

Применение компьютерных тренажеров АЭС для подготовки специалистов в высшей школе

Минск, Белоруссия,
24 – 28 Мая 2010

Аналитический тренажер ЯЭУ с ВВЭР-1000 «КОС-А3»

Чернов Е.В., Выговский С.Б.
chernov.e@inbox.ru, vigovskii@mail.ru

Москва, МИФИ, Кафедра № 2
«Автоматики»

Аналитический тренажер ЯЭУ с ВВЭР-1000 «КОС-А3»

ПЛАН СЕМИНАРА ПО «КОС-А3»:

1. Характеристика тренажера и инструментальных средств поддержки его работы. Перечень решаемых на тренажере задач.
2. Демонстрация функциональных возможностей тренажера и решаемых на тренажере задач.
3. Практические занятия на тренажере.

Аналитический тренажер ЯЭУ с ВВЭР-1000 «КОС-АЗ»

ЦЕЛИ СЕМИНАРА ПО «КОС-АЗ»:

- Знакомство со средствами и объёмом моделирования РУ ВВЭР-1000 в тренажёре «КОС-АЗ».
- Знакомство со средствами отображения результатов моделирования и управлением тренажером «КОС-АЗ» в диалоговом режиме в реальном масштабе времени.
- Закрепление полученных знаний и навыков на примере решения ряда учебных задач.
- Знакомство со средствами обработки и анализа результатов выполнения учебных задач на тренажере «КОС-АЗ».

Аналитический тренажер ЯЭУ с ВВЭР-1000 «КОС-А3»

Часть 2.
Демонстрация функциональных
возможностей тренажера и решаемых на
тренажере задач.

Содержание части 2

1. Введение.
2. Установка и удаление тренажера.
3. Пуск тренажера.
4. Выбор учебной задачи.
5. Запуск, останов и выход из учебной задачи.
6. Основное управление тренажером.
7. Анализ протокола учебной задачи.
8. Экранные «Форматы» тренажера.
9. Перечень и описание учебных задач.
10. Демонстрация учебных задач.

1. Введение

- Тренажер разрабатывался для подготовки персонала АЭС. После значительного усечения объёма моделирования тренажер стал пригоден для образовательных целей.
- В текущей конфигурации тренажер пригоден для обучения основным физическим явлениям в реакторе ВВЭР-1000 и основам управления ЯЭУ.
- Тренажер «КОС-АЗ» работает на персональных компьютерах в реальном масштабе времени и со значительным ускорением.
- Взаимодействие пользователя с тренажером организовано через набор экранных «форматов» и «мышь».
- Предполагается что пользователи тренажера знакомы с основами конструкции и физики реактора ВВЭР-1000.

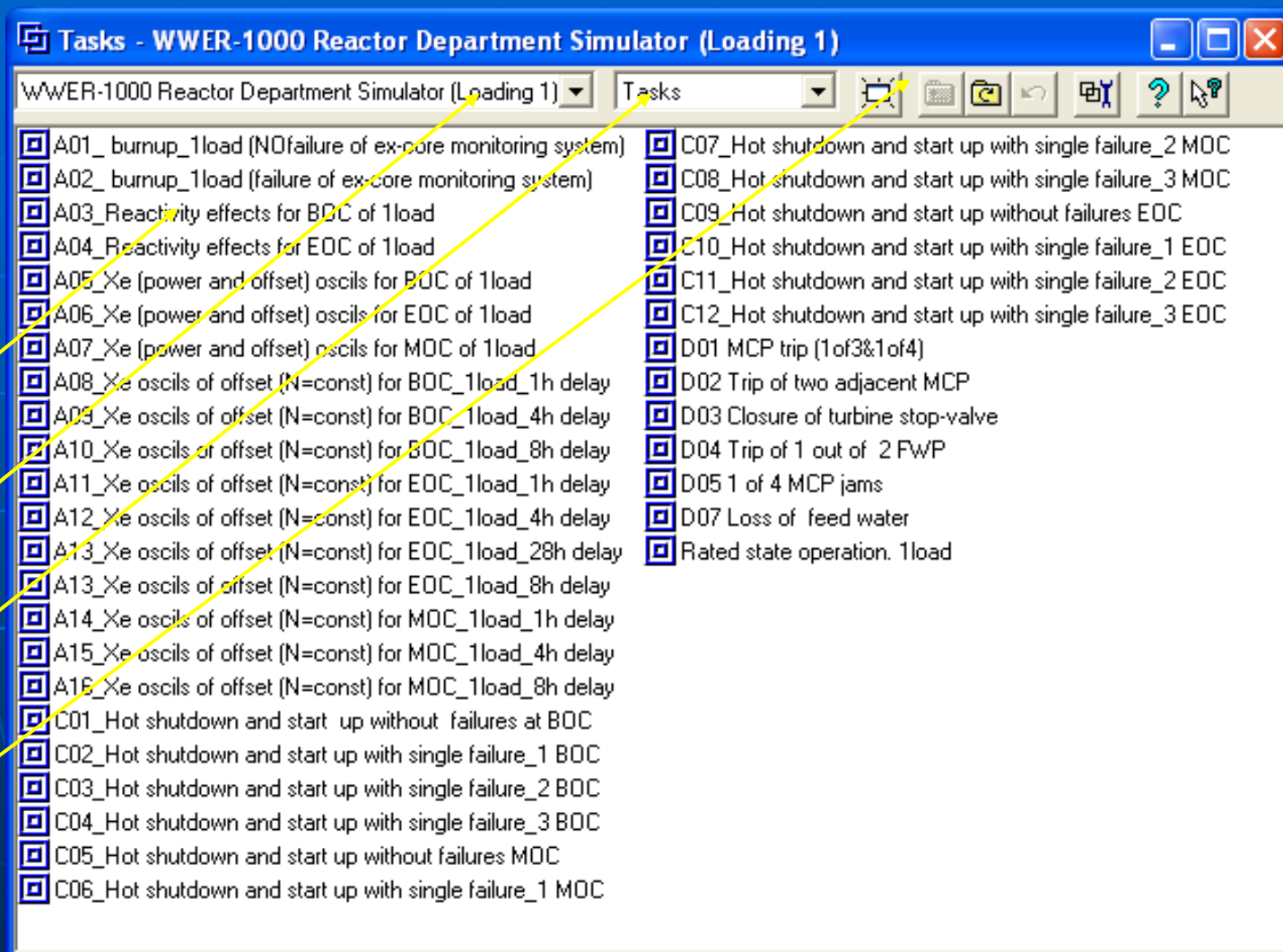
2. Установка и удаление тренажера

- Тренажер может быть установлен двумя способами:
 - с помощью программы установки с CD «WWER-1000 Reactor Department Simulator»
 - прямым копированием
- Удаление тренажера соответствует способу его установки:
 - запуск программы деинсталляции из меню программ
 - удаление директории с тренажером с диска

3. Пуск тренажера.

- Производится в соответствии со способом его установки:
 - выбором ярлыка тренажера в соответствующем пункте меню программ
 - запуском исполняемого файла в корневой директории тренажера
- Запуск тренажера возможен так же с CD-диска, без копирования его на жесткий диск компьютера.

Окно выбора задач



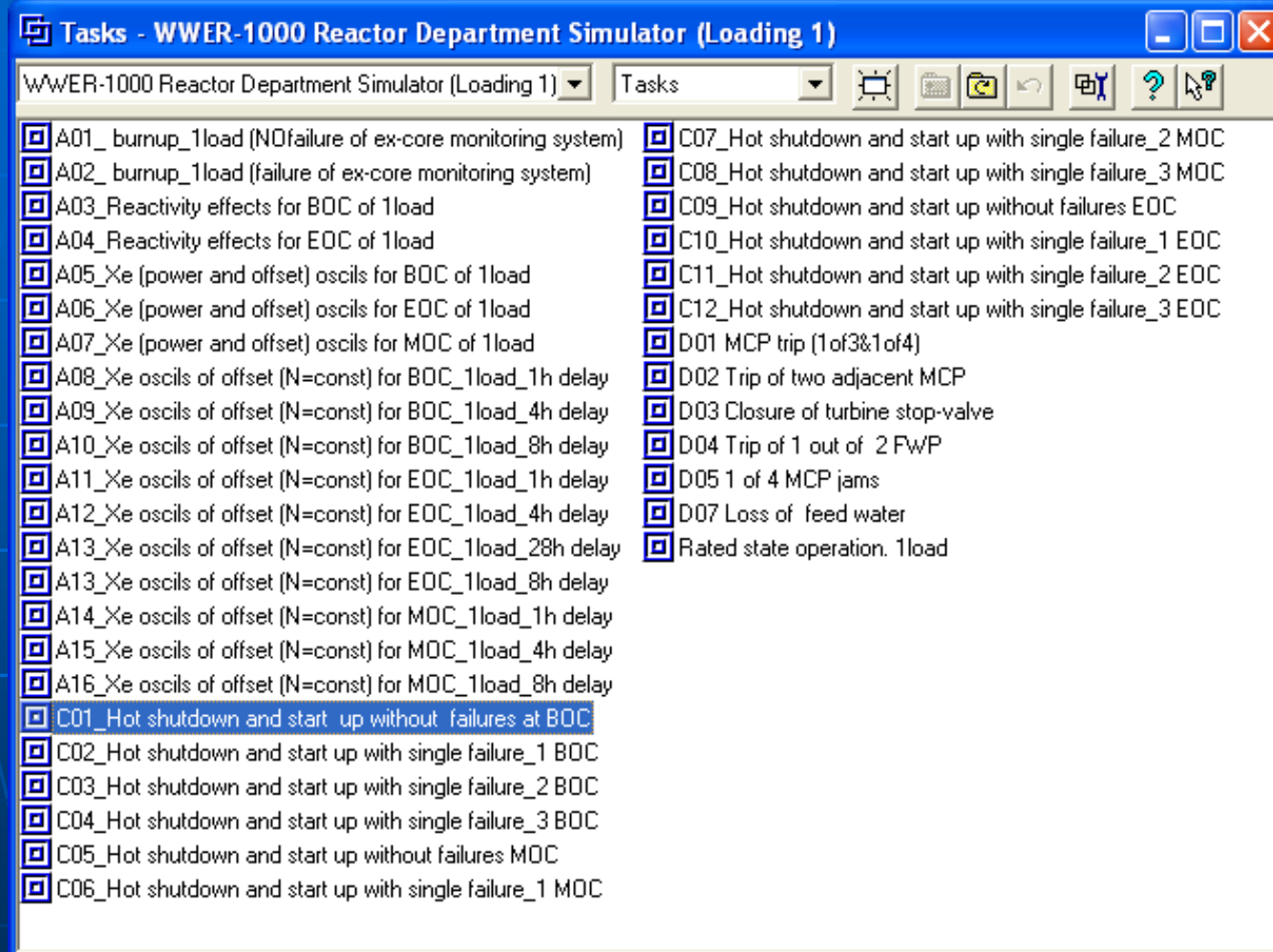
Элементы окна выбора задач

1. Перечень учебных задач.
2. Выбор топливной загрузки.
3. Выбор типа файлов, отображаемых в окне.
4. Панель инструментов.

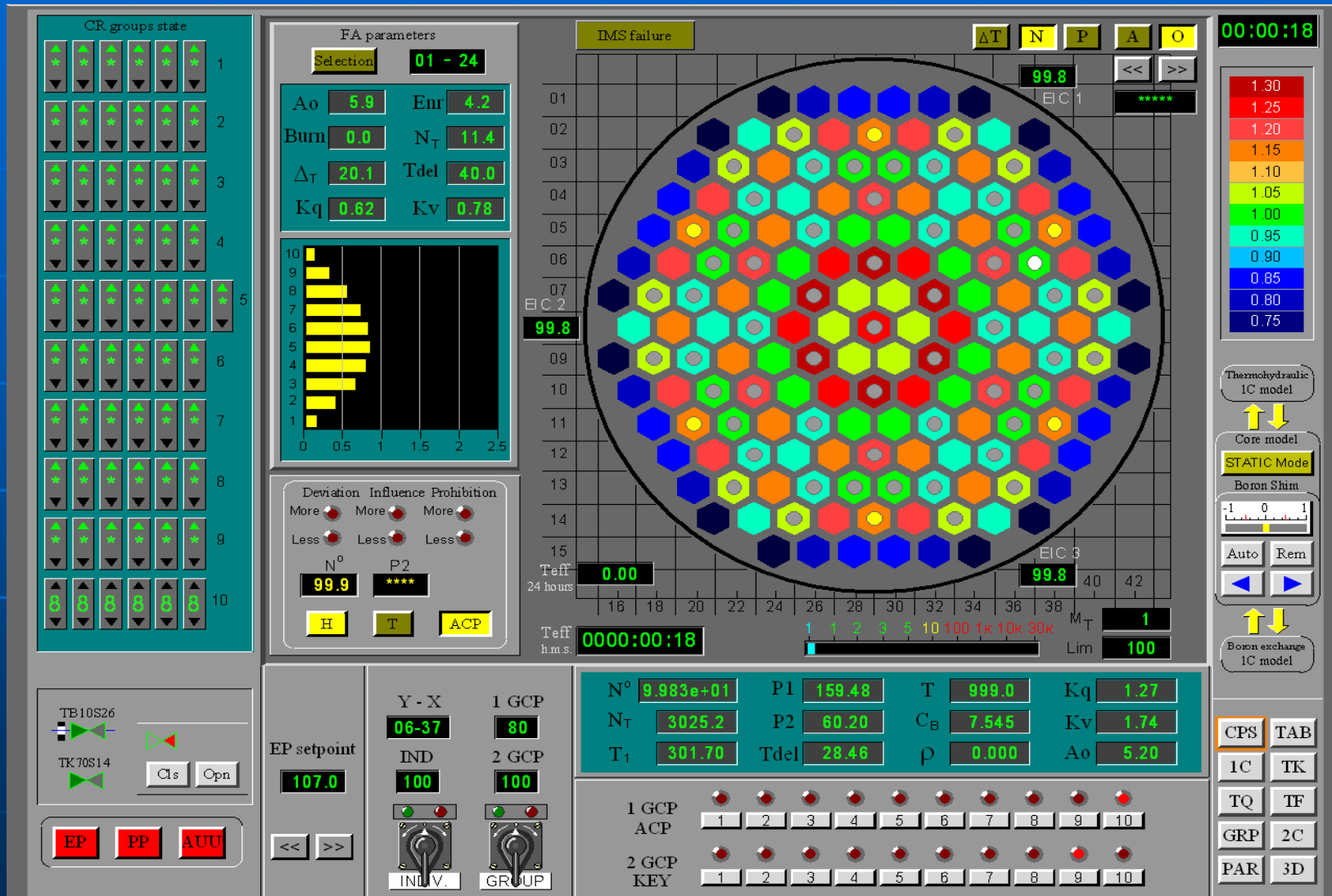
Конфигурация учебной задачи

- Тренажер стартует с определённого «начального состояния» ИС, определяющего значения всех переменных модели.
Т.о. ИС полностью определяет состояние РУ на начало выполнения учебной задачи.
- Каждой учебной задаче соответствует «Скрипт», в котором заранее определена последовательность и характер воздействий на переменные модели. Скрипт может быть пустым.
- В дополнение к скрипту в учебной задаче может быть предусмотрено воздействие на модель со стороны обучаемого.

