание электрической мощности турбогенератора, РД1 – поддержание заданного давления перед СРК турбины). Нужно ускорить моделирование процессов в зоне в 10 раз. Дождаться извлечения 10-й группы до 90 %...92 % (можно и до 100 %), далее переключить работу АРМ на группу УРБ (для 320 проекта 4-ю группу, для 338 проекта на 1-ю группу). Переключение происходит таким образом, как показано на рис. 77.

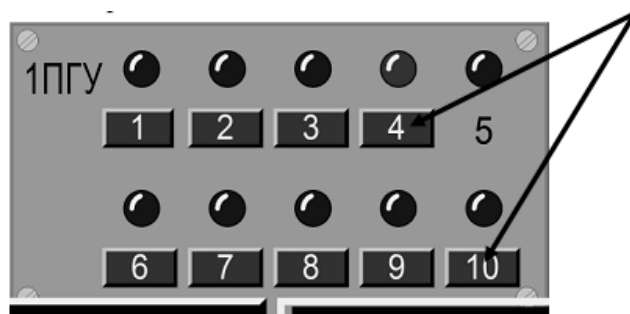


Рис. 77

Для ВОС бор вводить не надо, так как роль поглотителя для извлечения группы в верхнее положение играет отравление зоны нестационарным ксеноном за счет распада йода, количество которого определяется 100 % мощностью, а не 40 % мощности. Температурный эффект реактивности заметно ниже для пусковой загрузки на начало кампании, чем для стационарной загрузки на конец кампании. Поэтому отравления ксеноном достаточно для быстрого извлечения 10-й группы и группы УРБ. В ходе извлечения группы ОР СУЗ для УРБ наблюдается некоторое превышение КV (в течение одной минуты), что допустимо в переходном процессе (извлечение группы, а её надо извлекать в течение 3 часов после падения в соответствии с Техническим Регламентом). При достижении группы величины 70 % извлечения нужно подключить подачу дистиллята для разбавления воды в 1-м контуре для компенсации отравления нестационарным ксеноном. Для этого нужно открыть задвижку ТК70S11 полностью (1), прикрыть задвижку ТК20S01 до 0,1.

При достижении группы УРБ 90 % нужно ускорить размешивание дистиллята с водой в 1-м контуре с 1 до 10 раз и убрать ускорение модели до 1. При полном извлечении группы УРБ из активной зоны АРМ по инерции может вывести 10 группу из активной зоны, это не страшно, так как дистиллят через некоторое время начнет уменьшать борную кислоту и начнет погружение 10-й группы. Задать все ускорения по 1. Отключить АРМ, проверить ЭГСП (нужен режим РД1), заблокировать СУЗ, нормировать камеры, снять сигнализацию, деблокировать СУЗ, снять блокировку сигнализации СУЗ и деблокировать работу СУЗ. Увеличить ускорение размешивания дистиллята до 10. Далее при достижении положения 10 группы 80...85% при погружении нужно увеличить ускорение моделирования процессов в активной зоне обратно до 10. Далее нужно

обеспечивать баланс между отравлением ксеноном и выводом бора из воды на данном положении группы. В этом случае запас по KV есть.

Баланс достигается с помощью множителей для модельного ускорения процессов размешивания дистиллята с водой 1-го контура. На рисунке показано устойчивое поведение по времени запаса по KV при положении рабочей группы 80 % и мощности 40 %. В процессе маневрирования желательно ускорение процессов в зоне оставлять постоянным и равным 10. Маневрировать только ускорением размешивания дистиллята в контуре. В процессе маневрирования можно группу № 10 погрузить на высоту 75 %. В течение 4,5 часов реального времени работы энергоблока происходит смена отравления ксеноном активной зоны её разотравлением ксеноном, а подача дистиллята сменяется подачей концентрата, как в работе с отключением ТГ. Нужно дождаться смены подачи дистиллята подачей концентрата бора и устойчивых запаса по KV и интегральной мощности реактора (в течение 10...11 часов реального времени энергоблока, рис. 78).



Рис. 78

На этом происходит завершение моделирования для *1-го варианта 2-го этапа задания*, и переходим к *2-му варианту 2-го этапа задания*, загружаем то же самое состояние и включаем в работу систему АКЭ.

Все действия *2-го варианта* идентичны предыдущим без работы АКЭ, только не нужно нормировать камеры. На рис. 79 показано стабилизированное состояние реактора на мощности 40 % при положении рабочей группы 80 % и полном извлечении группы УРБ.

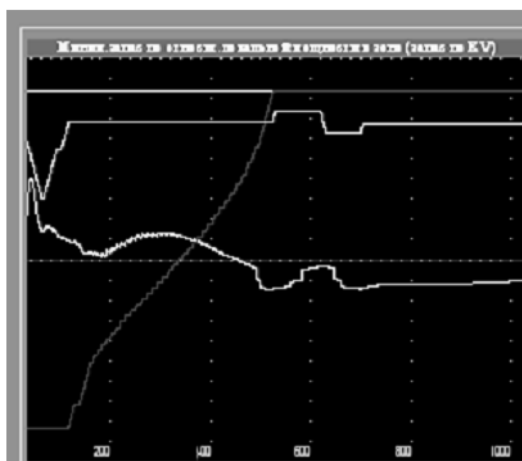


Рис. 79

Надо отметить, что разница между значениями тепловой мощностью при работе АКЭ и без АКЭ очень мала. Обращает на себя внимание несколько иное положение группы № 10 в случае отключения ГЦН, чем при отключении ТГ при стабилизации параметров. Это объясняется следующим. При отключении двух смежных ГЦН и разгрузке энергоблока до 41 % средний подогрев по активной зоне близок к подогреву на номинальном режиме ЯЭУ при работе 4 ГЦН, поэтому распределение нейтронных полей не сильно отличается от номинального режима, что нельзя сказать для случая с отключением ТГ, когда нейтронное поле распределяется по радиусу зоны совсем иначе, чем на номинале. Ниже показаны изменение основных параметров на всем временном интервале режима до выхода реактора на стабильные параметры при работе системы АКЭ и без неё (рис. 80).

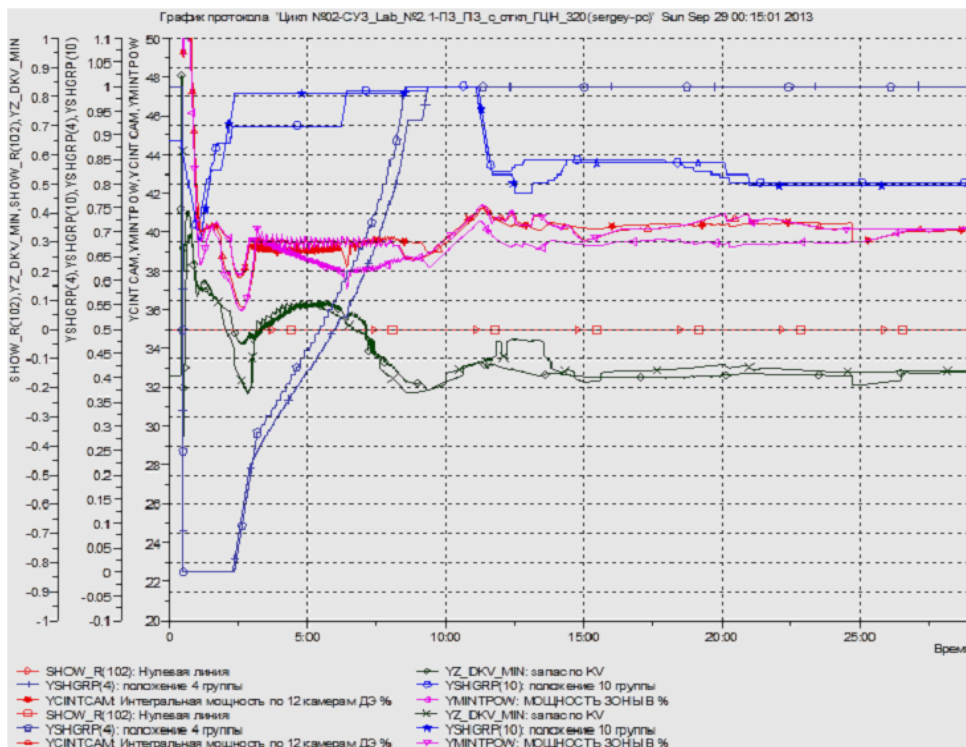


Рис. 80

На этом происходит завершение моделирования для 2-го варианта 2-го этапа задания, и переходим к 3-му варианту 2-го этапа задания, загружаем состояние модели для ЕОС по проекту 320.

Надо отметить, что инструкция для этого режима для ЕОС существенно отличается от инструкции для других вариантов. После загрузки нужного состояния, запуска модели и срабатывания отключения двух смежных ГЦН происходит существенная разгрузка энергоблока из-за большой эффективности рабочей группы на конец кампании по сравнению с началом кампании пусковой загрузки. При этом наблюдается существенная разница между показаниями БИК и данными СВРК по мощности реактора. После отключения РОМ в уставке АРМ значение мощности попадает из данных СВРК и равно оно в среднем 38 %, а мощность по БИК (АКНП) равна 30 %, мощность по СВРК равна 35 % (рис. 81). Конечно в этом случае нужны оперативные действия по приведению в соответствие друг другу различных значений мощности.

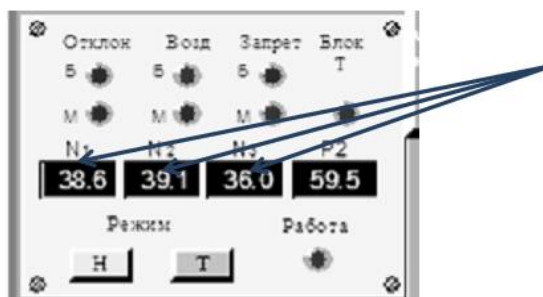


Рис. 81

ра в контур, так как начальная концентрация бора мала и составляет величину порядка 0,1. Это не оставляет шанса для использования боромассобмена на стадии нестационарного отравления зоны ксеноном для маневрирования балансом реактивности в зоне, причем при уменьшении расхода через реактор в два раза положительного температурного эффекта, практически, нет. Удержать баланс реактивности в зоне даже с учетом уменьшения давления во 2-м контуре вряд ли удастся. Так как уставки АРМ заметно выше значения мощности по БИК, то АРМ начнет выводить группу УРБ из зоны. Нужно дождаться значения мощности по БИК, равной 35 % и передернуть АРМ (отключить и включить). Таким образом, приблизим значения уставок в АРМ к реальной мощности блока (рис. 82).

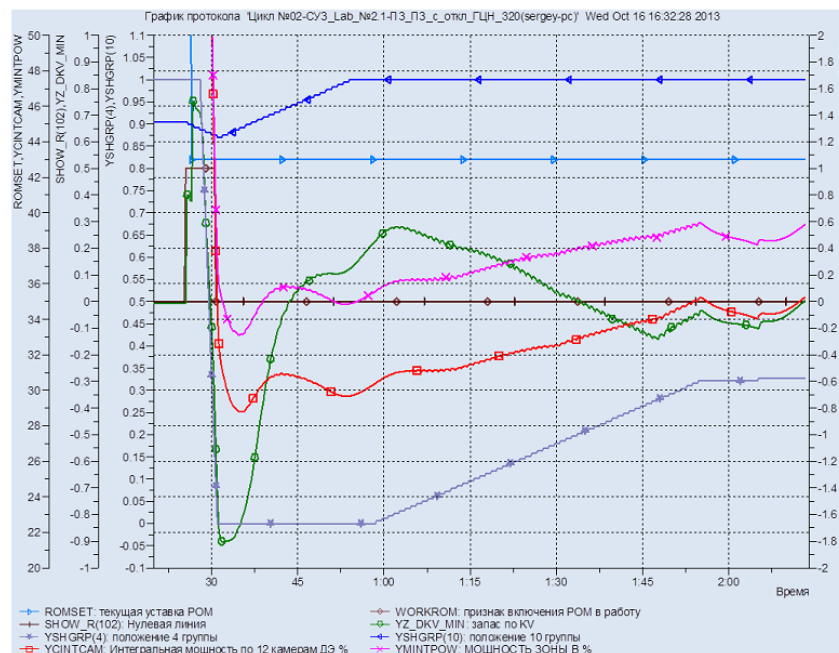


Рис. 82

После этого включить ускорение процессов в зоне и сделать его равным 10. На рис. 83 показано поведение запаса по KV от времени, положения групп ОР СУЗ, показания мощности по БИК и значение мощности по СВРК на первом этапе действий после разгрузки блока при извлечении группы УРБ. Под рисунком приведено время в различных масштабах моделирования.