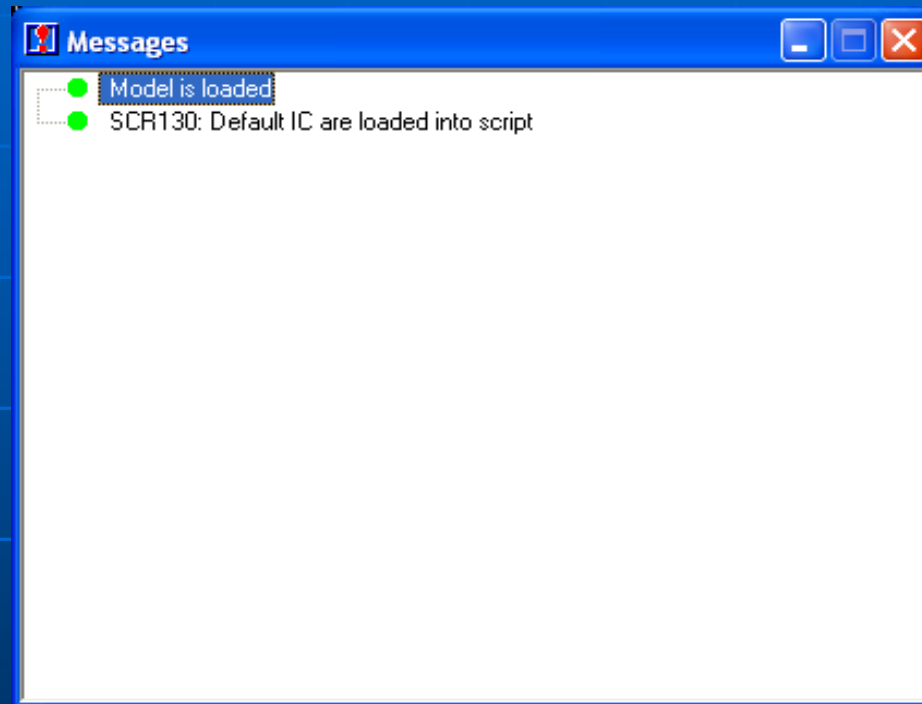
4. Выбор учебной задачи



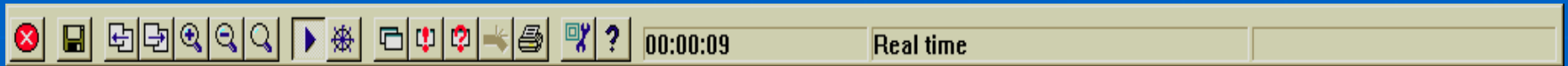
Основной экранный «формат» «CPS»



Окно сообщений



5. Запуск, останов и выход из учебной задачи



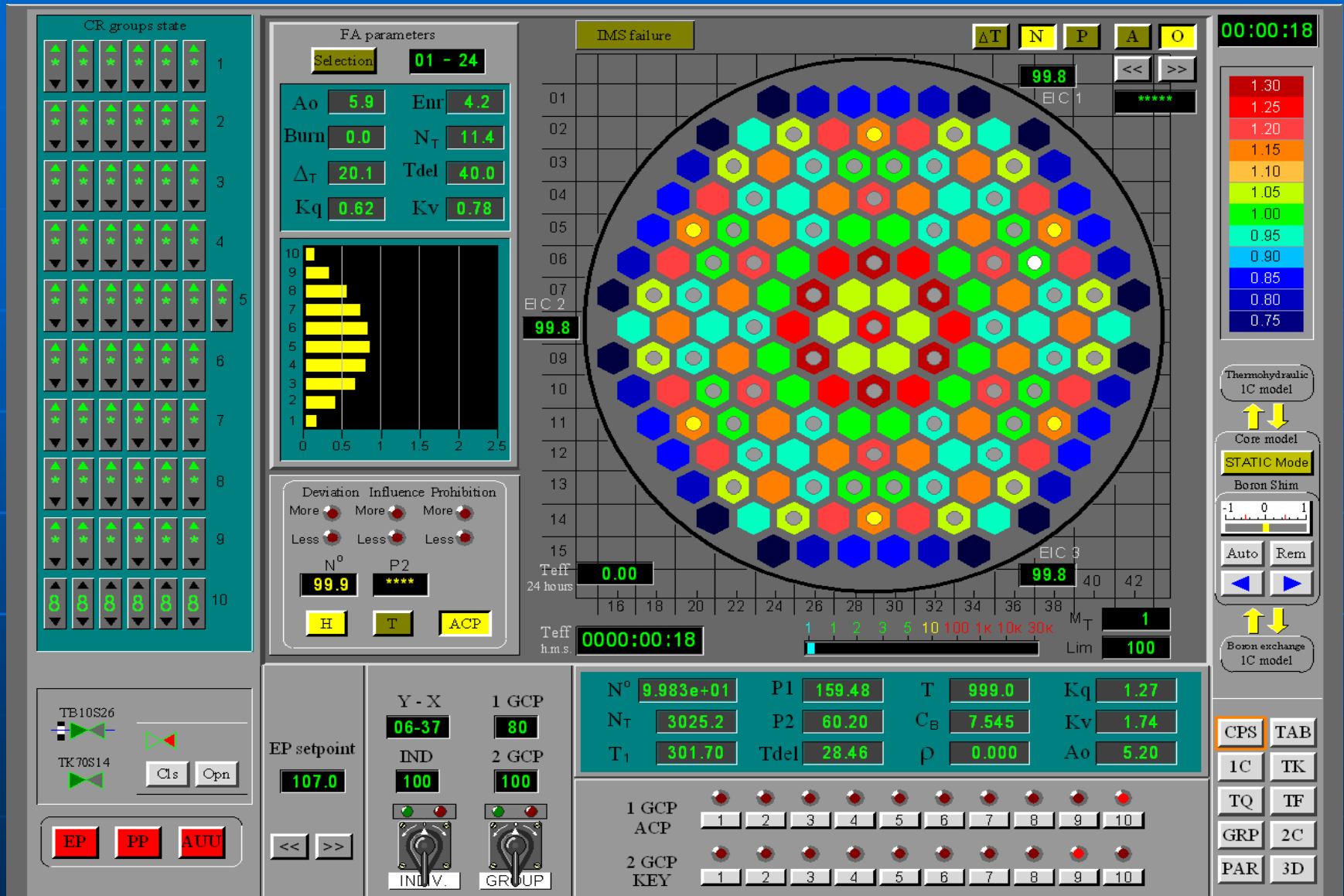
- Запуск учебной задачи осуществляется нажатием кнопки «Start/Stop».
- Прекращение выполнения учебной задачи осуществляется отжатием кнопки «Start/Stop». Повторное нажатие кнопки позволяет продолжить выполнение задачи и т.д.
- Выход из учебной задачи осуществляется кнопкой «Exit», будет запрошено подтверждение.

6. Основное управление тренажером

Управление тренажером сводится к управлению

- Стержнями регулирования (ОР СУЗ)
- Насосами
- Задвижками
- Автоматическими регуляторами

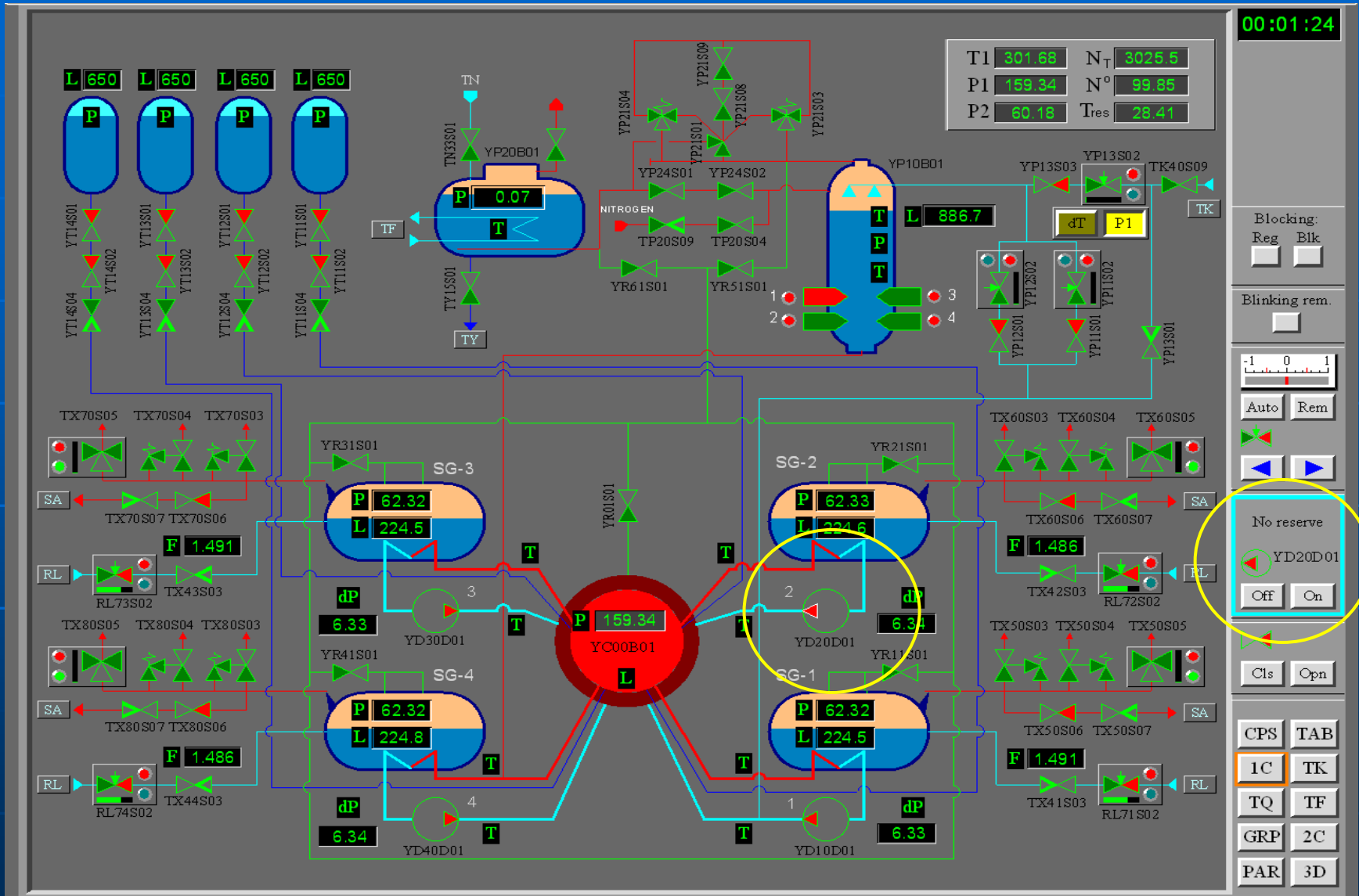
6.1. Управление ОР СУЗ



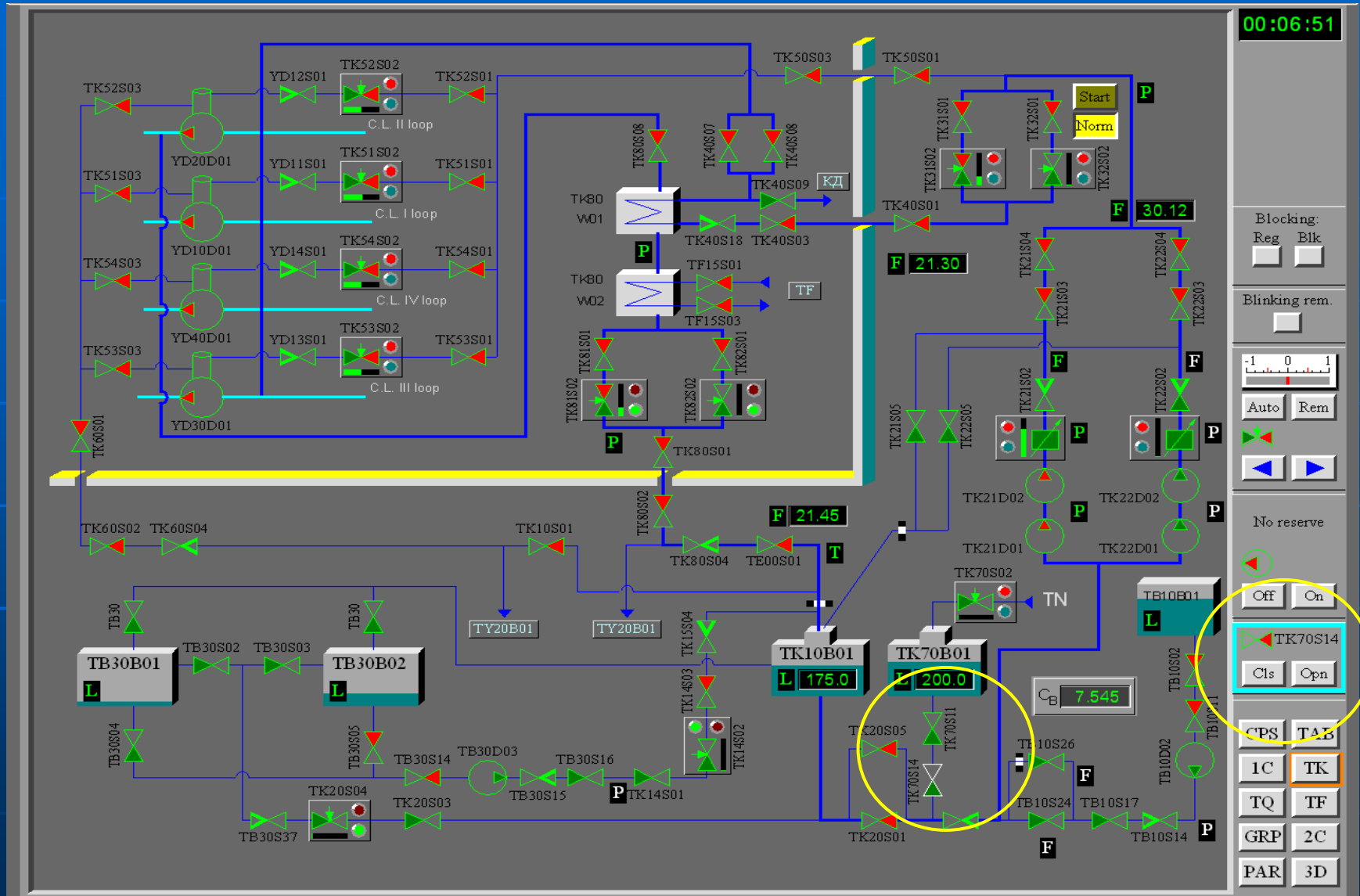
Управление ОР СУЗ может осуществляться

- От кнопок АЗ, ПЗ и УРБ.
- По группам ОР СУЗ.
- Индивидуально.

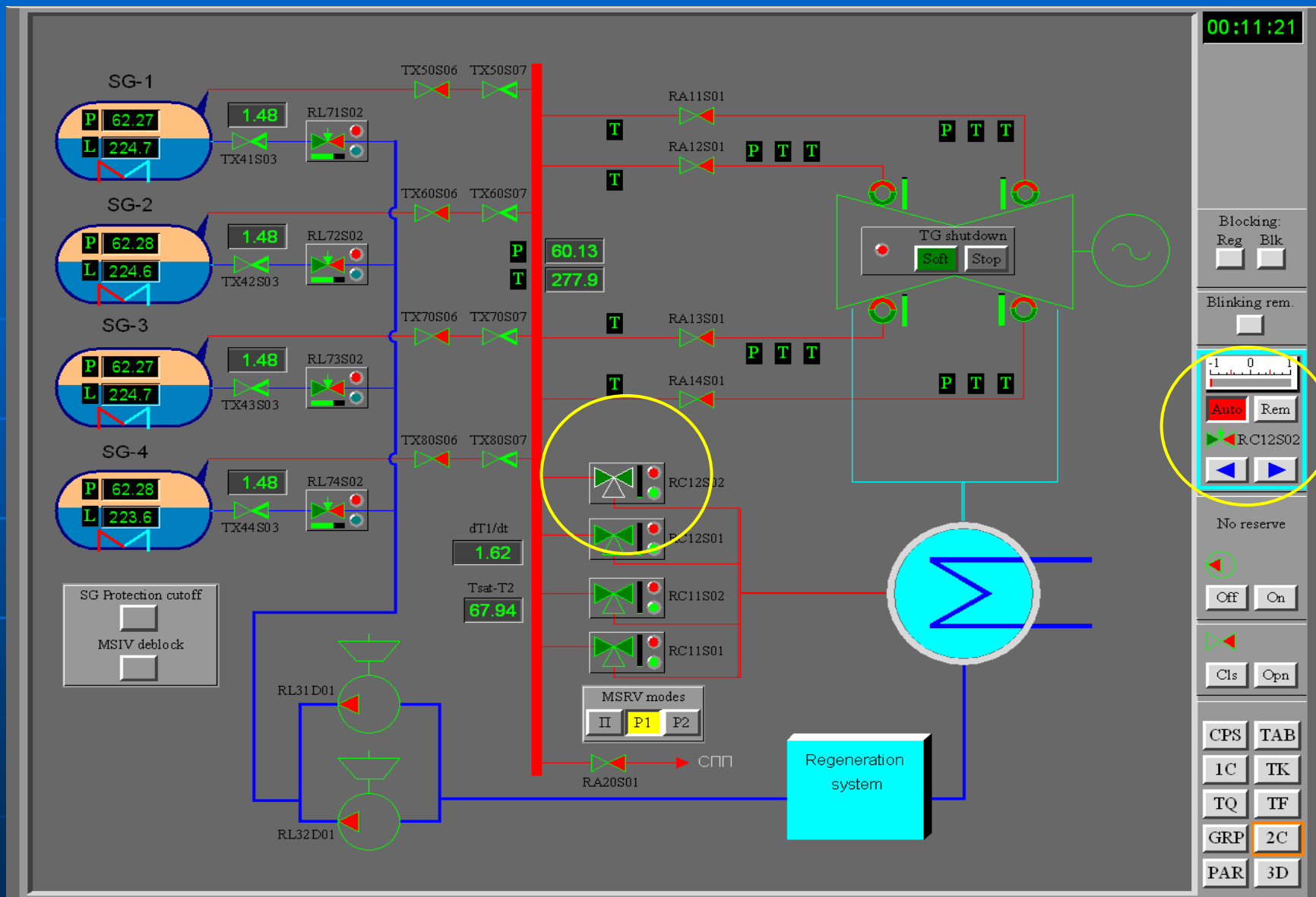
6.2. Управление насосами



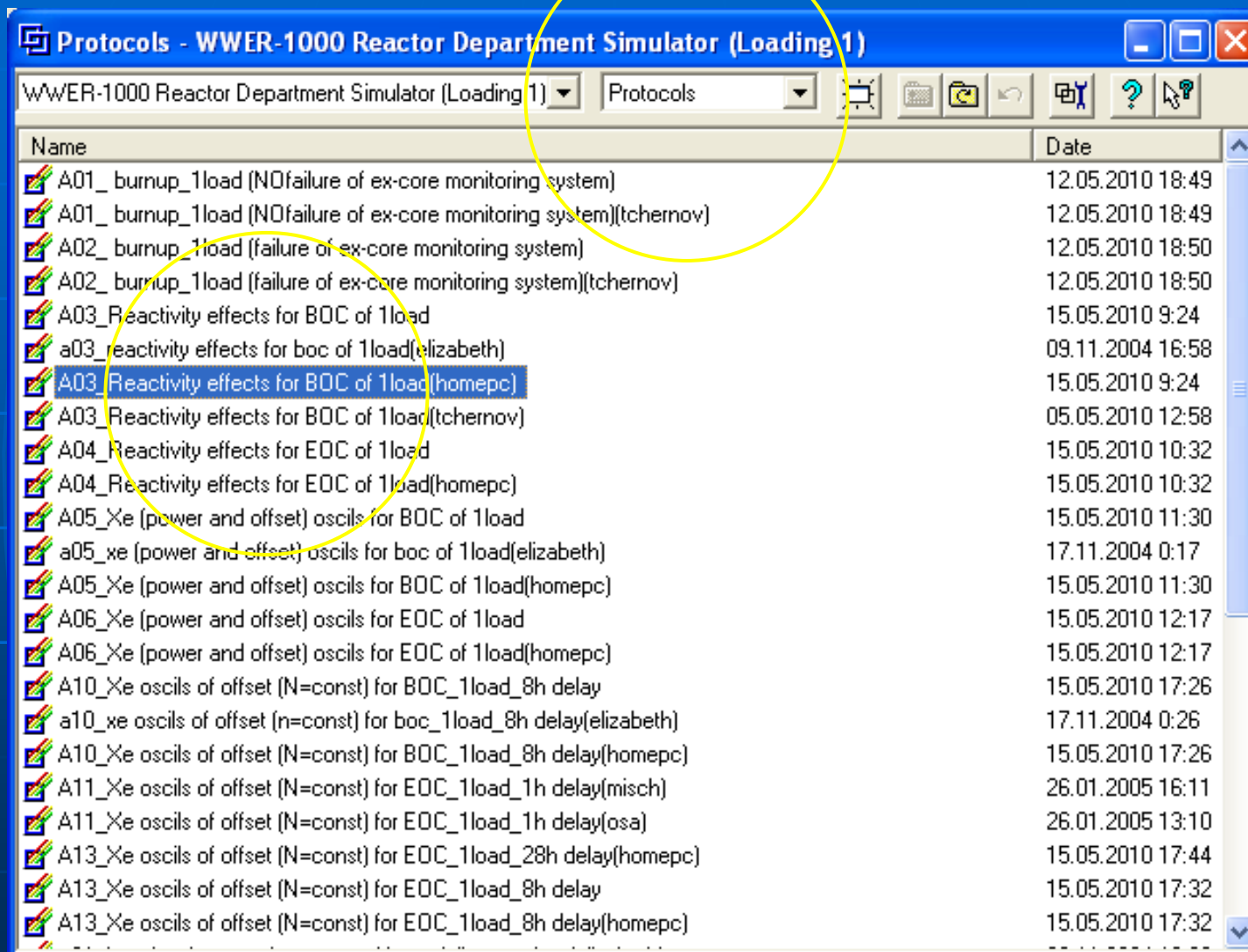
6.3. Управление задвижками



6.4. Управление автоматическими регуляторами



7. Анализ протокола учебной задачи



Protocols - WWER-1000 Reactor Department Simulator (Loading 1)

WWER-1000 Reactor Department Simulator (Loading 1) Protocols

Name	Date
A01_burnup_1load (NOfailure of ex-core monitoring system)	12.05.2010 18:49
A01_burnup_1load (NOfailure of ex-core monitoring system)(tchernov)	12.05.2010 18:49
A02_burnup_1load (failure of ex-core monitoring system)	12.05.2010 18:50
A02_burnup_1load (failure of ex-core monitoring system)(tchernov)	12.05.2010 18:50
A03_Reactivity effects for BOC of 1load	15.05.2010 9:24
a03_reactivity effects for boc of 1load(elizabeth)	09.11.2004 16:58
A03_Reactivity effects for BOC of 1load(homepc)	15.05.2010 9:24
A03_Reactivity effects for BOC of 1load(tchernov)	05.05.2010 12:58
A04_Reactivity effects for EOC of 1load	15.05.2010 10:32
A04_Reactivity effects for EOC of 1load(homepc)	15.05.2010 10:32
A05_Xe (power and offset) oscils for BOC of 1load	15.05.2010 11:30
a05_xe (power and offset) oscils for boc of 1load(elizabeth)	17.11.2004 0:17
A05_Xe (power and offset) oscils for BOC of 1load(homepc)	15.05.2010 11:30
A06_Xe (power and offset) oscils for EOC of 1load	15.05.2010 12:17
A06_Xe (power and offset) oscils for EOC of 1load(homepc)	15.05.2010 12:17
A10_Xe oscils of offset (N=const) for BOC_1load_8h delay	15.05.2010 17:26
a10_xe oscils of offset (n=const) for boc_1load_8h delay(elizabeth)	17.11.2004 0:26
A10_Xe oscils of offset (N=const) for BOC_1load_8h delay(homepc)	15.05.2010 17:26
A11_Xe oscils of offset (N=const) for EOC_1load_1h delay(misch)	26.01.2005 16:11
A11_Xe oscils of offset (N=const) for EOC_1load_1h delay(osa)	26.01.2005 13:10
A13_Xe oscils of offset (N=const) for EOC_1load_28h delay(homepc)	15.05.2010 17:44
A13_Xe oscils of offset (N=const) for EOC_1load_8h delay	15.05.2010 17:32
A13_Xe oscils of offset (N=const) for EOC_1load_8h delay(homepc)	15.05.2010 17:32

Окно Протоколировщика



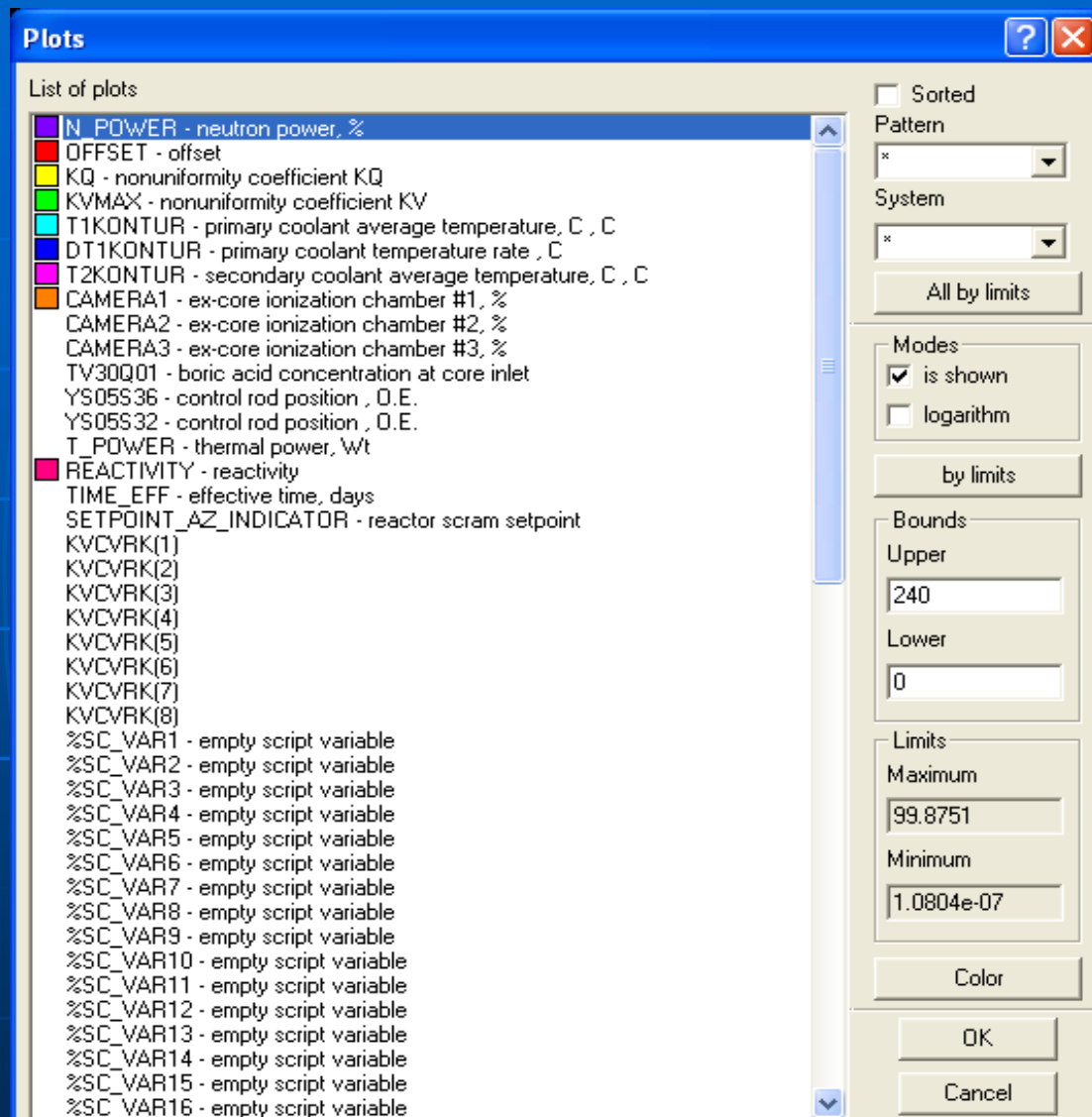
Элементы Протоколировщика

1. Панель инструментов.
2. Область графика.
3. Отображаемые переменные.
4. Окно текстовых сообщений.
5. Окно «траекторий» выполнения учебных задач.