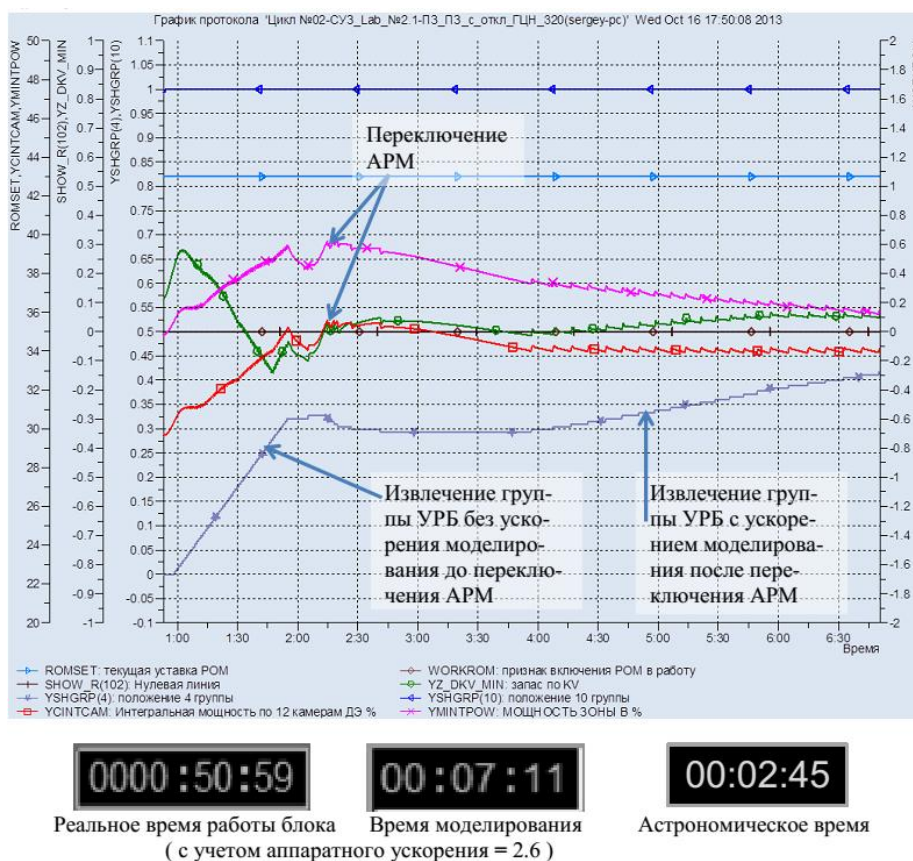


Рис. 83

При достижении извлечения группы УРБ на 60% нужно перейти на формат K_TKGSYS, найти задвижку TK82S02, переключить её из автоматического режима в дистанционный и открыть до получения расхода продувки 25 т/ч. Это обеспечивает более скорую доставку бора или дистиллята в 1-й контур. При достижении группы высоты извлечения 70 % убрать ускорение процессов в зоне и погрузить 10 группу со 100 % на 75 % извлечения. После погружения группы № 10 на 75 % и извлечения группы УРБ на 100 % отключить АРМ и ускорить размешивание дистиллята до 50 (рис. 84).

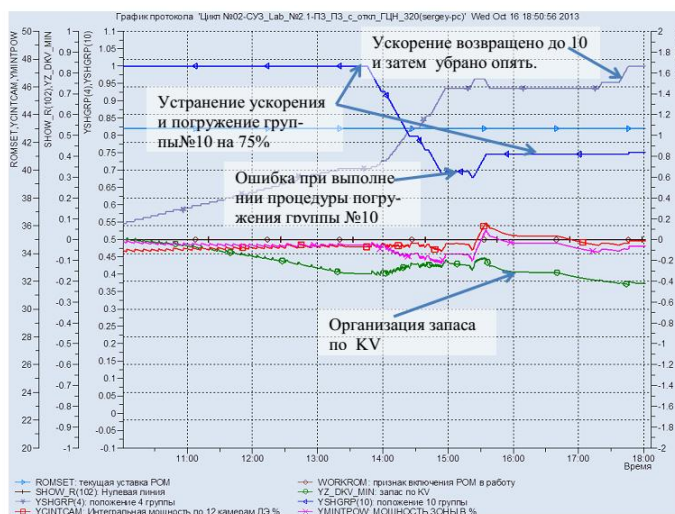


Рис. 84

После отключения АРМ и с помощью уменьшения давления во 2-м контуре начать поднимать мощность. Для этого на формате К_2KSYS вернуть работу ЭГСР из режима РМ в режим РД1. Далее на формате «Local_Par_Core» справа на вертикальной панели нужно найти поворотный ключ для изменения величины давления в задатчике регулятора ЭГСР в режиме РД1 (рис. 85). Не торопясь по 0,5 ати списать показание задатчика от текущего значения до 59 ати. Данная процедура выполняется следующим образом. Лево́й кнопкой мыши щелкнуть на поле справа от ключа и держать кнопку нажатой на этом поле до тех пор, пока значение задатчика не изменится на 0,5 ати.

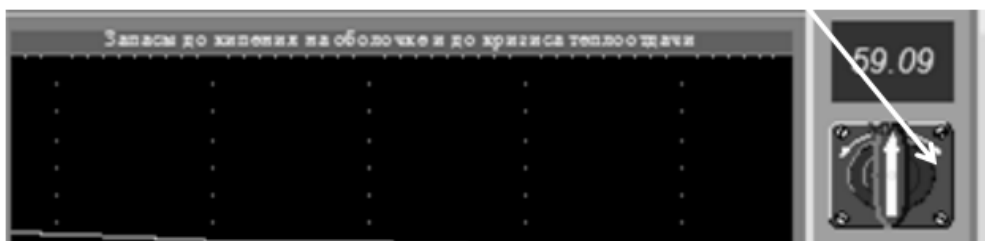


Рис. 85

Во время выполнения данной процедуры несколько раз тарировать показания БИК по схеме, описанной в работе с отключением ТГ. При этом удастся выйти на 37,5 % мощности, далее нужно извлечь группу № 10 с 75 % до 79 % и достигнуть 38 % мощности по БИК, обеспечив запас по KV. Далее включить АРМ. На рис. 86, 87 показано поведение основных для данного этапа параметров ЯЭУ, на участке времени до подъема мощности до 38,0 %...38,3 % и включения АРМ. После включения АРМ ускорить процессы в зоне до 5 и не менять это ускорение.

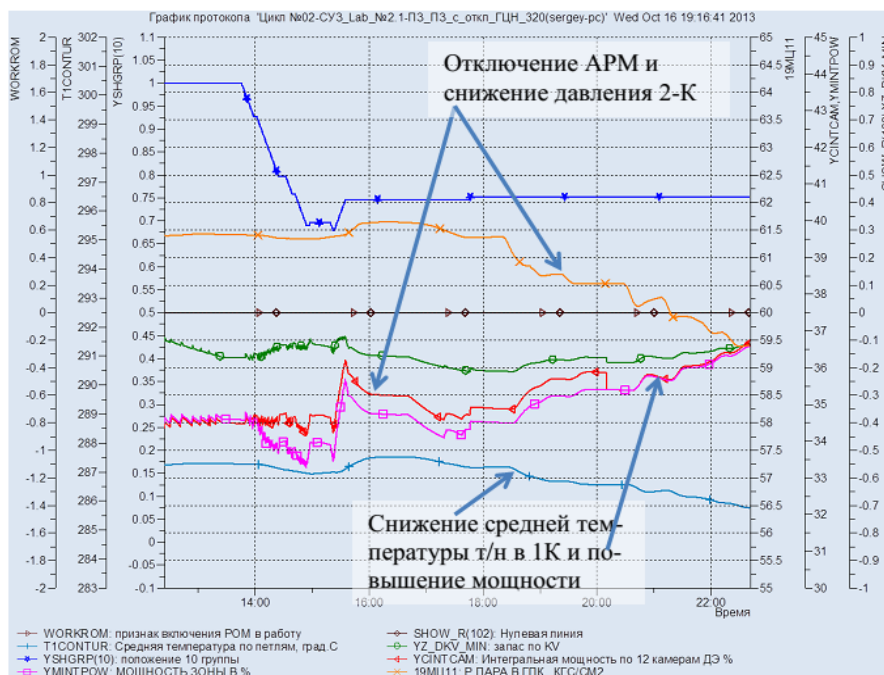


Рис. 86

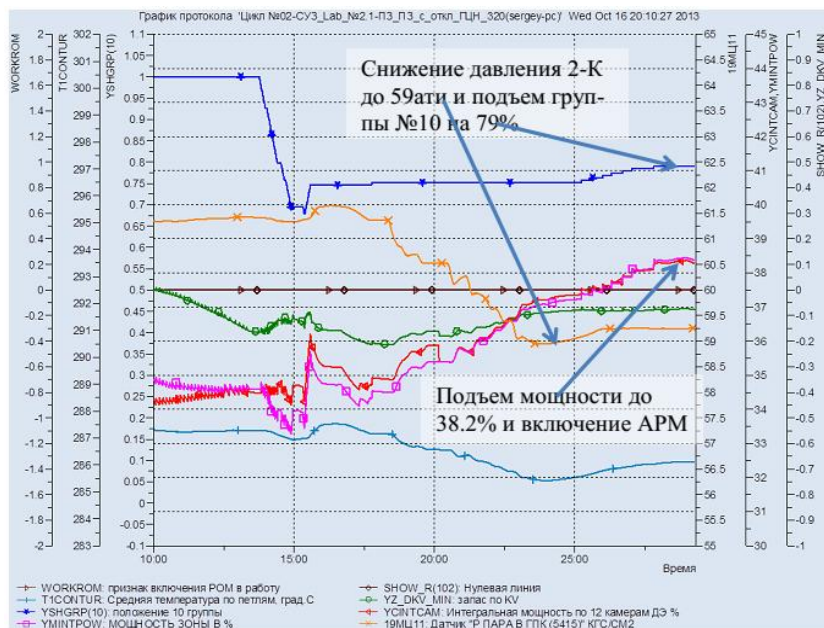


Рис. 87

На мощности 38 %...38,3 % нужно медленно извлекать группу № 10 до 84 ...85 %. Почему? Потому, что аксиальный офсет увеличивается и нейтронное поле сдвигается вниз активной зоны. Для того чтобы сделать поле более плоским по высоте реактора нужно выводить стержни СУЗ. Что и делается в данный момент. Этому уплощению нейтронного поля помогает процесс уменьшения температуры теплоносителя на входе в активную зону (при снижении температуры коэффициент реактивности по температуре уменьшается и ослабляются обратные связи между нейтронной кинетикой и теплофизикой в активной зоне, что способствует выравниванию поля по высоте зоны). После достижения высоты извлечения 85 % офсет меняет свою тенденцию и поле начинает перемещаться вверх активной зоны. В этот момент увеличивать мощность можно только за счет давления во 2-К. Но эти возможности не беспредельны. Ниже 58 ати давление уменьшать не рекомендуется (рис. 88).

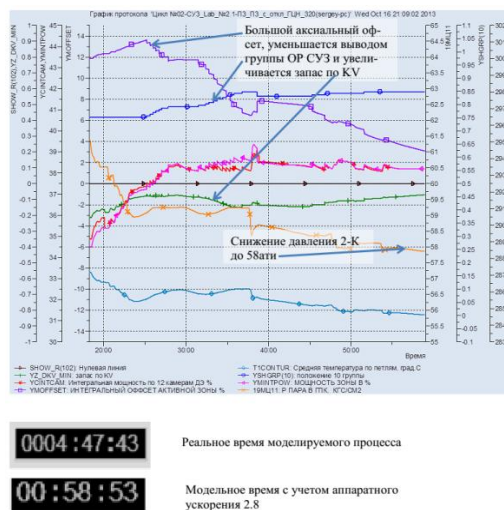


Рис. 88

После разгрузки реактора до мощности порядка 40 % смена фазы нестационарного отравления зоны ксеноном фазой разотравления наступает через интервал времени порядка 5 часов. В этот момент начинается процесс установления равновесия между йодом и ксеноном мощности 38...40 %. Начинает расти мощность. На уровне мощности реактора 38.3 %...38.5 % нужно не торопясь опустить группу №10 до 76 %...77 %, так как в этот момент аксиальный офсет уже приближается к нулю и имеет тенденцию к уменьшению. После чего нужно выключить АРМ, не забыв перевести ЭГСР в режим РД1 и дождаться увеличения мощности 39.5 %. При этом нужно отключить подачу дистиллята. Задвижка ТК70S11 закрывается полностью и открывают полностью задвижку ТК20S01 на линии продувки. Ускорение размешивания устанавливается на уровне 10. При этом мощность продолжает расти и группа №10 погружается до 70 %. В этот момент открывается подача бора в контур (открывается задвижка на 0.02) и начинается маневрирование подачей бора в контур, далее, включить АРМ. Компенсация разотравления происходит за счет ввода концентрата бора при положении группы №10 на уровне 77...80 %. Ввод концентрат происходит открытием задвижки ТВ30S16 на 0,01. Ускорением размешивания регулируем нулевой баланс реактивности в реакторе. Все эти манипуляции нужны, чтобы не потерять мощность, если ГЦН не удастся быстро включить. На рис. 89 показано поведение параметров реактора при смене фазы отравления фазой разотравления с выходом на мощность 39,5 %.

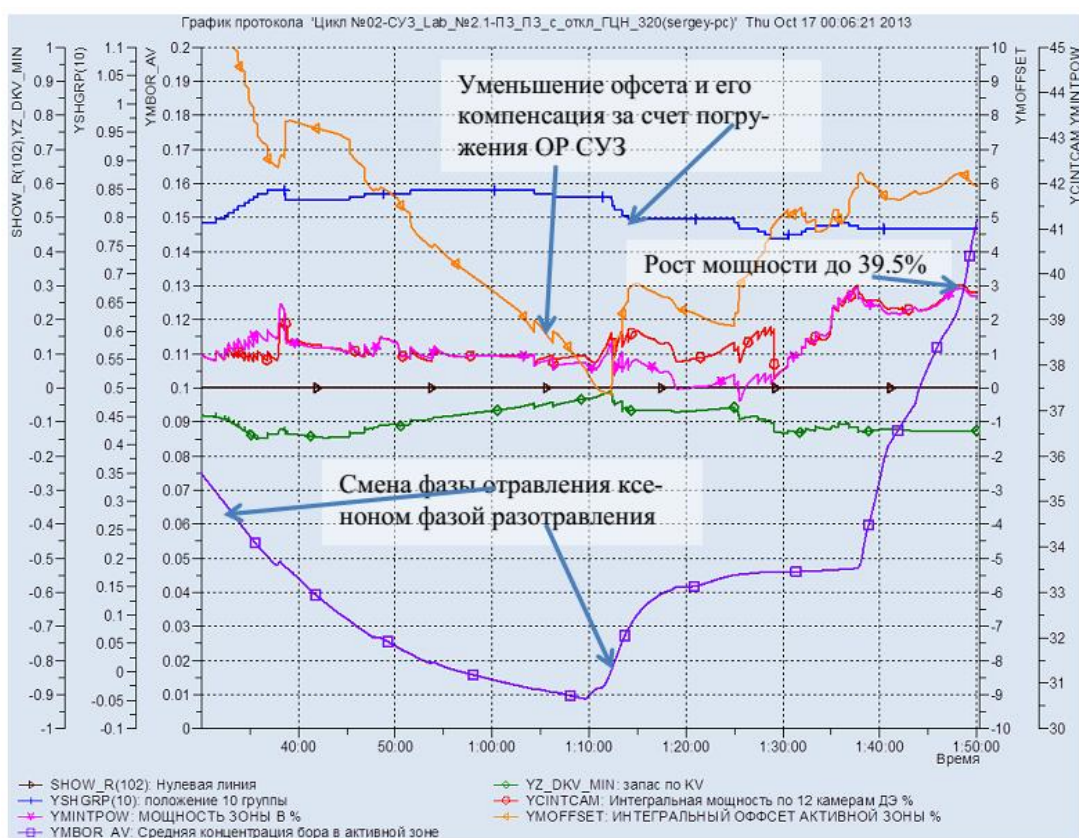


Рис. 89

Обращает внимание на себя увеличение запаса по KV при увеличении мощности. Это объясняется в первую очередь тем, при повышении мощности и увеличении подогрева теплоносителя по зоне (гораздо более заметного, чем в случае с отключением ТГ) усиливаются обратные связи по температуре теплоносителя между теплогидравликой и нейтронной кинетикой (бора практически нет), что существенно уменьшает неравномерность распределения энерговыделения по объему активной зоны. Стабилизации параметров по зоне достигается маневрированием величиной ускорения размешивания дистиллята в 1-м контуре. На самом деле на АЭС регулируют расход дистиллята и расход подпитки через расход продувки. Результат один и тот же, но пользователю (особенно студенту) легче стабилизировать положение ОР СУЗ с помощью ускорения размешивания. На рис. 90 показано, как рабочей группой № 10 медленно компенсируется нестационарное отравление ксеноном (вот для чего нужно группу № 10 опустить до 70 %). Это особенно важно при смене нестационарного отравления ксеноном процессом разотравления, когда подача дистиллята сменяется подачей концентрата бора. Процедура управления при смене такая же, как и для работы с отключением ТГ.

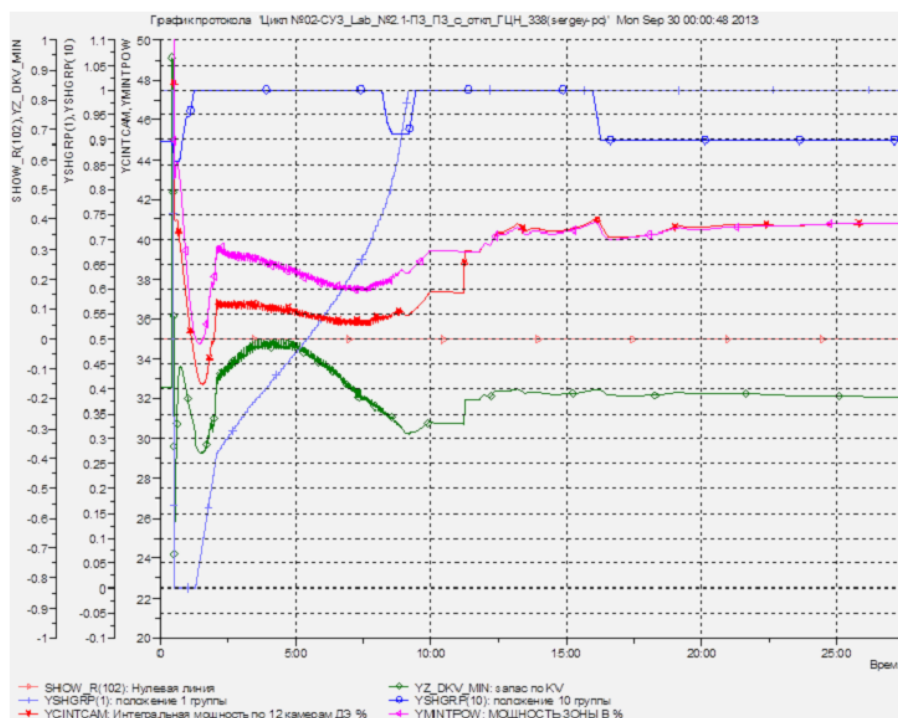


Рис. 90

Далее выполняется *2 вариант 2-го этапа*, загружаем то же самое состояние на ЕОС стационарной загрузки и включаем в работу алгоритм АКЭ. Производим те же действия, что и при моделировании данного нарушения без работы АКЭ, только не нужно проводить нормировку камер. Получим основной результат, показанный на рис. 90. Поведение параметров аналогично картине без работы АКЭ, за исключением начального участка из-за того, что в случае работы АКЭ мощность после разгрузки при отключении АРМ устанавливается на уровне 38 % и превышение KV несколько больше превышения в случае моде-

лирования режима без работы АКЭ. При стабилизации параметров картина практически одинакова в обоих случаях: при работе АКЭ и без работы АКЭ. Покачиванием группы №10 на $\pm 5 \dots 7$ % можно удерживать запас по KV меньше нуля.

Отметим, что технология обеспечения стабилизации параметров в ЯЭУ и запаса по KV несколько разная при отключении ТГ и двух смежных ГЦН. Задача пользователя найти причину этого различия.

Отключение двух смежных ГЦН для ВОС пусковой загрузки по 338 проекту (для другой группы студентов).

Поскольку в 338 проекте 10-я группа располагается ближе к центру активной зоны, чем для 320 проекта, то искажения в значениях мощности по БИК по сравнению с мощностью по СВРК возникают больше, чем для 320 проекта. В связи с этим способ действий по маневрированию группой УРБ и рабочей управляющей группой несколько иной. Общую часть, связанную с загрузкой нужного состояния, пуском модели, отключением ГЦН и работой РОМ, опускаем. Она такая же по технологии, что и для 320 проекта. После завершения работы РОМ передернуть АРМ (выключить, включить), переключить работу АРМ на группу УРБ (для 338 проекта на 1-ю группу). Переключение происходит так, как показано на рис. 91.

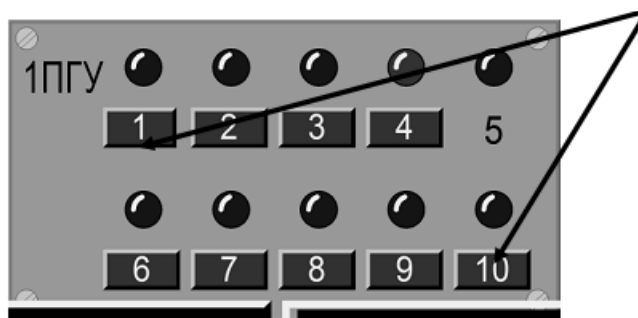


Рис. 91

Увеличить ускорение процессов в зоне до 10. Дождаться извлечения 10-й группы до 70 %, далее открыть задвижку для подачи дистиллята и прикрыть задвижку на тракте после деаэратора до 0,1, дождаться извлечения группы УРБ до 90 %, ускорить размешивание дистиллята до 10, установить ускорение процессов в зоне, равной 1. В процессе извлечения группы УРБ опустить группу № 10 до 90 %. Далее убрать ускорение размешивания до 1. Отключить АРМ. Нормировать камеры, заблокировав СУЗ. Проверить работу ЭГСР, перевести его в режим РД1 (если он перешел в режим РМ). Снова увеличить ускорение размешивания до 10. Довести мощность до 40 % и включить АРМ на 10 группу. Маневрированием ускорением размешивания дистиллята и ускорением процессов в зоне стабилизировать при данных положениях групп ОР СУЗ отрицательный запас по KV. Поведение запаса по KV от времени и других наблюдаемых параметров реактора показаны на рис. 90.

Далее выполняется 2-й вариант 2-го этапа для ВОС пусковой загрузки с работой АКЭ, загружается то же состояние, включается в работу АКЭ. Все действия идентичны действиям без работы АКЭ за исключением выключения и включения АРМ. Это делать не нужно и не нужно контролировать уставки АРМ, так как за этим следит АKNП с помощью алгоритма АКЭ. Ниже (рис. 92) показан результат успешных действий по стабилизации параметров активной зоны при работе АКЭ. Значения мощности при работе АКЭ и без АКЭ отличаются незначительно друг от друга. Обращает на себя внимание тот факт, что группу УРБ при отключении ГЦН удастся вывести полностью из зоны, тогда как при отключении ТГ этого не удастся при сохранении запаса по КV. Объясняется большим подогревом теплоносителя при отключении ГЦН, чем при отключении ТГ, близким к подогреву на номинальном режиме. Это приводит к близким распределениям нейтронных полей по объему активной зоны после отключения ГЦН при 40 % мощности к распределениям на номинальном режиме при 100 % мощности с 4 работающими ГЦН при одинаковом расположении групп ОР СУЗ.

Рис. 92

Поскольку в 338 проекте 10-я группа располагается ближе к центру активной зоны, чем для 320 проекта, то искажения в значениях мощности по БИК по сравнению с мощностью по СВРК возникают больше, чем для 320 проекта. В связи с этим способ действий по маневрированию группой УРБ и рабочей управляющей группой несколько иной, чем для 320 проекта. Запускается модель и на 25 секунде отключаются ГЦН. Так как для ЕОС нейтронные поля перестроены и эффективность группы ОР СУЗ для УРБ увеличилась, то падение группы УРБ, практически, сразу разгружает блок до 41 % и РОМ включается через секунды. РОМ для данного варианта вступает в работу три раза. Первый раз по причине того, что в измерительном канале нет значения мощности по СВРК из-за запаздывания, а мощность по БИК уже ниже уставки РОМ (43 % -

2 %). Второй раз РОМ включается по причине обратных связей по подогреву теплоносителя в активной зоне, который уменьшается на несколько градусов и тоже по значениям мощности от БИК, в третий раз РОМ включается по причине обратных связей по температуре теплоносителя на входе в зону, которая уменьшается на два-три градуса, но уже по мощности из СВРК. Нужно дожидаться трехразового срабатывания РОМ и только после этого переключиться на формат К_HB113 для сброса сигнализации и деблокировки СУЗ. Обращает на себя внимание большая разница между значениями мощности по АКНП и СВРК. Во время разгрузки блока наблюдается превышение запаса по KV, но с этим нечего поделать, так как происходит снижение мощности, что и нужно по Техническому Регламенту.

После выключения РОМ нужно снять сигнализацию и деблокировать СУЗ на формате К_HB113, как было указано в инструкции по моделированию режима с отключением ТГ. После этого нужно вернуться на формат К_SUZSYS, переключить АРМ сразу на группу ОР для УРБ, открыть задвижку ТВ30S16 на 0.02, ускорить размешивание бора в 10 раз, ускорение моделирования процессов в активной зоне остается равным 1. При начале извлечения группы УРБ нужно перейти на формат К_TKSYS, убедиться в том, что расход подпитки мал (меньше 2-3 т/ч), перейти на формат К_TKGSYS, найти задвижку TK82S02, переключить её из автоматического режима в дистанционный и открыть до получения расхода продувки 28 т/ч. Это обеспечивает более скорую доставку бора или дистиллята в 1-й контур.

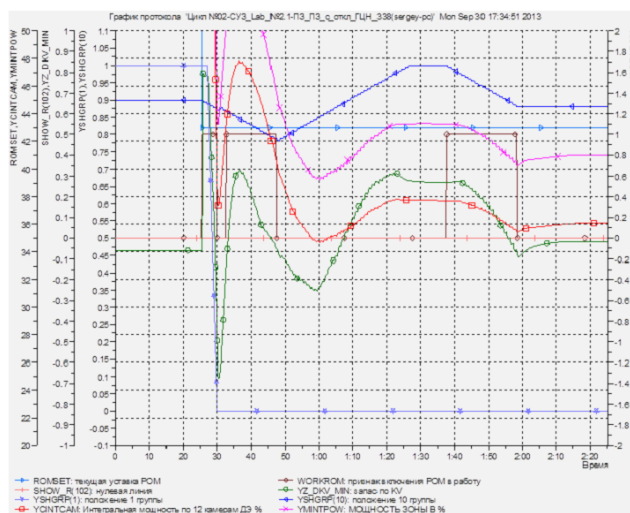


Рис. 93

На рис. 93 показано поведение запаса по KV от времени, положения групп ОР СУЗ, на рис. 94 - положения задвижек в системе ТК и величины ускорения размешивания бора в 1-м контуре и процессов в активной зоне на первом этапе действий после разгрузки блока до 40 % по СВРК и до 35 % по АКНП.

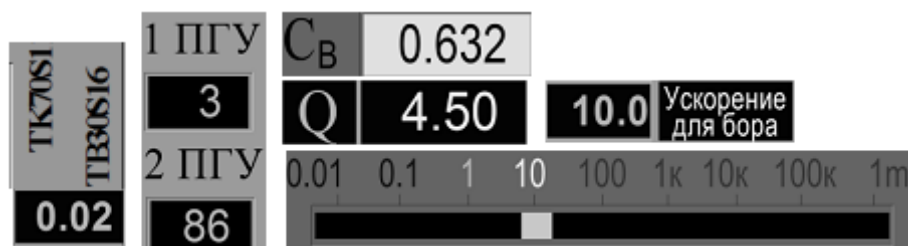


Рис. 94

При извлечении группы УРБ, когда появляется тенденция к увеличению запаса по KV, нужно извлечь 10 группу на 100 %. Делать это надо не торопясь, чтобы не превысить мощность 41 % по СВРК, а именно в момент неподвижности группы УРБ вывести группу № 10 на 1 %...2 %, не больше. Это несколько уменьшает превышение по KV допустимых значений (рис. 95). Лучше начинать извлекать группу 10 при достижении группы УРБ высоты извлечения 30 %.