Основные функции Протоколировщика

- Просмотр протоколов, сохранение и загрузка конфигурации просмотра.
- Масштабирование и просмотр графиков временной зависимости переменных модели.
- Выбор переменных для отображения на графике.
- Сохранение данных в текстовый файл.
- Печать графиков.

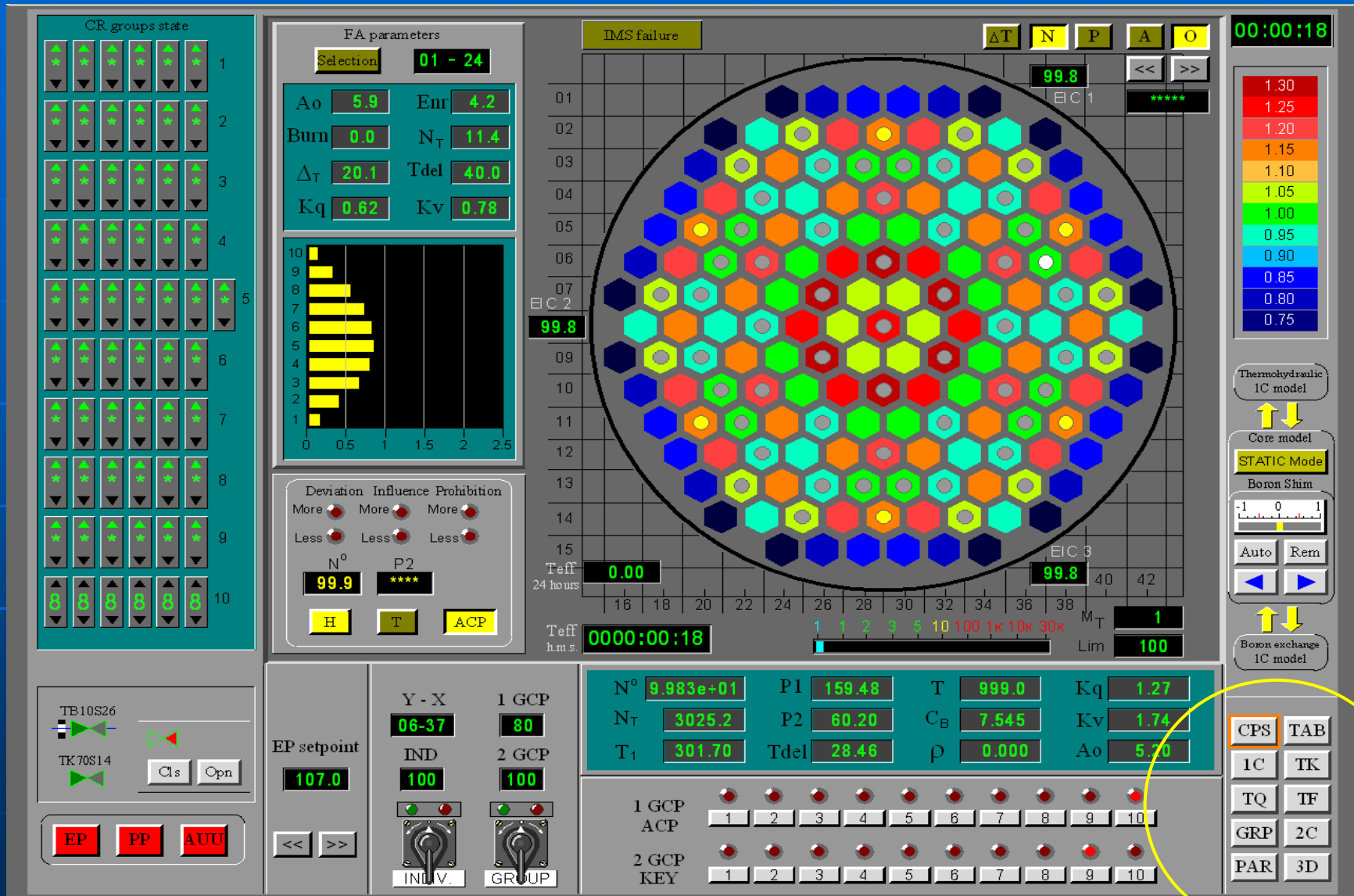
Настройка Протоколировщика



8. Экранные «Форматы» тренажера

1. «CPS» – формат СУЗ, основной формат «КОС-АЗ».
2. «ТАВ» – формат табло сигнализации.
3. «1С» – формат первого контура.
4. «ТК» – формат системы подпитки – продувки.
5. «TQ» – формат систем безопасности:
 - (аварийного) расхолаживания
 - аварийного ввода бора низкого и высокого давления
 - аварийного питания ПГ
6. «TF» – формат оргпротечек:
 - системы охлаждения промконтура ГЦН и барботёра
 - системы оргпротечек внутри и вне контеймента
7. «2С» – формат 2-го контура.
8. «GRP» – формат графиков.
9. «PAR» – формат 2D отображения результатов расчёта.
10. «3D» – формат 3D отображения результатов расчёта.

Селектор переключения экранных форматов

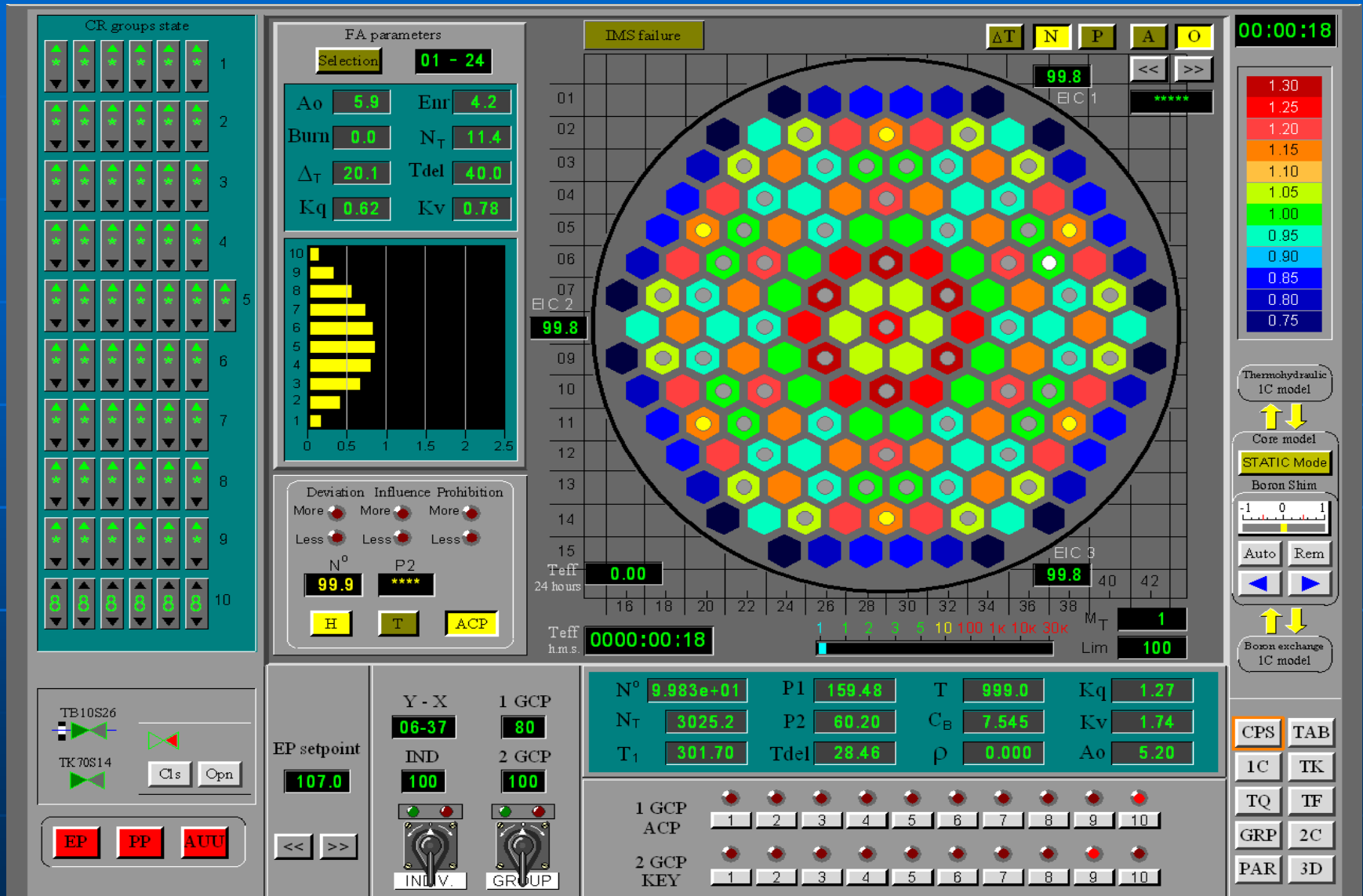


Размерности величин и обозначения на форматах

Расход	Тонны / Час
Давление	КГ / СМ ²
Температура	°С
Концентрация	Г / КГ
Положение (задвижка)	[0...1]
Реактивность	%ΔК/К.

S	Клапан
B	Бак
W	Теплообменник
D	Насос
T	Температура
L	Уровень
F	Расход
P	Давление
Q	Концентрация