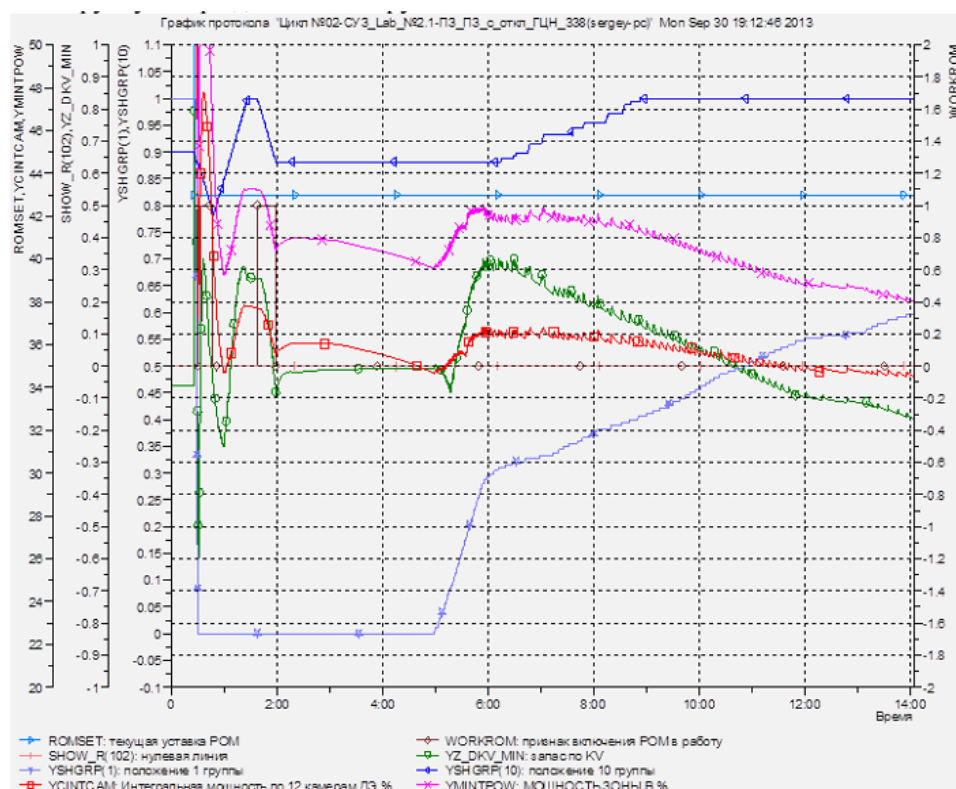


Рис. 95

При достижении значения бора в зоне величины больше 0,9 г/кг закрыть задвижку TB30S16. При достижении положения группы УРБ 65 % извлечения из зоны открыть задвижку TK70S11 и прикрыть задвижку TK20S01 до 0.05. Для ускорения вывода группы УРБ ускорить процессы в зоне до 10, ускоряются процессы нестационарного отравления зоны ксеноном. После достижения группой УРБ высоты извлечения 50 % появляется запас по KV (это происходит за счет выпрямления распределения нейтронного поля по высоте активной зоны). Группа № 10 на ВКВ (верхних концевых выключателях над зоной, положение 100 % извлечения).

При извлечении группы УРБ до 65 %...72 % тенденция к увеличению запаса по KV прекращается, при этом нужно погрузить ручным образом группу № 10 до 82 %...85 %, это приведет к увеличению запаса по KV. Далее при извлечении группы УРБ от 85 % до 100 % группу №10 погрузить до 70 %...72 %. После извлечения группы УРБ на 100 % и погружения группы № 10 до 70 %, убрать ускорение процессов в зоне до 1, выключить АРМ, нормировать камеры АКНП по схеме, описанной в лабораторной работе с отключением ТГ. После нормировки камер переключить ЭГСР в режим РД1 с уставкой по давлению около 61 ати. Увеличить ускорение размешивания дистиллята до 50 и поднять мощность до 40 %, включить АРМ. Включить ускорение процессов в зоне до 10. Убрать ускорение размешивания дистиллята до 10. Затем маневрировать ускорениями размешивания дистиллята и процессов в зоне, поддерживая баланс реактивности в реакторе при полученных положениях групп ОР СУЗ (рис. 96).

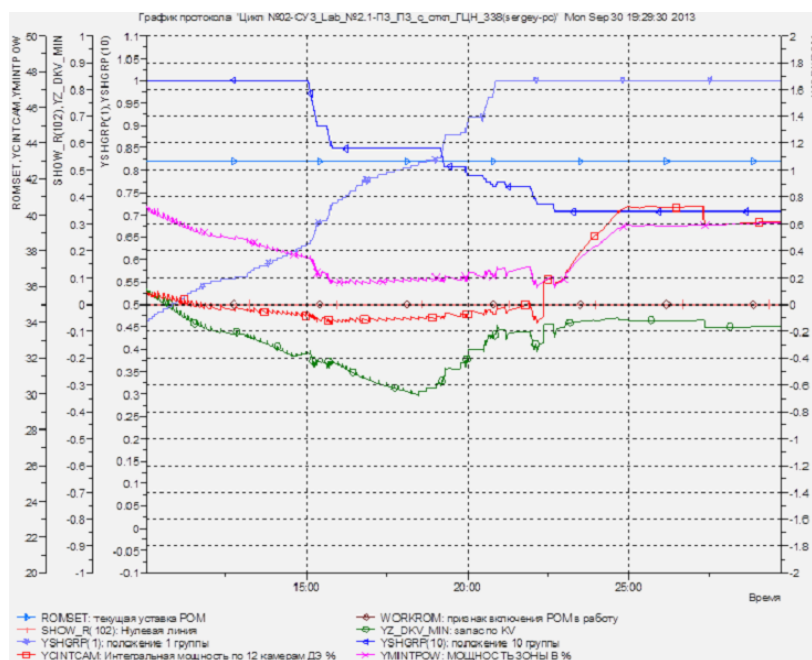


Рис. 96

Далее маневрированием множителями для ускорения моделирования процессов в системе ТК и в активной зоне, стабилизируем параметры ЯЭУ и активной зоны. Ниже на рис. 97 показан весь интервал моделирования до стабилизации параметров реактора при тепловой мощности реактора 40 %. Надо отметить, что для режима с отключением ТГ можно достичь только 39 % тепловой мощности при сохранении запаса по KV. Нужно указать на причину этой разницы в режимах с отключением ТГ и ГЦН.

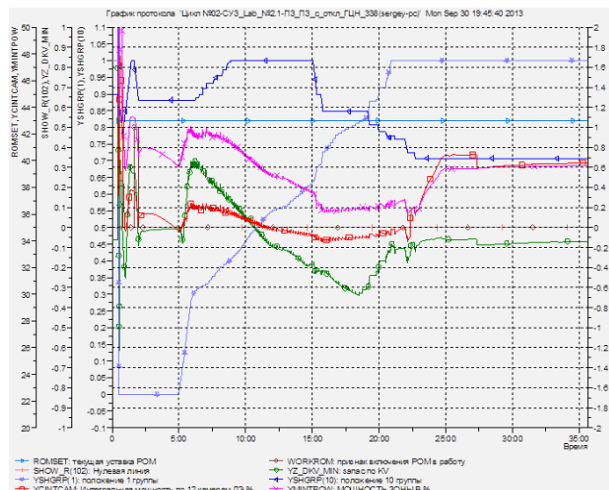


Рис. 97

Инструкция для 4-го варианта 2-го этапа с работой АКЭ мало чем отличается от инструкции для выполнения работы при моделировании режима без работы системы АКЭ (рис. 98), за исключением нормировки камер и начального снижения мощности до 40 % с 41 % после завершения работы РОМ (нужно отключить АРМ, начать подачу бора в контур и снизить мощность до 40 %, включить АРМ и только после переключить АРМ на группу УРБ).

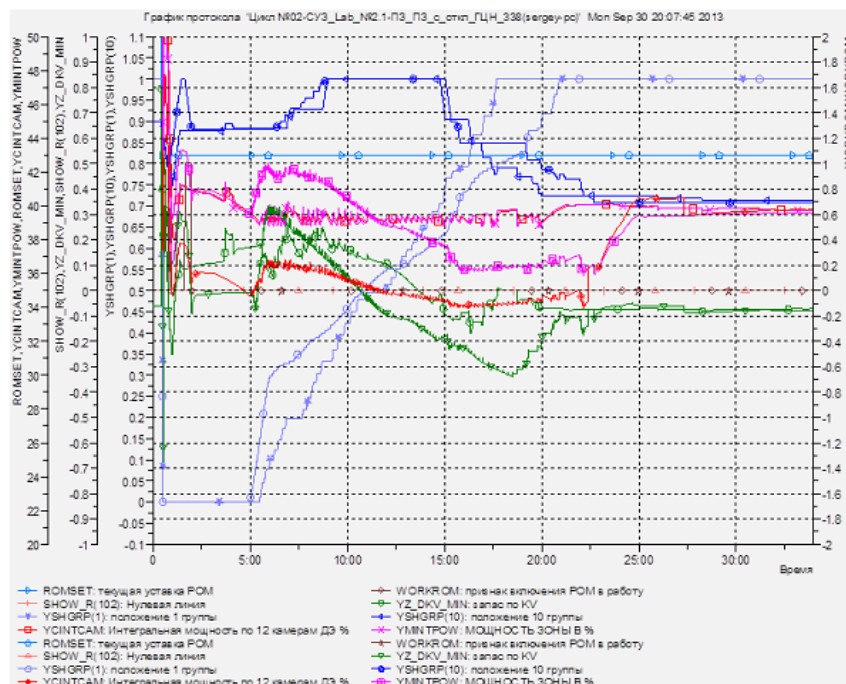


Рис. 98

Глава 7. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

Результаты протоколирования размещаются в специальном каталоге с именем протоколы. Для того, чтобы добраться (преподавателю или обучаемому при самостоятельной работе, но не при выполнении студентами лабораторной работы) до этого каталога нужно завершить сеанс моделирования и выйти из системы сопровождения и поддержки моделирования (GIW) обратно в систему поддержки процесса обучения -ПЗ- и найти в окошке с опциями ПЗ строчку с именем «протоколы»рис. 99.

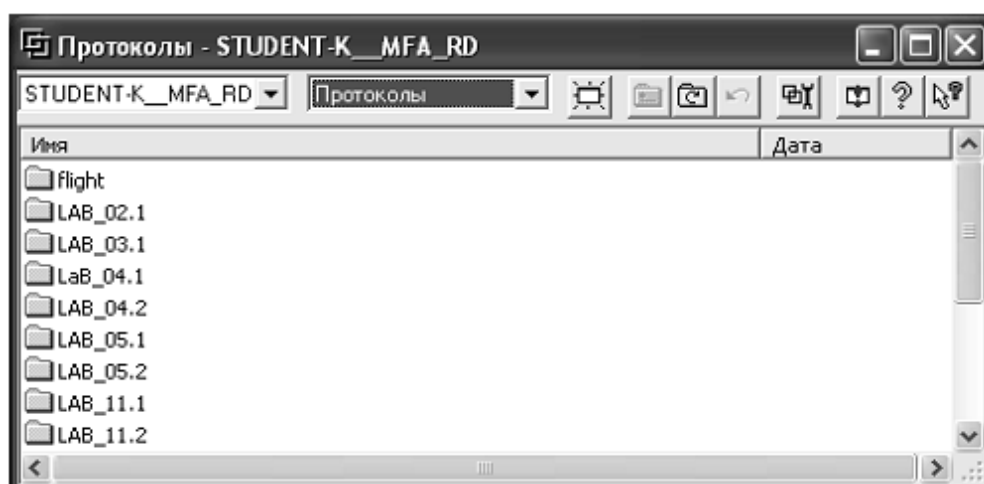


Рис. 99

Попадем в список каталогов с именами лабораторных работ (занятий). Выберем каталог с именем LAB_02.1 и входим в него. В данном каталоге располагается протоколы занятия 2.1, а именно протоколы заданий для изучения процессов при нарушении нормальной эксплуатации с отключением ТГ и 2-х ГЦН (рис. 100).

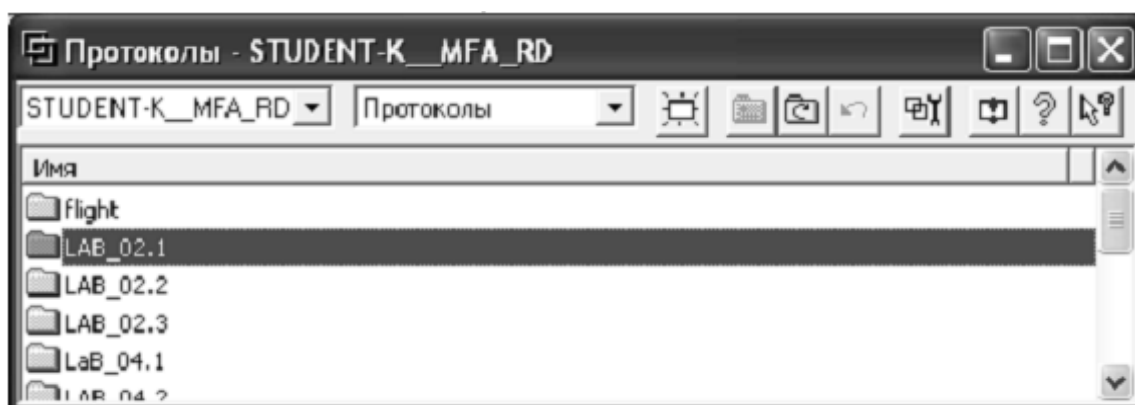


Рис. 100

Выбираем по порядку протокол с результатами для отключения ТГ и затем протокол для отключения двух смежных ГЦН. Входим в среду системы протоколирования и оформляем результаты. Оформление результатов из обоих протоколов однотипное (рис. 101).