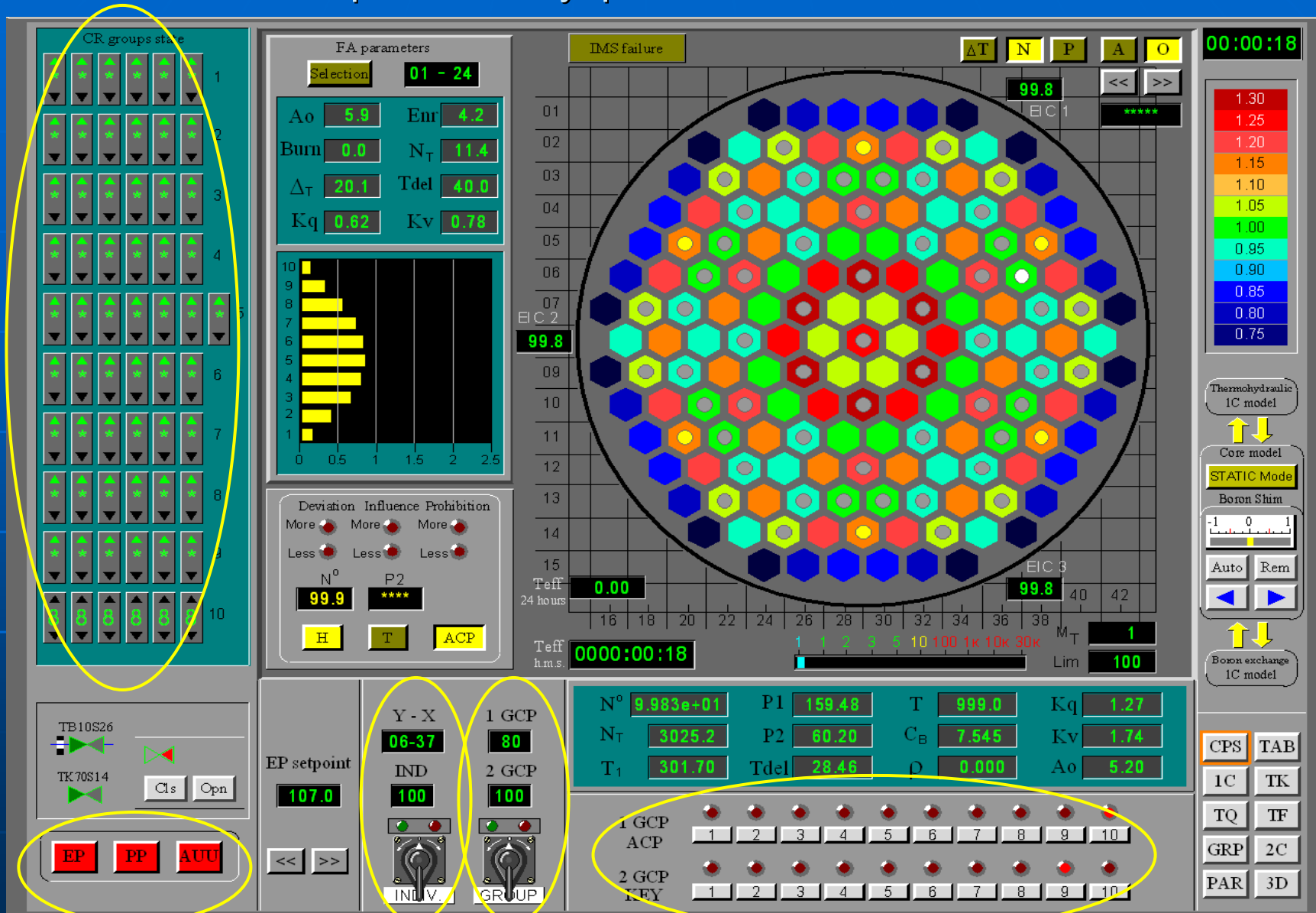
8.1. «CPS» – формат СУЗ



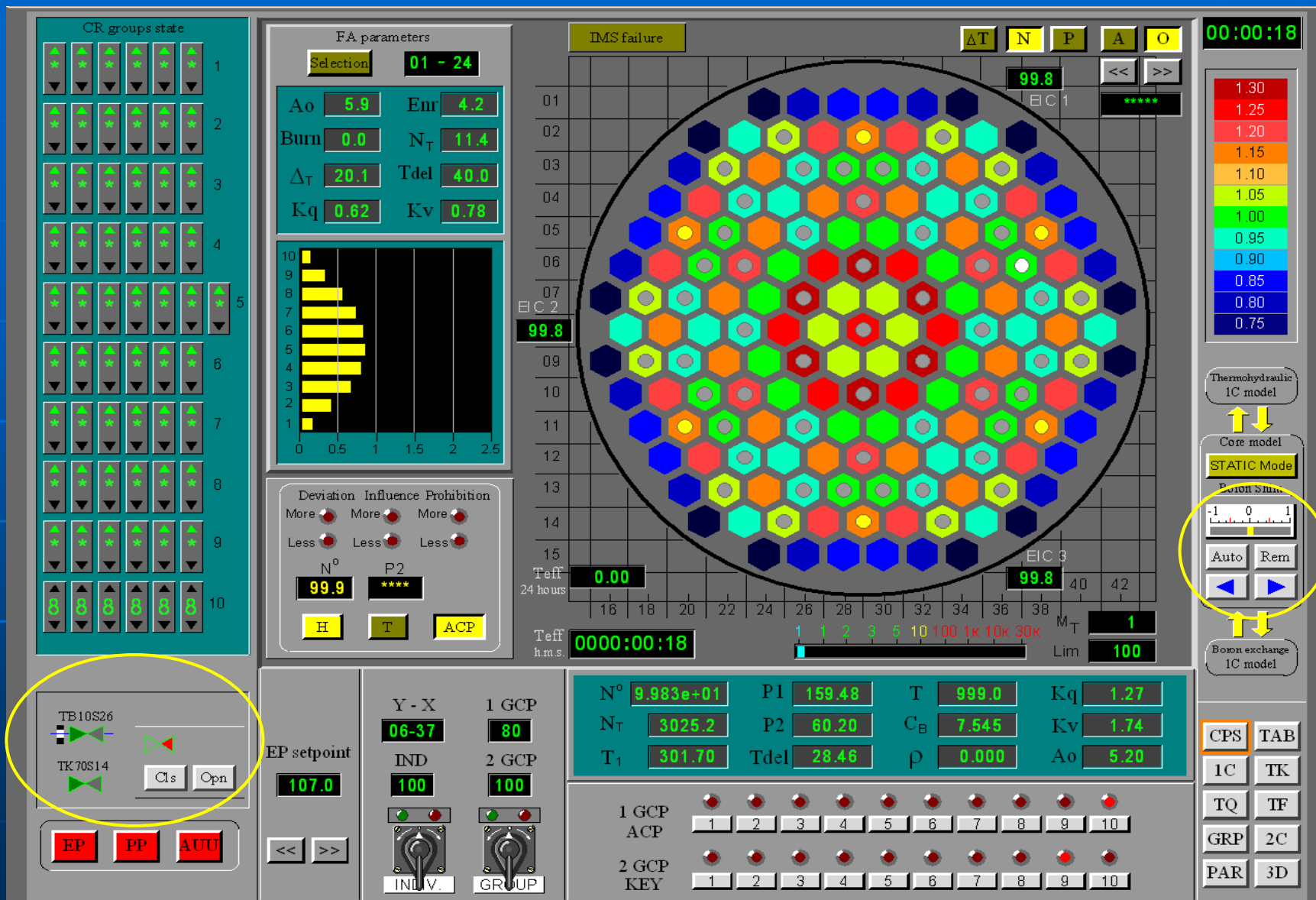
Назначение формата СУЗ

1. Отображение и управление положением ОР СУЗ.
2. Управление концентрацией бора в активной зоне.
3. Управление режимом работы системы управления РУ.
4. Отображение интегральных характеристик РУ.
5. Отображение характеристик ТВС в активной зоне.
6. Отображение 2D распределений величин в АкЗ.
7. Управление моделью:
 - ускорение по времени
 - управление режимом расчёта

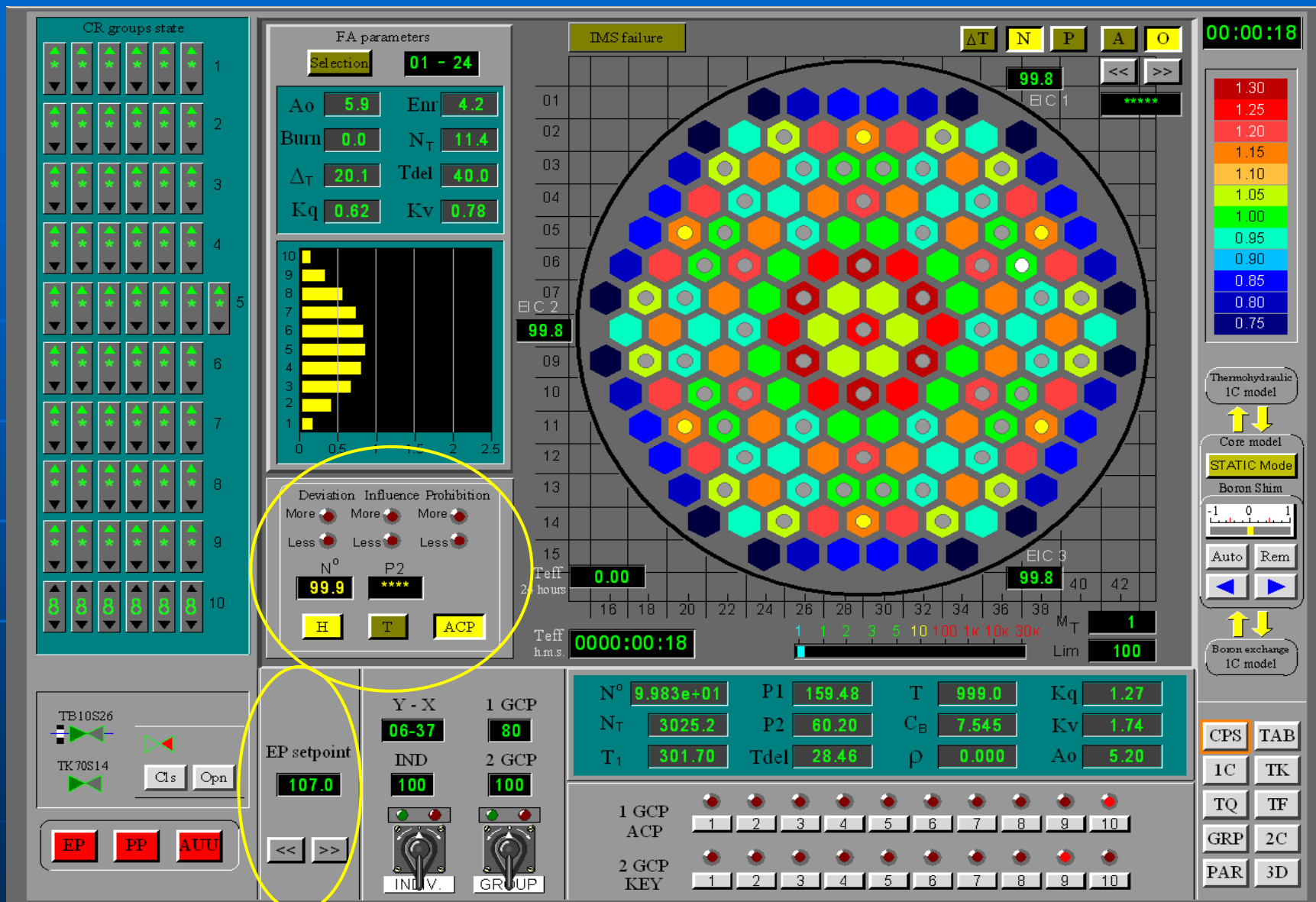
8.1.1. Отображение и управление положением ОР СУЗ



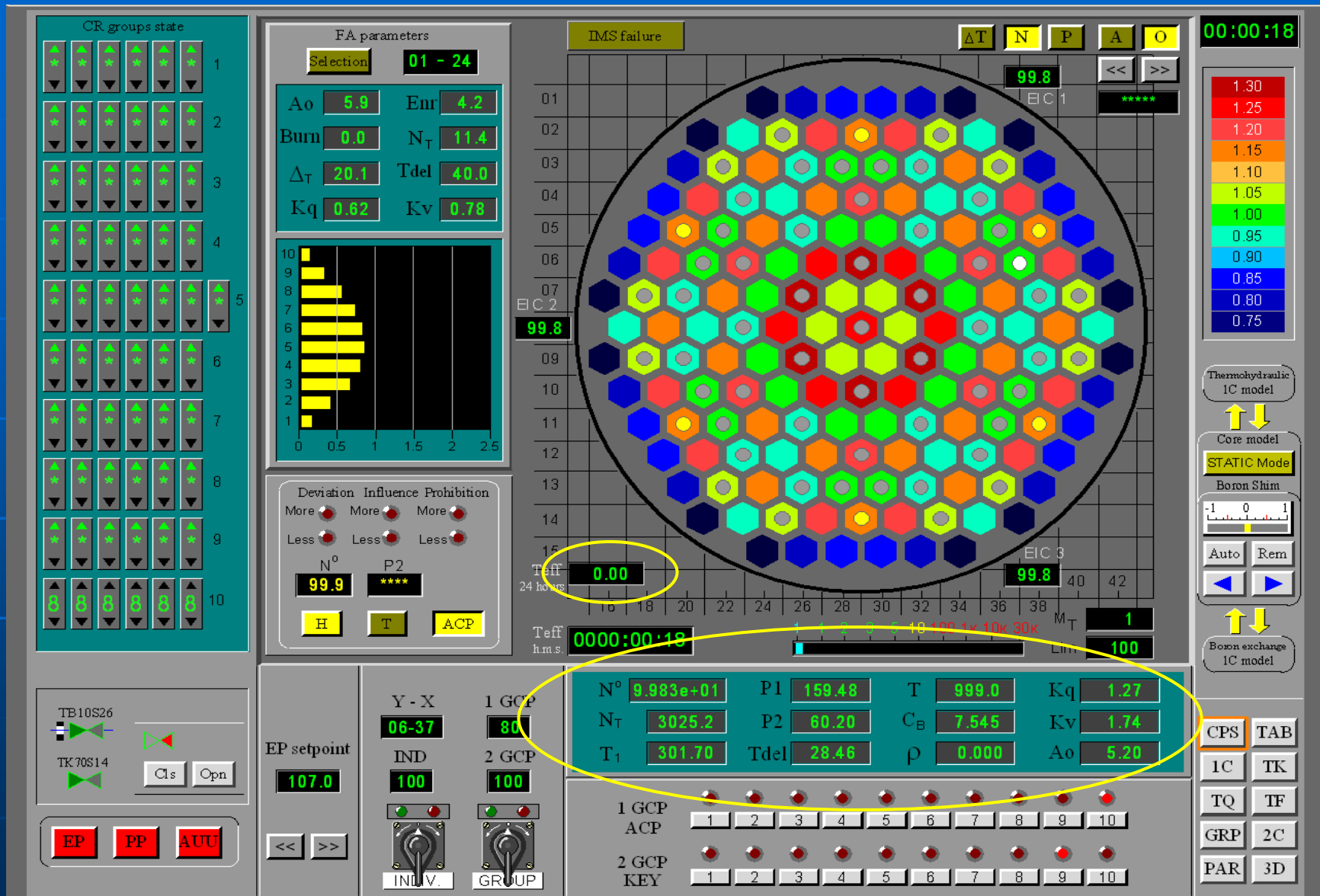
8.1.2. Управление концентрацией бора в активной зоне