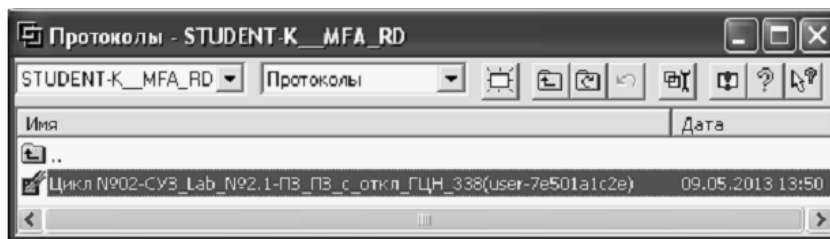


Рис. 101

При выполнении лабораторной работы доступ студента к результатам протоколирования производится иначе. При завершении первого или второго задания работы № 2.1, не выходя из режима работы модели ЯЭУ, нужно войти в режим просмотра протоколов. Делается это следующим образом. На верхней линейке нажимается кнопка (рис. 102).



Рис. 102

После этого открывается меню, в котором нужно выбрать строку с названием «Просмотреть протокол» (рис.103).

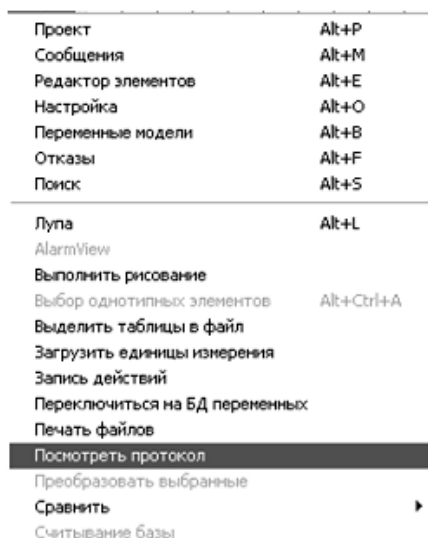


Рис. 103

Выбрав данную строку, попадаем в среду системы протоколирования и начинаем обработку результатов протоколирования. Приведем пример оформления результатов протоколирования для режима с отключением двух смежных ГЦН. Оформление результатов для режима с отключением турбогенератора (ТГ) производится аналогично, причем для режима отключения ТГ не нужны результаты для режима с отключением ГЦН, а для оформления результатов моделирования отключения ГЦН нужны результаты протоколирования режима с

отключением ТГ. Прежде чем начать оформление, нужно пометить правильно выполненные протоколы, так как при выполнении лабораторной работы могут быть допущены разные ошибки и в результате данный протокол будет испорчен и не годен для обработки. Каждый протокол в рамках одного задания обозначается траекториями в виде сплошных столбиков в правой стороне окна, появляющегося после входа в среду системы протоколирования (рис. 104).

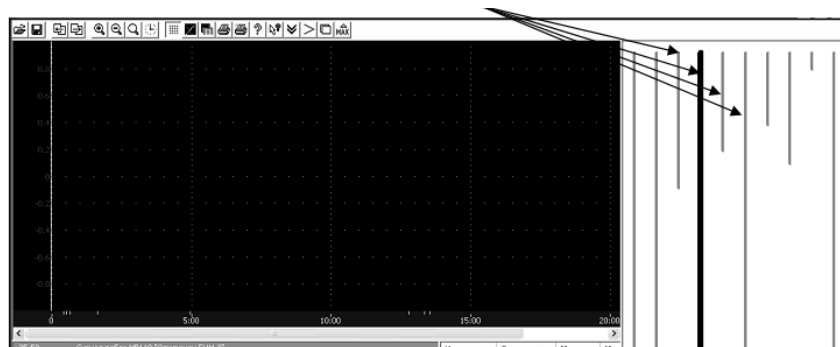


Рис. 104

Каждый столбик-траектория содержит результаты протоколирования выполнения задания для одного из вариантов данного этапа работы. Среди них есть испорченные. Нужно выбрать правильные. Для этого просматриваются комментарии к каждой траектории. По мере выполнения работы каждая траектория помечается комментарием, содержащим информацию о том, правильный ли это протокол или нет, и, если правильный, то к какому варианту он относится. Просматриваем все траектории. Для этого по порядку подводим стрелку «мыши» к каждой траектории и нажимаем на правую кнопку «мыши», появляется комментарий (рис. 105).



Рис. 105

Среди 10 траекторий только четыре правильные. Протоколы для этих 4-х правильных траекторий и нужно обработать. Выбираем 0-траекторию и начи-

наем обработку. Задача обработки результатов в том, чтобы на графиках поместить наиболее важные для анализа параметры ЯЭУ в зависимости от времени для исследуемого режима. По кнопке из верхней линейки (рис. 106) входим в меню со списком переменных для протоколирования. Здесь приведены все заказанные для протоколирования переменные модели для данного задания (а возможно и для других подобных заданий, рис. 107).



Рис. 106

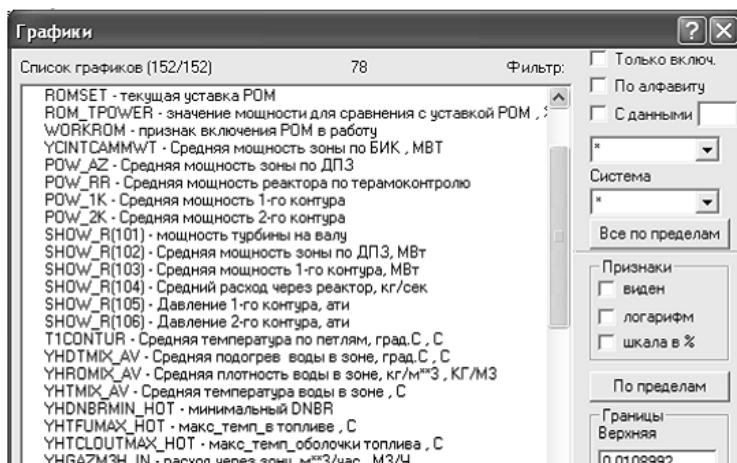


Рис. 107

Из всего списка интерес представляют следующие переменные:

Ycintcammwt: Средняя мощность зоны по БИК;

Ymintpow_N: Нейтронная мощность зоны;

pow_gr: Средняя мощность реактора по термоконтролю;

show_r(101): мощность турбины на валу;

YNTMIX_AV: Средняя температура воды в зоне;

YMBOR_AV: Средняя концентрация бора в активной зоне;

YZ_DKV_MIN – минимальный запас по KV в активной зоне;

ROMSET – текущая уставка POM (для данного режима 43 %);

ROM_TPOWER – текущая мощность реактора в измерительном канале POM;

WORKROM – признак включения POM в работу;

YSHGRP(1) – положение 1-й группы (для УРБ по 338 проекту);

YSHGRP(4) – положение 4-й группы (для УРБ по 320 проекту);

YSHGRP(10) – положение рабочей управляющей группы.

Для представления временных зависимостей параметров ЯЭУ на графиках необходимо их сгруппировать небольшими группами для большой наглядности и удобства сравнения результатов для разных режимов работы АКЭ и разных нагрузок. Рекомендовано выделить следующие группы:

1) группа:

YCINTCAMMWT - средняя мощность зоны по БИК;

Ymintpow_N: нейтронная мощность зоны;

POW_RR - средняя мощность реактора по СВРК. Нужна для анализа изменения распределения нейтронных полей при падении группы УРБ между периферийными и центральными ТВС. Это изменение и влияет в основном на рассогласование между мощностью по СВРК и по АКНП без работы системы АКЭ.

2) группа (не нужна для обработки результатов протоколирования режима с отключением турбогенератора):

SHOW_R(101): электрическая мощность турбогенератора;

POW_RR средняя мощность реактора по СВРК. Нужна для сопоставления результатов разгрузки реактора при отключении ГЦН для разных состояний активной зоны при работе системы АКЭ и без неё.

3) группа:

YZ_DKV_MIN – минимальный запас по KV в активной зоне;

YSHGRP(1) (или YSHGRP(4)) – положение группы для УРБ;

YSHGRP(10) – положение рабочей управляющей группы. Нужна для анализа влияния выбранной стратегии группового движения ОР СУЗ на динамику запаса по KV. Можно попробовать другую стратегию, отличную от предложенной в инструкции, если останется время. Цель уменьшить время превышения предельных значений KV.

4) группа:

YCINTCAMMWT - средняя мощность зоны по БИК;

Ymintpow_N: нейтронная мощность зоны;

ROMSET – текущая уставка РОМ (для данного режима 43%);
ROM_TPOWER – текущая мощность реактора в измерительном канале РОМ;

WORKROM – признак включения РОМ в работу;

YSHGRP(1) (или YSHGRP(4)) – положение группы для УРБ;

YSHGRP(10) – положение рабочей управляющей группы. Нужна для анализа начального этапа режима с отключением ТГ или ГЦН, на котором работает алгоритм УРБ и РОМ, для анализа корреляции между характеристиками группы ОР СУЗ для УРБ и характеристиками рабочей управляющей группы.

5) группа:

POW_RR: средняя мощность реактора по СВРК;

YNTMIX_AV: средняя температура воды в зоне;

YMBOR_AV: средняя концентрация бора в активной зоне;

YSHGRP(10) – положение рабочей управляющей группы. Нужна для анализа температурных эффектов реактивности для разных состояний активной зоны и разных режимов нарушения нормальной эксплуатации.

Выделяется интервал по времени с постоянной концентрацией бора в воде. Мощность реактора после падения группы для УРБ и положение рабочей группы после выключения РОМ качественно говорит о величине температурного эффекта. Сравнение проводится при работе АКЭ для того, чтобы исключить неопределенность в интерпретации результатов при повторных срабатываниях РОМ и рассогласование между показаниями СВРК и АКНП. Можно по инициативе преподавателя (или по собственной инициативе при самостоятельной

работе) выбрать и другие группы переменных для построения графиков. Для каждой группы параметров создается конфигурационный файл для нужного построения графика (определение интервала по времени, пределов по оси Y для каждого параметра и его цвета). Делается это следующим образом. Покажем на примере 4-й группы параметров технологию создания cfg-файлов для построения графиков и проведения сравнения результатов для разных вариантов активной зоны. Нужно выбрать из списка переменных указанные в 4-й группе переменные и назначить им цвета (эти цвета должны быть хорошо видны на белом фоне). Далее для каждой переменной назначить пределы по оси Y. Для мощностей рекомендованы пределы от 50 % до 25 %. Для групп ОР СУЗ - от 1,1 до -0,1 (рис. 108).

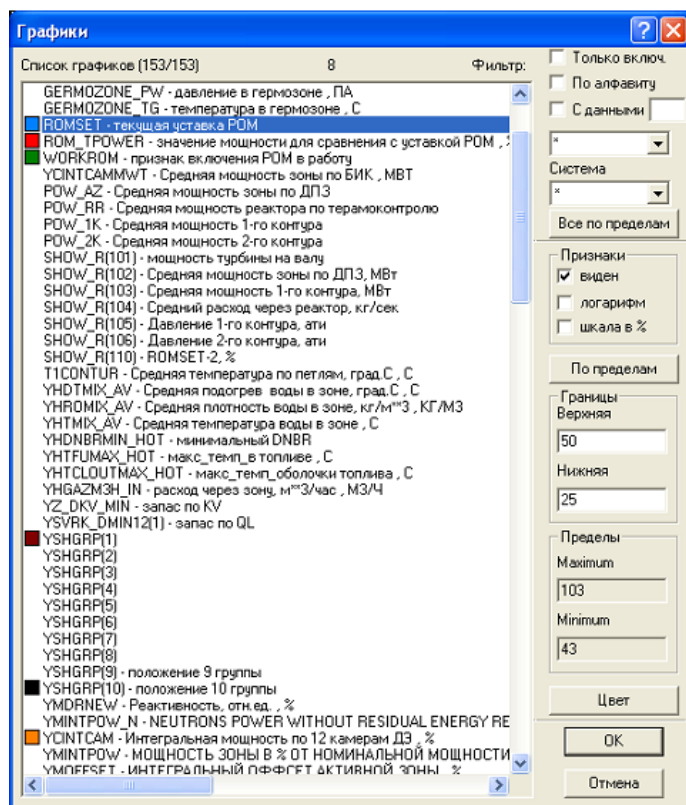


Рис. 108

Далее на графике нужно выделить начальный этап, на котором работал алгоритм УРБ и РОМ (с учетом повторных срабатываний РОМ, если они были). Интервал по времени выделяется с помощью кнопки с знаком + и нажатой левой кнопки мыши, которой по оси X на синем фоне под осью выделяется нужный интервал по времени (рис. 109).