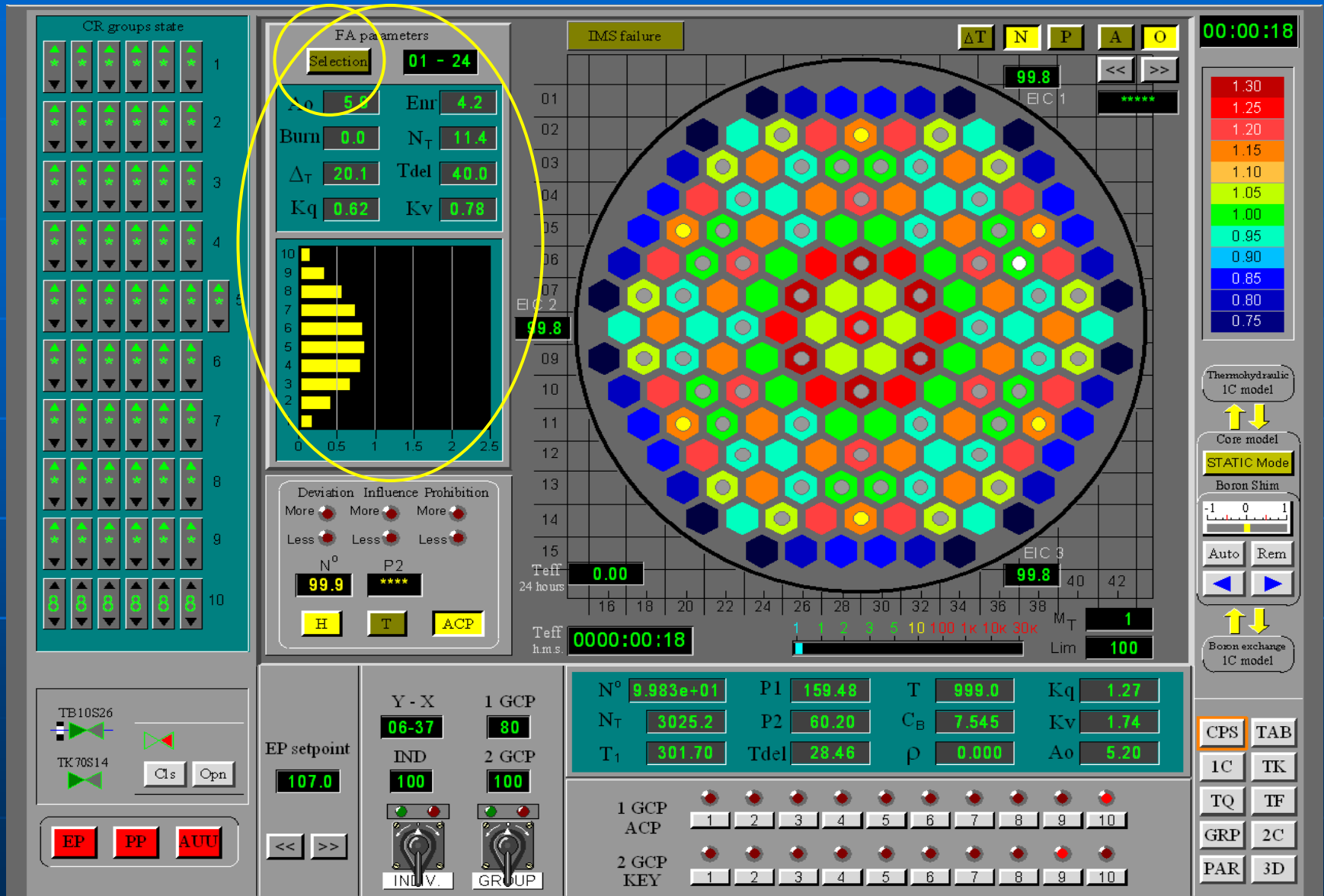
8.1.3. Управление режимом работы системы управления РУ



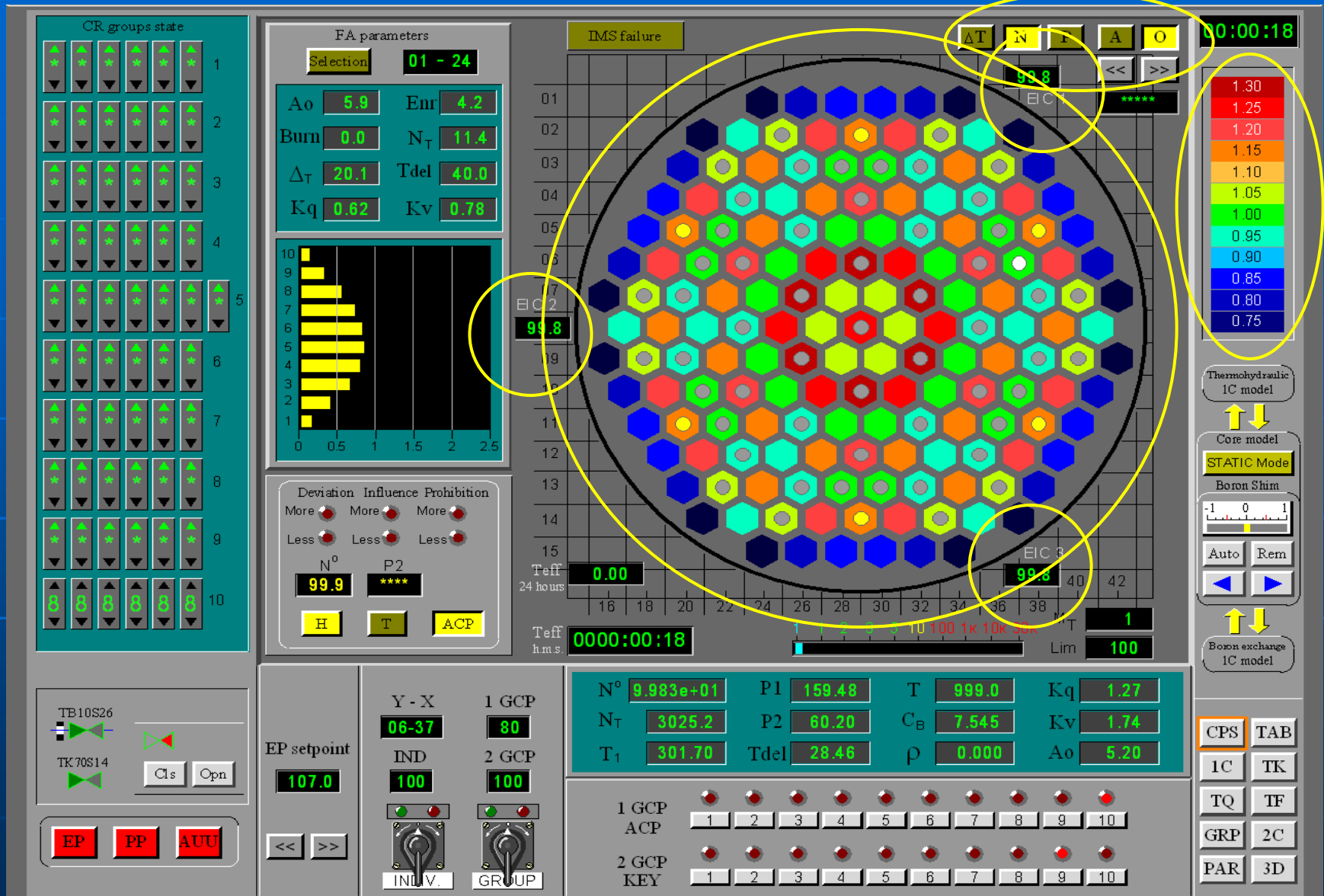
8.1.4. Отображение интегральных характеристик РУ



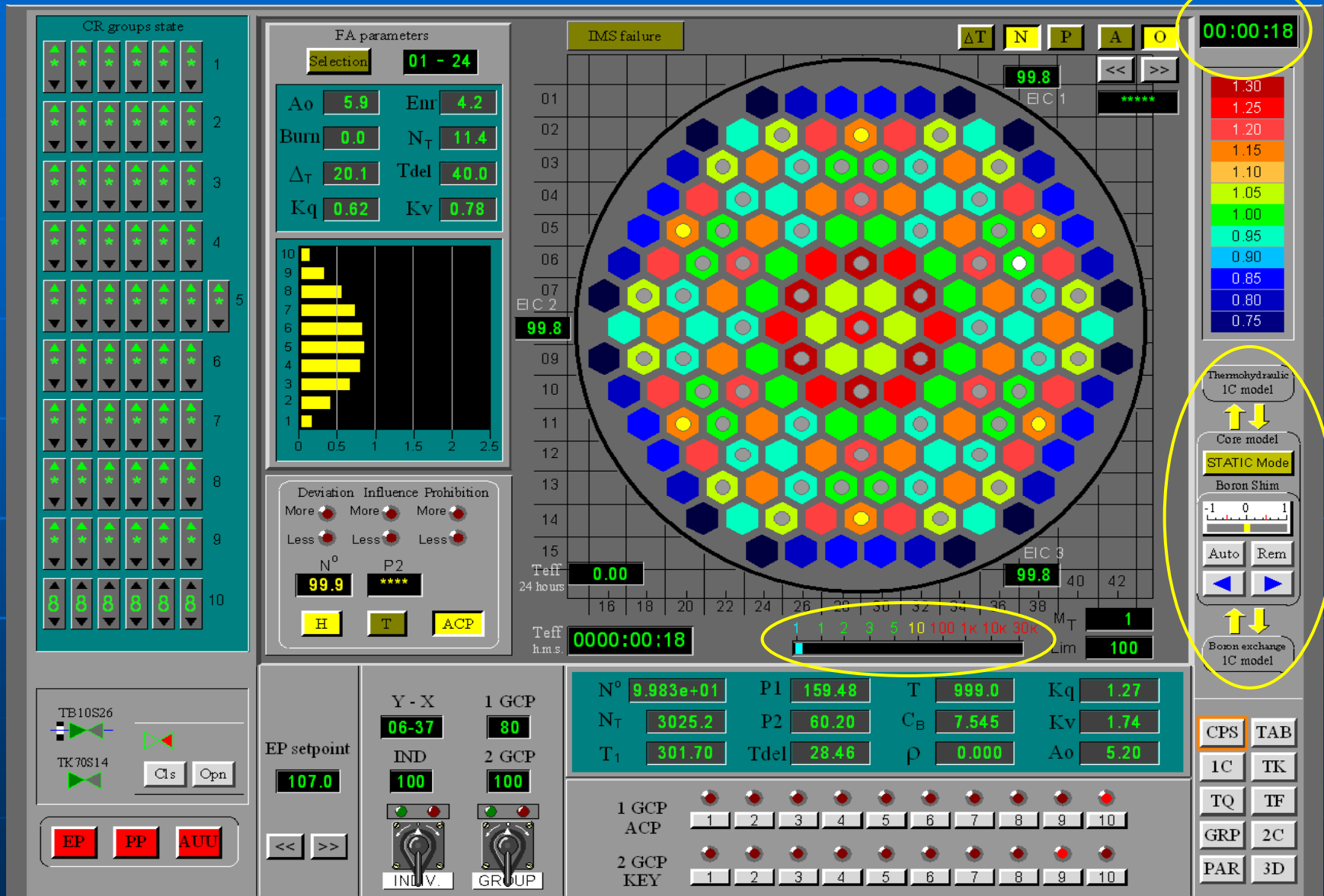
8.1.5. Отображение характеристик ТВС в активной зоне



8.1.6. Отображение 2D распределений величин в Ак3



8.1.7. Управление моделью



8.2. «ТАВ» – формат табло сигнализации

EP Б

EP deblock.