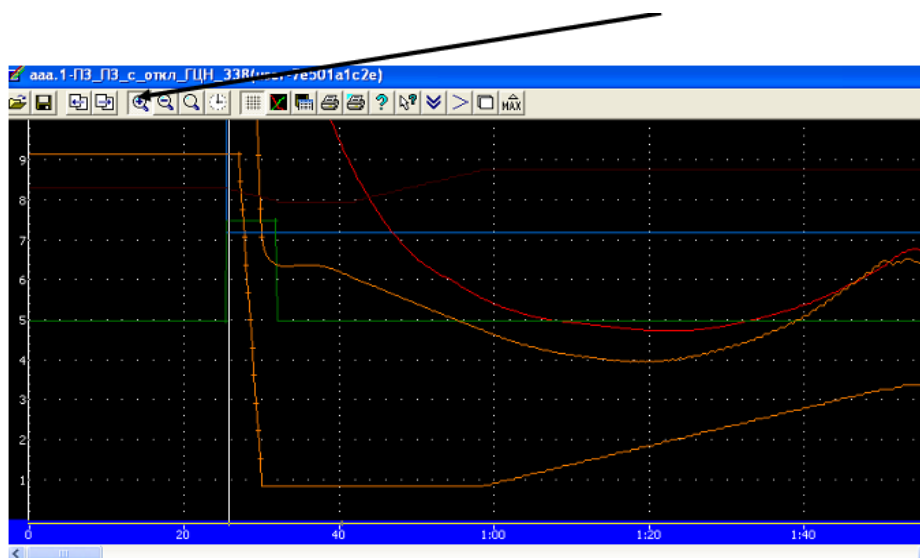


Рис. 109

Запомним данную конфигурацию (рис. 110).

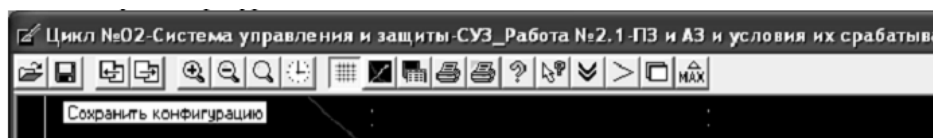


Рис.110

Создадим файл с именем, к примеру, «workrom.cfg» в каталоге lab_02.1 (рис. 111).

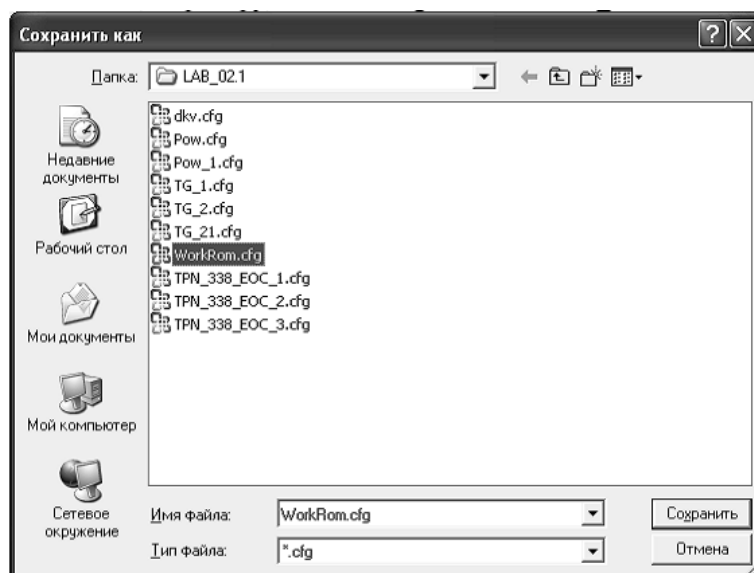


Рис. 111

Аналогично поступаем для всех остальных параметров, только для них выделяется весь интервал по времени с помощью нажатия кнопки с изображением пустой лупы (рис. 112).



Рис. 112

Данный интервал определяется по самой короткой траектории из всех правильных траекторий (см. выше).

Для 1-й группы параметров создаем файл Row_1.cfg (рис. 113).

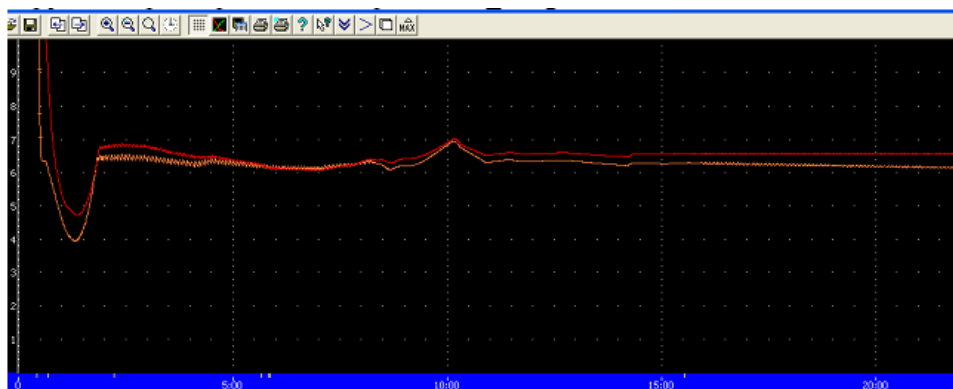


Рис. 113

Для 2-й группы параметров создаем файл Row_2.cfg (рис. 114).

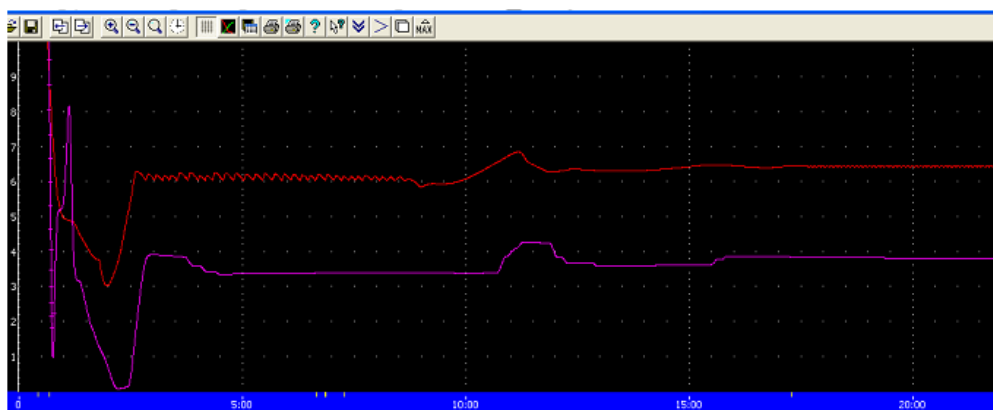


Рис. 114

Для 3-й группы параметров создаем файл dkv.cfg (рекомендуемые пределы для запаса по KV от -1 до 1, рис. 115).



Рис. 115

Для 5-й группы параметров поступаем следующим образом. По всем 4-м правильным траекториям выбираем интервал по времени, на котором практически не меняется борная кислота и не поднимается группа для УРБ (рис. 116). Выделяем нужные параметры, для них, устанавливаем нужные пределы (рекомендуемые – для бора $-0,1...8$, для средней температуры теплоносителя в активной зоне $290...310$) и создаем файл, к примеру, Tcool.cfg (рис. 117).

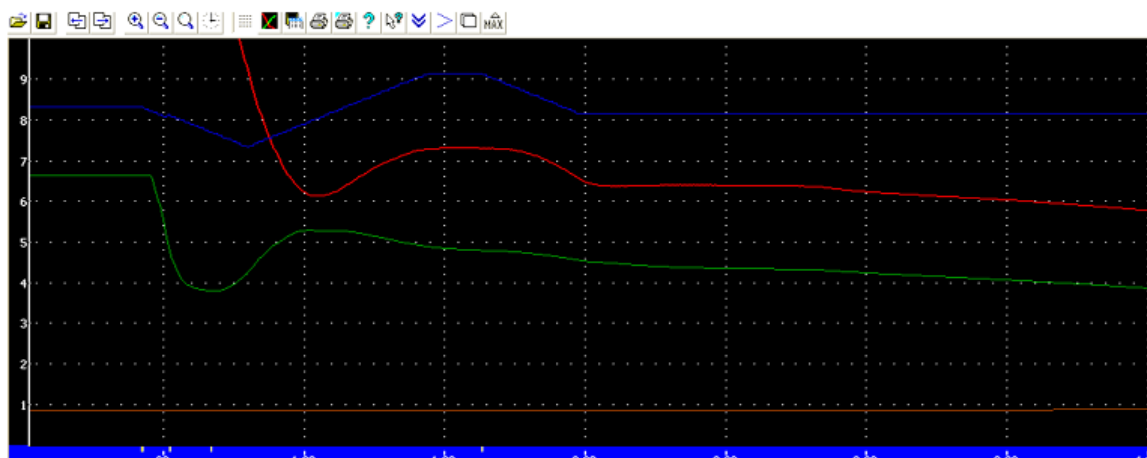


Рис. 116

Для данной лабораторной работы должны быть созданы для отключения ГЦН пять конфигураций и для отключения ТГ четыре конфигурации (2 группа параметров не нужна для режима с отключением ТГ).

РОМ, а для ЕОС – перестраиваются сильно. Показателем этого является заметное рассогласование между значениями мощности по АКНП и СВРК (рис. 119 - 125).

3) график

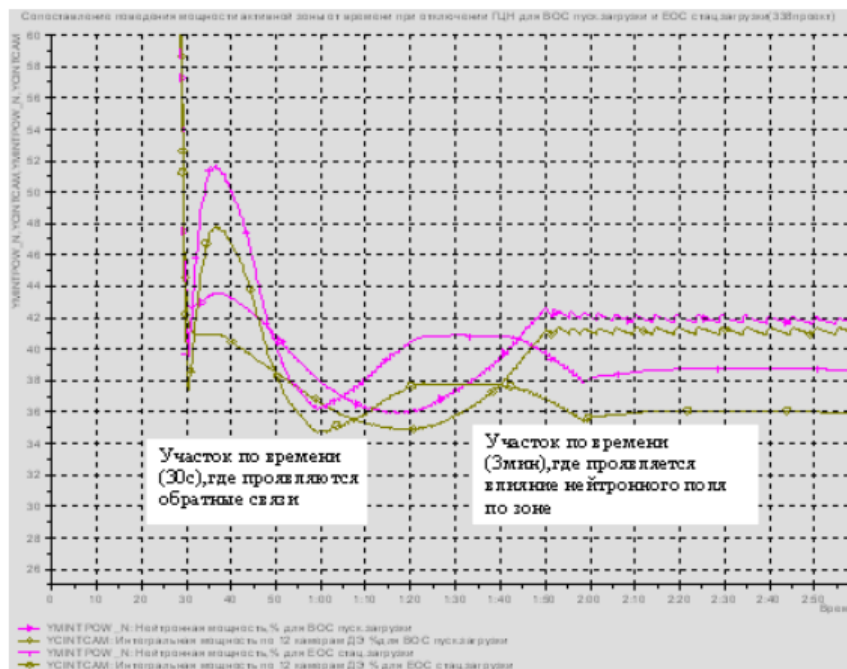


Рис. 119. График для нейтронной мощности зоны и мощности по БИК

4) график

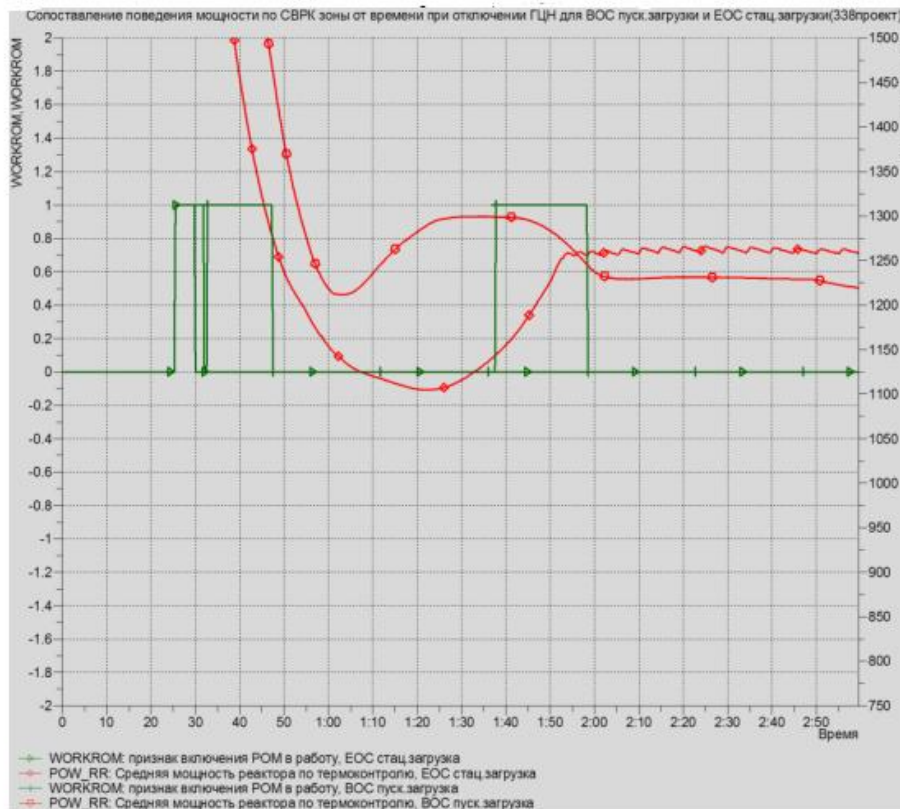


Рис 120. График для тепловой мощности реактора и указателя работы РОМ

5) график

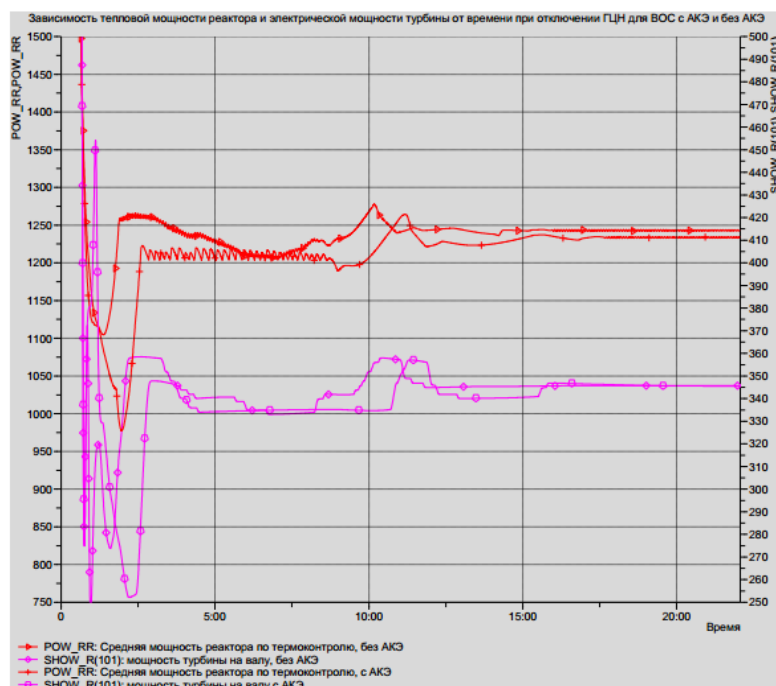


Рис. 121. График для тепловой мощности реактора и мощности турбины для ВОС пусковой загрузки

6) график

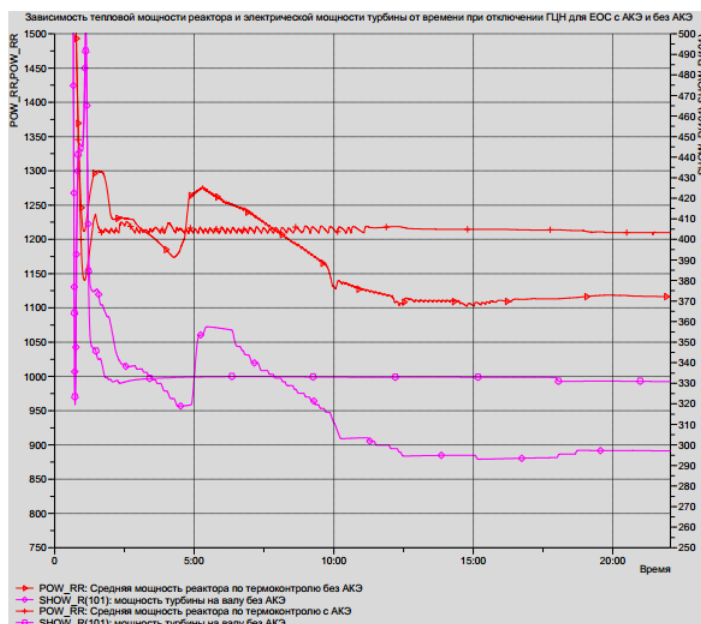


Рис. 122. График для тепловой мощности реактора и мощности турбины для ЕОС стационарной загрузки

7) график

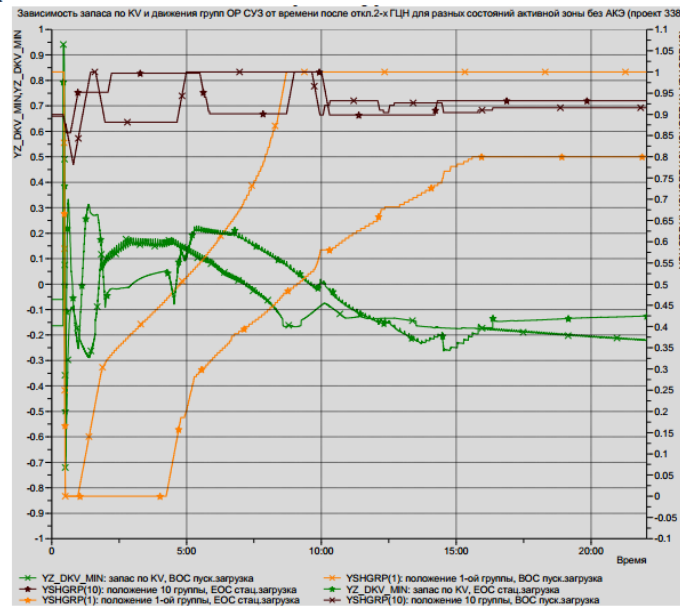


Рис. 123. График для запаса по KV для ВОО пусковой нагрузки

8) график

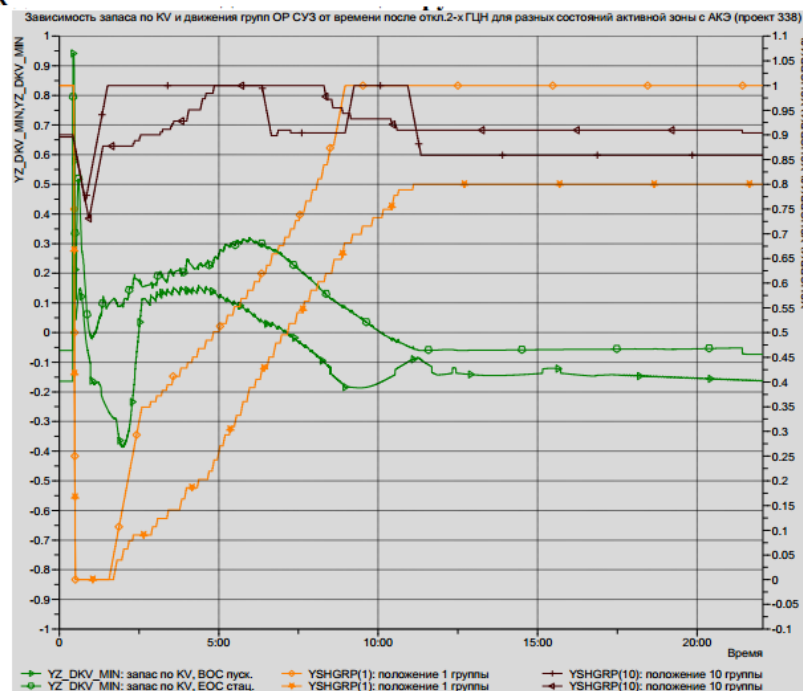


Рис. 124. График для запаса по KV для ВОО стационарной нагрузки

9) график

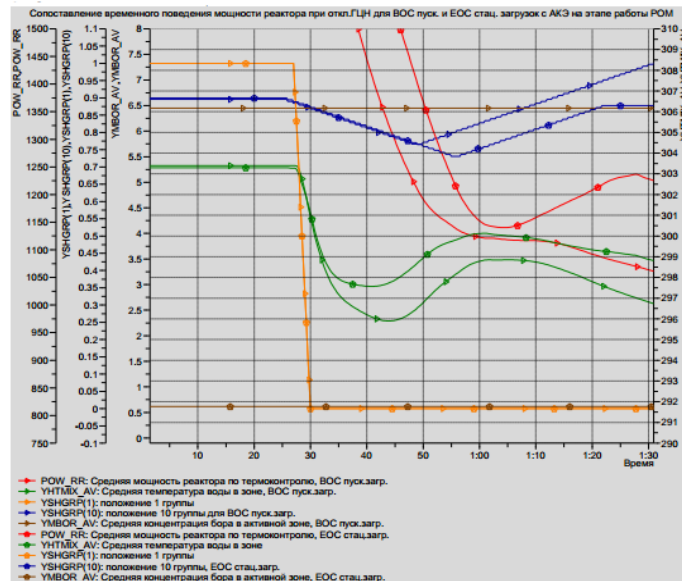


Рис. 125. График для анализа влияния температурных эффектов реактивности на разгрузку блока при отключении двух ГЦН

10) график для анализа влияния температурных эффектов реактивности на разгрузку блока при отключении двух ГЦН и ТГ для ВОС.

11) график для анализа влияния температурных эффектов реактивности на разгрузку блока при отключении двух ГЦН и ТГ для ЕОС.

Данный график представляет интерес, так как при отключении ТГ подогрев по зоне заметно уменьшается по сравнению с отключением двух ГЦН (когда уменьшается расход через зону). Температурные эффекты реактивности для одного и того же состояния зоны разные и перемещение ОР СУЗ существенно отличаются. Причем движение рабочей группы прямо противоположное для этих двух вариантов. При отключении ГЦН рабочая группа извлекается после падения группы для УРБ, а при отключении ТГ она погружается, так как в этом случае высвобождается гораздо больший эффект реактивности (он пропорционален изменению средней температуры теплоносителя). Для построения данного графика нужно произвести следующие действия. Вы находитесь в среде для обработки протоколов. Загружаем конфигурацию для 5-й группы параметров Tcool.cfg, к примеру, для четвертой правильной траектории – протокола режима с отключением ГЦН для ЕОС стационарной загрузки при работе системы АКЭ. Ниже показаны графики данной конфигурации (рис. 126).

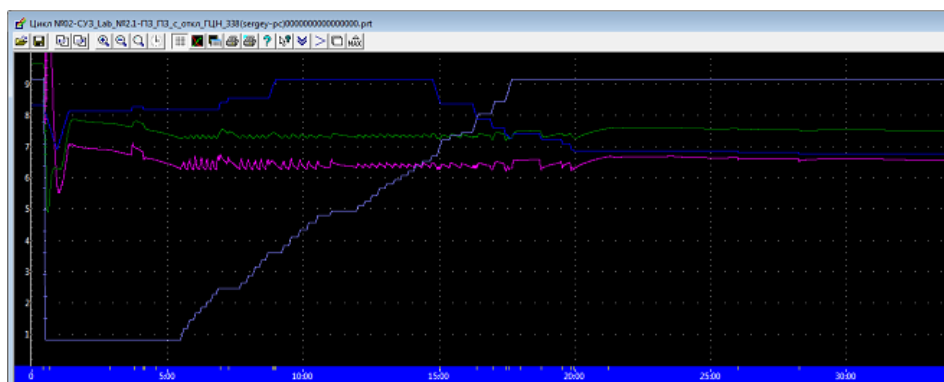


Рис. 126

Далее нажимаем на верхней линейке управления оболочки для обработки протоколов кнопку (рис. 127).

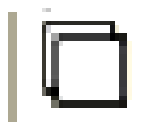


Рис. 127

Появляется окно с названиями протоколов данной лабораторной работы № 2.1. Их два с названиями учебного цикла, номера лабораторной работы и названия режима (рис. 128).

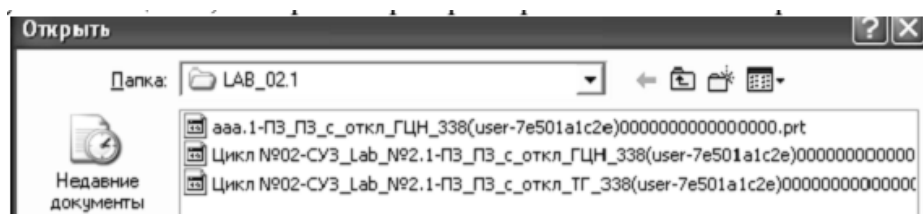


Рис. 128

Нужно выбрать протокол с названием работы для отключения ТГ и открыть его (рис. 129).

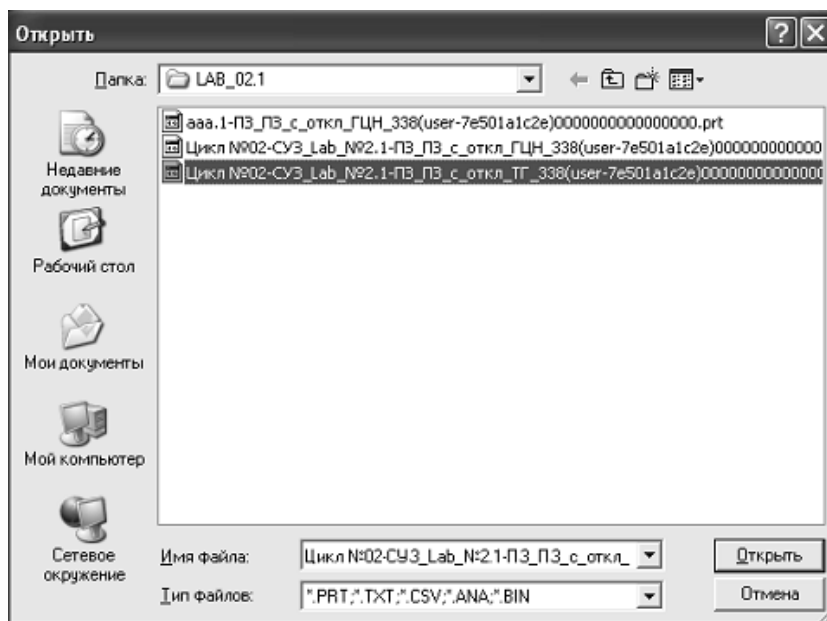


Рис. 129

Появляется новое окно с протоколом для режима ТГ в той же конфигурации переменных. Находим четвертую правильную траекторию для протоколов и переходим на неё (рис. 130).

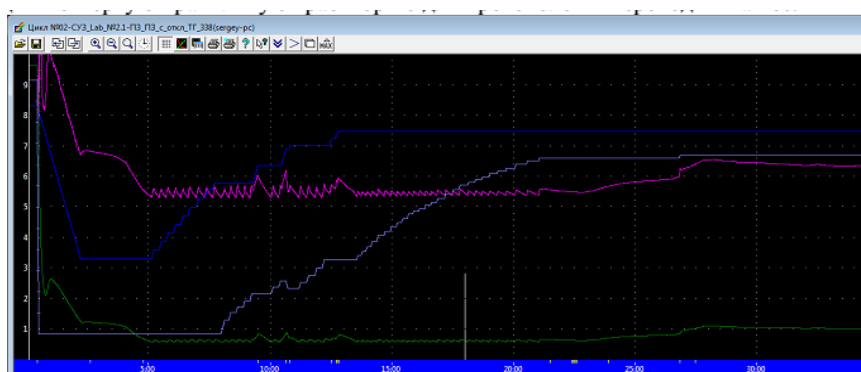


Рис. 130

Нажимаем на кнопку со вторым принтером и получаем графики для режима с отключением ТГ. Появляется белое окно с графиками выбранных параметров (рис. 131). Помечаем для каждой легенды, что она относится к режиму с отключением ТГ. Далее сворачиваем белое окно с оцифрованными графиками и переходим в предыдущее черное окно с графиками для режима с отключением ГЦН и нажимаем в этом окне на кнопку со вторым принтером. На белом окне получим наложение графиков для двух режимов. При наложении помечаем новые легенды для режима с отключением ГЦН.