EP from CR Б

P mss > 80 Б

P1 > 180 Б

N > Setpoint Б

T < 10 sec Б

< 2 ГЦН Б

dT s1 < 10 Б

dT s1-2 > 75 Б

T h.l. > 330 Б

P1 < 150 N > 75 Б

P1 < 140 Б

dP MCP < 2.5 Б

L SG - 650 Б

F < 46 Б

L Press < 400 Б

PP-1 Б

PP from CR Б

T < 20 sec Б

P1 > 172 Б

N > Setpoint Б

P sg > 70 Б

F < 49 Б

T1 > 325 Б

MCP trip Б

PCR Б

TDFWP trip Б

N heat > Setpoint Б

Generator trip Б

MSV closed Б

PP-2 Б

PP-2 deblock Б

AUU deblock Б

N > Setpoint Б

P1 > 165 Б

CR drop Б

AUU Б

AUU from CR Б

2 MCP trip Б

TDFWP trip Б

Generator trip Б

MSV closed Б

SG

L SG1 > 39.5 Б

L SG1 < 22 Б

MSIV1 closed Б

MSSV SG1 opened Б

P SG1 > 84 Б

L SG2 > 39.5 Б

L SG2 < 22 Б

MSIV2 closed Б

MSSV SG2 opened Б

P SG2 > 84 Б

L SG3 > 39.5 Б

L SG3 < 22 Б

MSIV3 closed Б

MSSV SG3 opened Б

P SG3 > 84 Б

L SG4 > 39.5 Б

L SG4 < 22 Б

MSIV4 closed Б

MSSV SG4 opened Б

P SG4 > 84 Б

MSC

P mss < 52 Б

P mss < 56 Б

P mss > 62 Б

1C

L Press. < 500 Б

TK disbalance Б

L TY20B01 > 1500 Б

MSSV Press. opened Б

Blocking: Reg Б Blk Б

Blinking rem Б

Deblocking Б

CPS TAB

1C TK

TQ TF

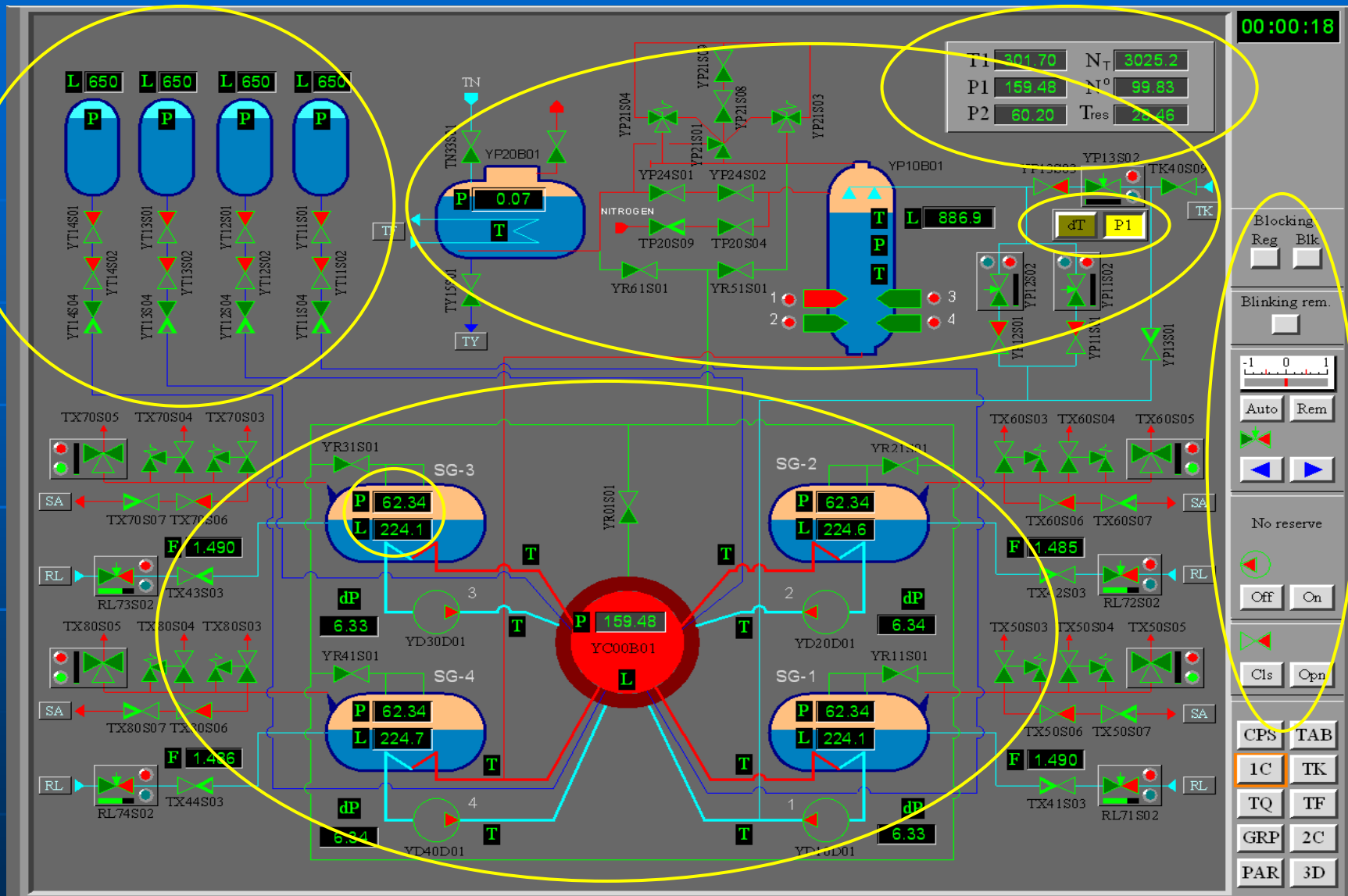
GRP 2C

PAR 3D

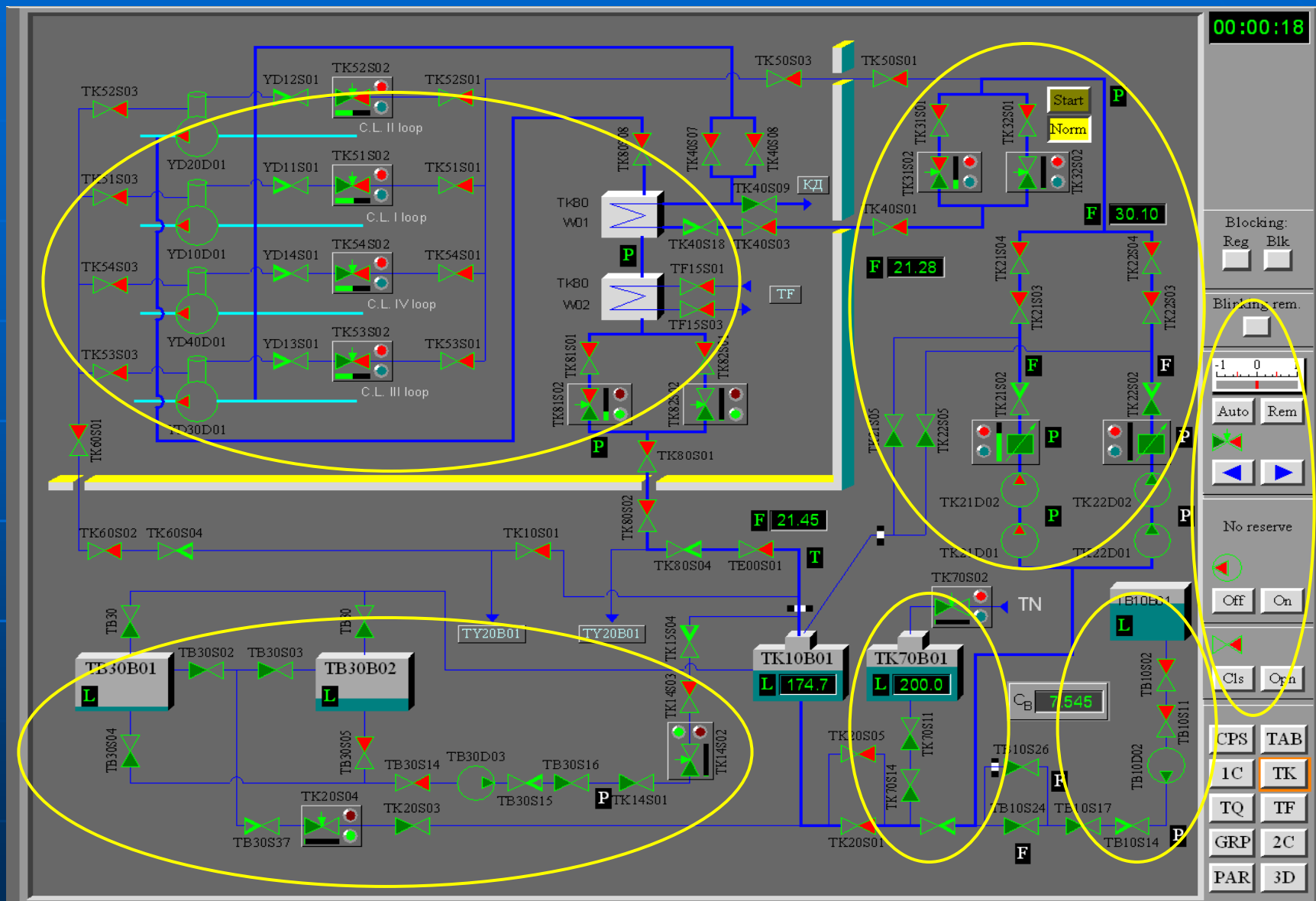
Группы сигналов формата табло сигнализации

- АЗ (EP - emergency protection) – аварийная защита.
- ПЗ-1 (PP-1 - preventive protection 1) – предупредительная защита 1-го уровня.
- ПЗ-2 (PP-2 - preventive protection 2) – предупредительная защита 2-го уровня.
- УРБ (AUU - accelerated unit unloading) – ускоренная разгрузка блока.
- ПГ (SG - steam generators) - парогенераторы.
- ГПК (MSC - main steam collector) – главный паровой коллектор.
- 1К (1C - primary circuit) – первый контур.

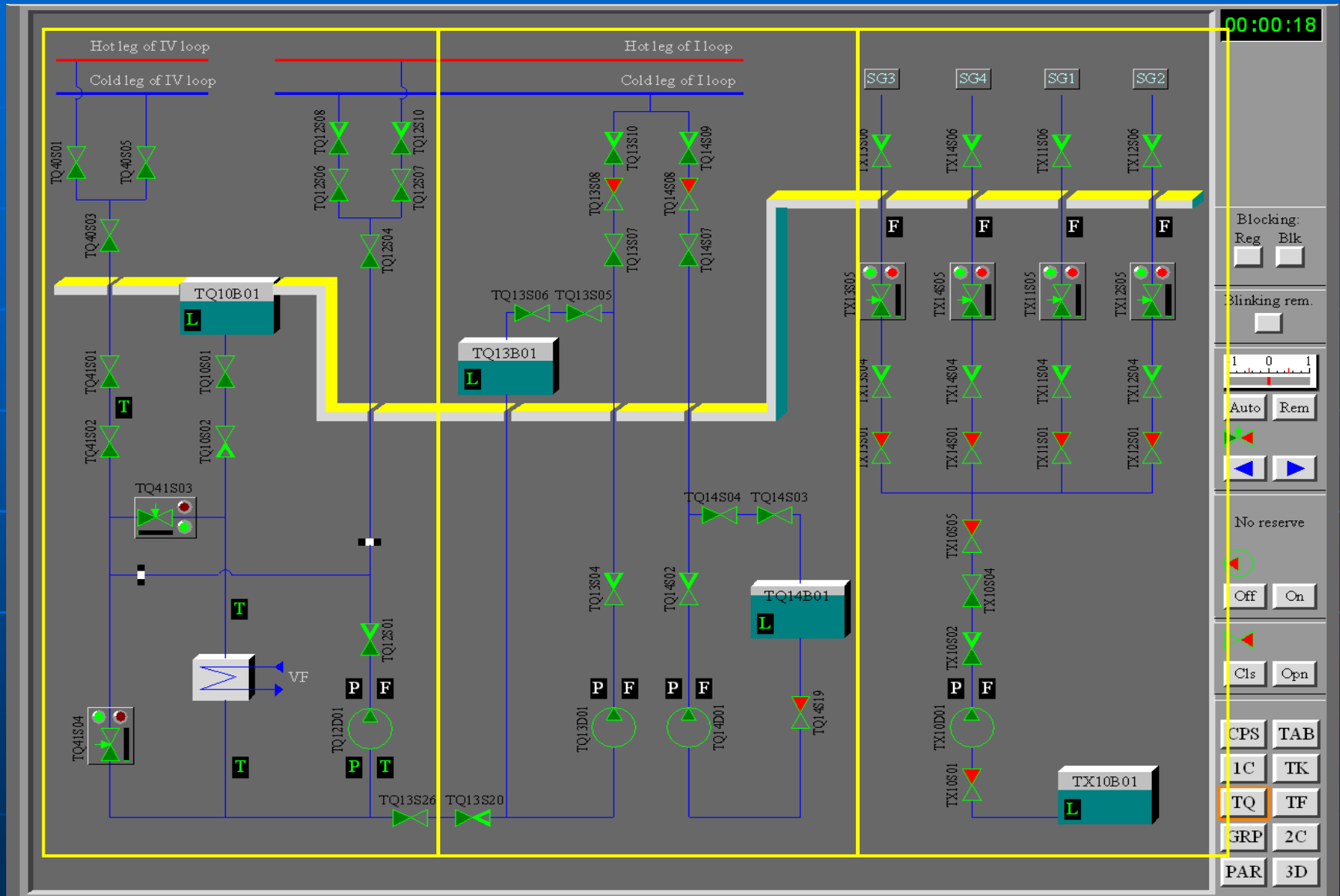
8.3. «1C» – формат первого контура



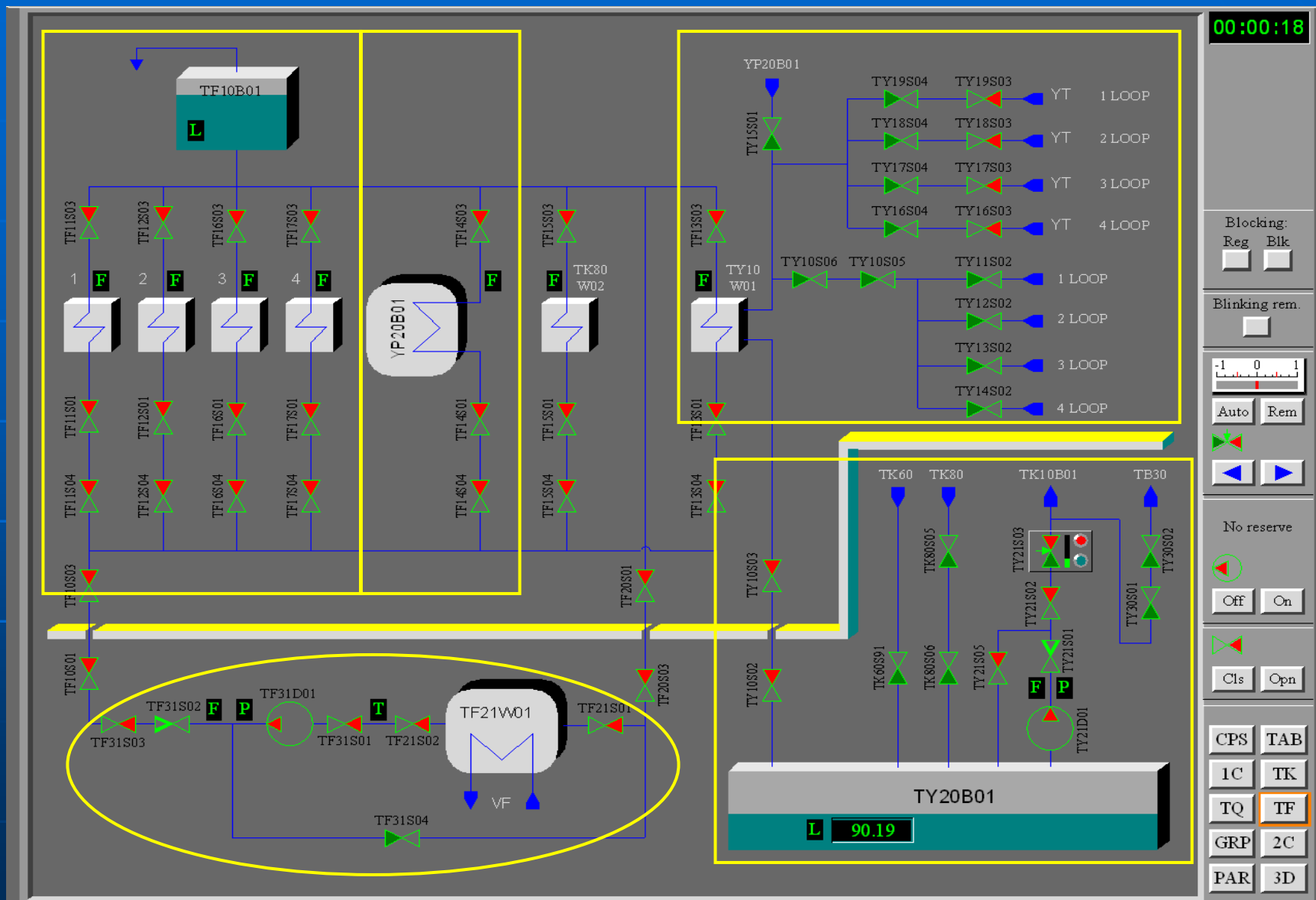
8.4. «ТК» – формат системы подпитки – продувки