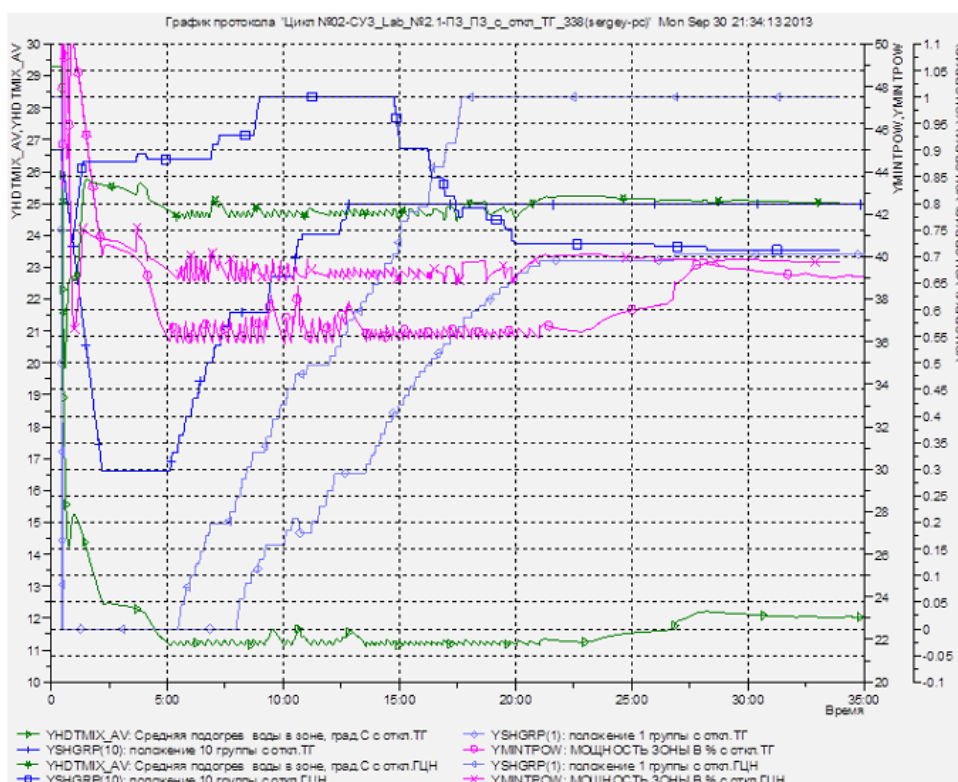


Рис. 131

При сравнении наложенных графиков видно, что средняя температура теплоносителя по зоне отличается для этих режимов на 12 градусов, чем и объясняется разное поведение в движении рабочей группы ОР СУЗ и группы УРБ. Более подробное объяснение должен дать обучаемый. Далее, как уже было указано, нужно через метафайл с расширением «emf» или через буфер обмена прямо в «WORD» документ сохранить все десять выше построенных графиков для режима с отключением ГЦН. Далее аналогично строится 11 график для анализа влияния температурных эффектов реактивности на разгрузку блока при отключении двух ГЦН и ТГ для ВОС пусковой загрузки.

Для режима с отключением ТГ строятся такие же графики за исключением графиков под номерами 5, 6, 10, 11. При построении графиков через «второй принтер» нужно проделать определенные действия по редактированию. Нужно отредактировать легенды для переменных и название графика (рис. 132).

К примеру по 10 графику до редактирования:

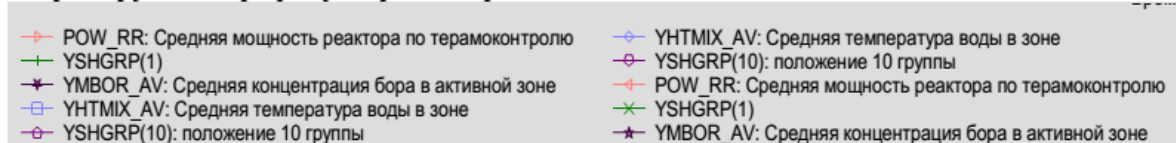
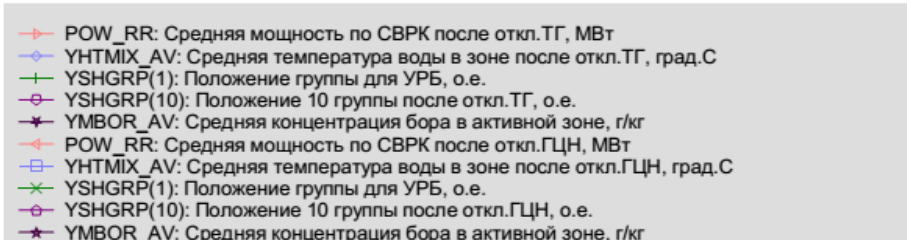


График протокола 'Цикл №02-СУЗ_Lab_№2.1-ПЗ_ПЗ_с_откл_ТГ_338(user-7e501a1c2e)' Sun May 12 13:11:01 2013

После редактирования:



Сопоставление временного поведения параметров активной зоны после откл.ТГ и ГЦН для ЕОС стационарной загрузки (338 проект) с АКЭ

Рис. 132

После редактирования сохраняем полученный график в соответствующую папку и каталог в виде метафайла или копируем через буфер обмена в документ «WORD» (рис. 133, 134).



Рис. 133

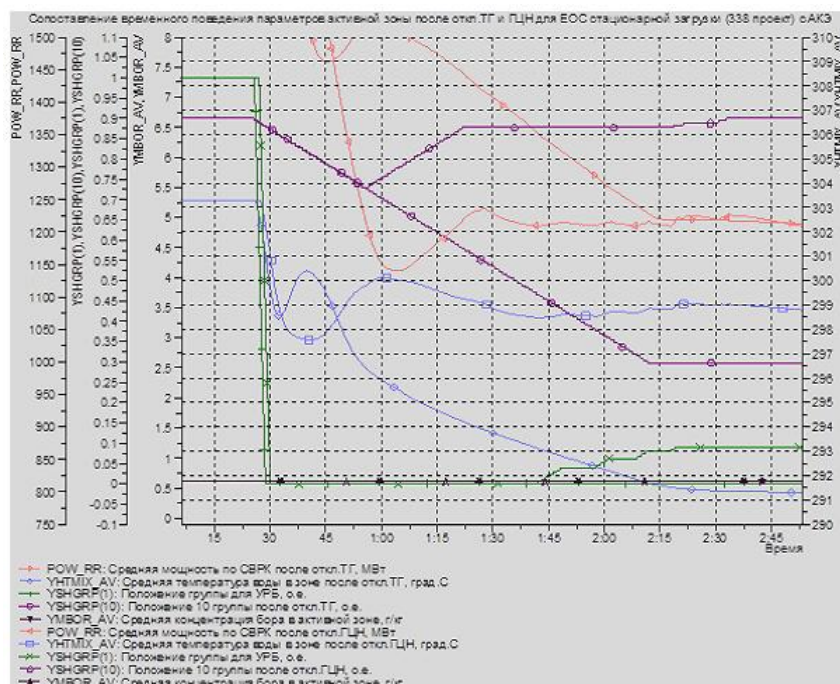


Рис. 134

Наиболее оптимальным средством хранения результатов выполнения различных лабораторных работ можно считать организацию преподавателем папки для студентов с общим доступом к ней, в которой каждый студент создает себе каталог со своим именем, где хранит результаты своих лабораторных работ (рис. 135).

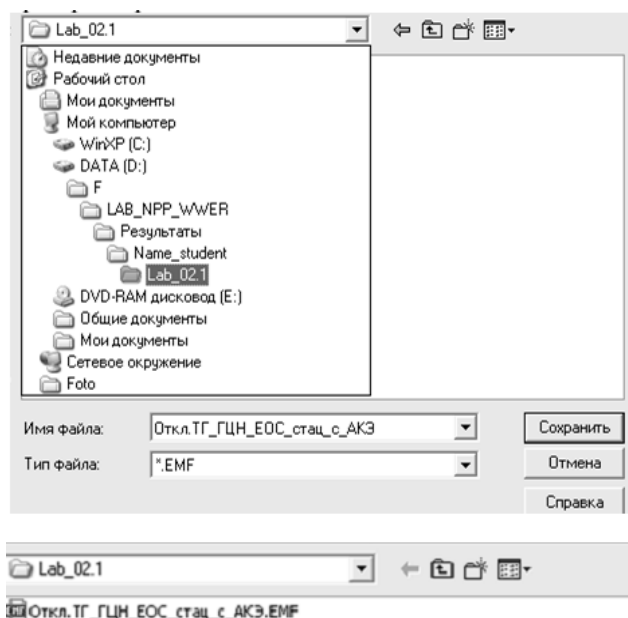


Рис. 135

Аналогичным образом поступаем для 11 построенных графиков и формируем 11 рисунков или помещаем их в один документ «WORD» в той же каталог. Для протокола с результатами выполнения работы по моделированию ре-

жима с отключением ТГ поступаем также, только для этого режима строится 7 графиков без 5,6 и 10,11.

Критерии успешности выполнения работы № 2.1.

1. Выполнить в полном объеме задание для выбранного преподавателем варианта занятия и обеспечить после прекращения действия ПЗ стабилизацию параметров при выполнении полевых ограничений по локальной мощности в активной зоне.

2. Получить результаты протоколирования необходимых параметров по завершению занятия.

3. Оформить вышеуказанные результаты в виде краткого отчета с графиками и выводами по полученным результатам. Отчет представляется в электронном и печатном виде.

4. Провести анализ отчетных материалов совместно с преподавателем при защите выполненной работы.

5. Дать правильный ответ на контрольные вопросы по данному занятию.

Отчет должен содержать следующие материалы:

- графики с временными зависимостями интегральной мощности по БИК и по СВРК, запаса по KV и других указанных параметров для двух заданий данной лабораторной работы;
- заключение с анализом результатов расчетных исследований.

Глава 8. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ К РАБОТЕ

1. Почему не рекомендуется разгружать реактор ниже 40 % от номинальной мощности при работающей турбине?

2. Почему опасно нарушение нормальной эксплуатации, приводящее к разгрузке блока до 40 % от номинальной мощности при работающей турбине в конце кампании?

3. Почему значения мощности по БИК (без их коррекции) и по СВРК различаются и как это различие зависит от степени погружения управляющей группы ОР СУЗ?

4. Погружение периферийной группы ОР СУЗ (расположенной во втором ряду ТВС от края активной зоны) приводит к завышению или к занижению значения мощности по БИК по сравнению с реальной мощностью реактора?

5. Погружение внутренней группы ОР СУЗ (расположенной в четвертом или пятом рядах ТВС от края активной зоны) приводит к завышению или к занижению значения мощности по БИК по сравнению с реальной мощностью реактора?

6. Почему извлечение группы УРБ, как правило, приводит к увеличению запаса по KV в объеме активной зоны, а не к уменьшению?

7. Почему для определенных состояний активной зоны при работе ПЗ происходит повторное включение РОМ при разгрузке энергоблока, и какие обстоятельства этому способствуют?

ЛИТЕРАТУРА

1. Общие положения обеспечения безопасности атомных станций. ОПБ-88/97, НП-001-97 (ПНАЭ Г-01-011-97). – Москва, 1997.
2. Правила ядерной безопасности реакторных установок атомных станций. НП-082-07. – Москва, 2007.
3. Комплекс электрооборудования системы управления и защиты реактора ВВЭР-1200 (В-392М) Нововоронежской АЭС-2 и (В-491) Ленинградской АЭС-2.
4. Система управления и защиты. Описание алгоритмов автоматического регулирования мощности. 392М.12 Д2, ОКБ «ГИДРОПРЕСС», 2008.
5. Системы управления и защиты ядерных реакторов. Серия: Безопасность атомных станций. Под редакцией д.т.н. М.А. Ястребенецкого. – Киев: “Основа-Принт”, 2011. – 770 с.
6. Аникевич К. П. Системы управления и защиты реактора ВВЭР-1000 (издание переработанное): учебное пособие. – Севастополь: СНУЯЭиП, 2006. – 208 с.
7. Аникевич К. П. Структурная схема АСУ ТП энергоблока АЭС: учебное пособие. – Севастополь: СевГУ, 2018. – 282 с.
8. Требования к управляющим системам, важным для безопасности атомных станций. НП-026-04, Москва, 2004.
9. Описание лабораторного практикума. «Методические указания к выполнению лабораторных работ». МАГАТЭ-НИЯУ МИФИ. Кафедра «Автоматика». Москва, 2013. – Том. 4. Книга 1. – 595 с.

Учебное издание

Авторы:

**Аникевич Константин Павлович, Скидан Александр Антонович,
Зацаринная Татьяна Григорьевна, Фролова Альбина Николаевна**

УСТРОЙСТВО РАЗГРУЗКИ И ОГРАНИЧЕНИЯ МОЩНОСТИ, УСКОРЕННАЯ РАЗГРУЗКА БЛОКА. ПРАКТИКУМ – ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА ПО РОМ И УРБ

Учебное пособие

Часть 2

В авторской редакции

Изд. № 202/2021. Объем 6,25 п.л. Усл. печ. л. 5,81. Уч.-изд. л. 6,13.
РИИЦМ ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»