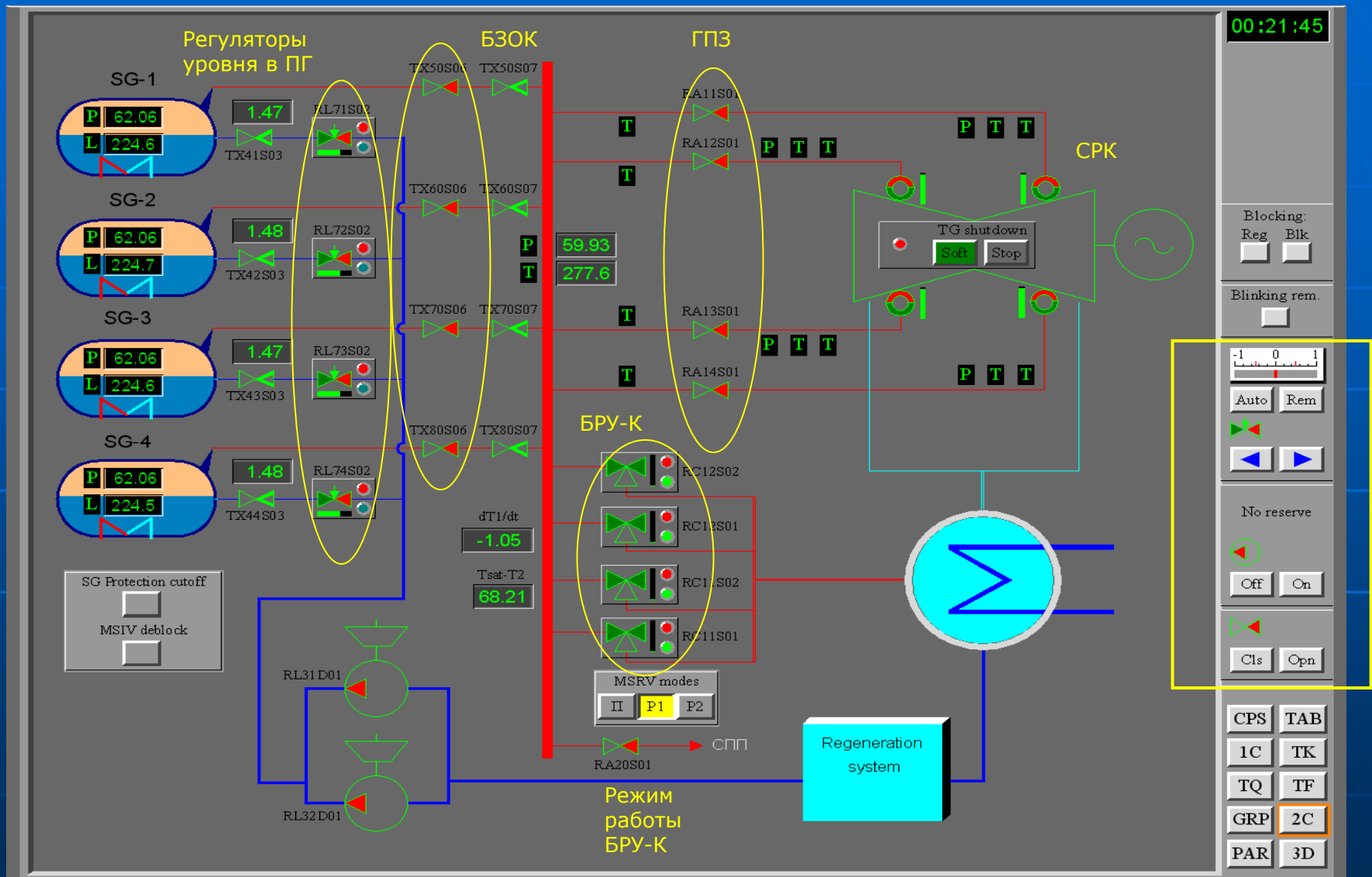
8.5. «TQ» – формат систем безопасности



8.6. «TF» – формат оргпротечек



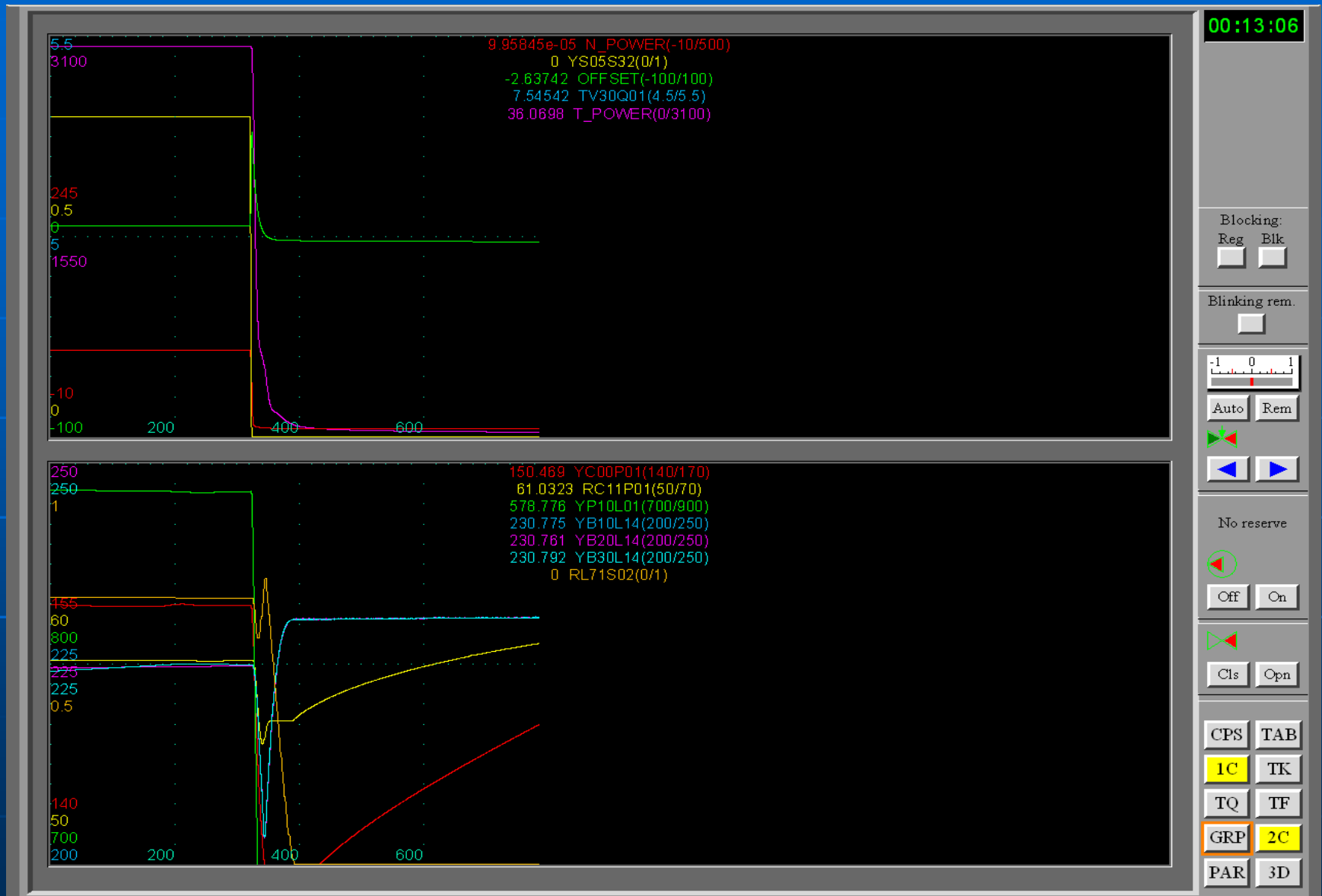
8.7. «2С» – формат 2-го контура



Оборудование 2-го контура на формате:

- Четыре горизонтальных парогенератора (ПГ).
- Автоматизированные регуляторы уровня в ПГ.
- Быстродействующие запорные отсечные клапана (БЗОК).
- Главный паровой коллектор (ГПК).
- Четыре главных паровых задвижки (ГПЗ).
- Стопорные регулирующие клапана (СРК) на турбине.
- Турбина и генератор.
- Конденсатор.
- Два турбо - питательных насоса ПГ (ТПН).
- Четыре быстрых редукционных устройства в конденсатор (БРУ-К).
- Переключатель режима работы БРУ-К.
 - “ST” – пусковой режим, поддержание давления в ГПК при пуске.
 - “P1” – «стерегущий» режим при работе на мощности,
 - “P2” – мягкий режим для конца кампании (клапана закрыты).

8.8. «GRP» – формат графиков



Переменные, отображаемые на графике 1

- N_POWER – нейтронная мощность
- YS05S32 – положение 10-ой группы ОР СУЗ
- OFFSET – офсет реактора
- TV30Q01 – концентрация борной кислоты
- T_POWER – тепловая мощность оеактора
- REACTIVITY – реактивность

Переменные, отображаемые на графике 2

- YC00P01 – давление в реакторе
- RC11P01 – давление в ГПК
- YP10L01 - уровень в КД
- YB10L14 – уровень в ПГ-1
- YB20L14 – уровень в ПГ-2
- YB30L14 – уровень в ПГ-3
- RL71S02 – положение регулятора уровня ПГ-1

Редактирование переменных, отображаемых на графиках

☐ Plot ? ×

Time interval	1800
Time interval name	
Number of Y axis sections	
Name of number of Y axis sec	
Parameter count	6
Name 1 ◀ ▶	N POWER
Value	9.95845e-05
Color	■ red
Minimum	-10
Maximum	500
Marker	
Minimum name	
Maximum name	
Description	

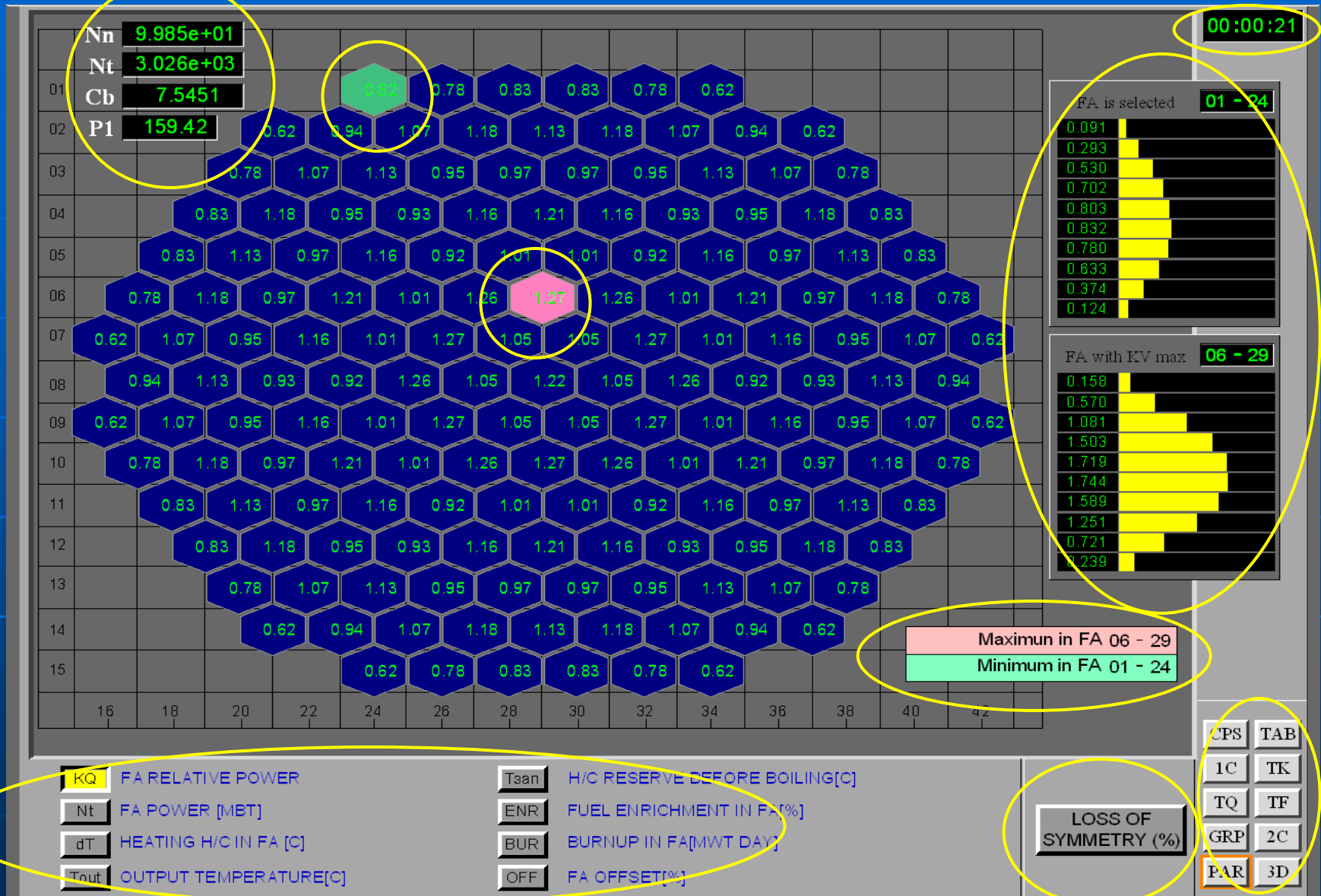
Поиск переменных для отображения на графиках в базе переменных тренажера

G:\IAEA_BELARUS_2010\KOC-A3\IAEA-05-01-26\MODELS\WVR_1L\WORK_1L\wvr_1L.rep

NAME	T...	UNIT	DESCR
N_POWER	RE		Выход датчика "прибор интегрального параметра Nt"
N_POWER_DIS	LO		Признак отключения датч. "прибор интегрального параметра Nt"
N_POWER_E	IN		Экранный код датчика "прибор интегрального параметра Nt"
N_POWER_F	RE	%	НЕЙТРОННАЯ мощность АЗ
N_POWER_GM	IN		Код отказа датчика "прибор интегрального параметра Nt"
N_POWER_GMV	RE		Параметр ошибки датч. "прибор интегрального параметра Nt"
N_POWER_PAR(1:2)	RE		Параметры датчика "прибор интегрального параметра Nt"

NAME	TYPE	UNIT	DESCR	CLASS	SYSTEM
N_POWER					

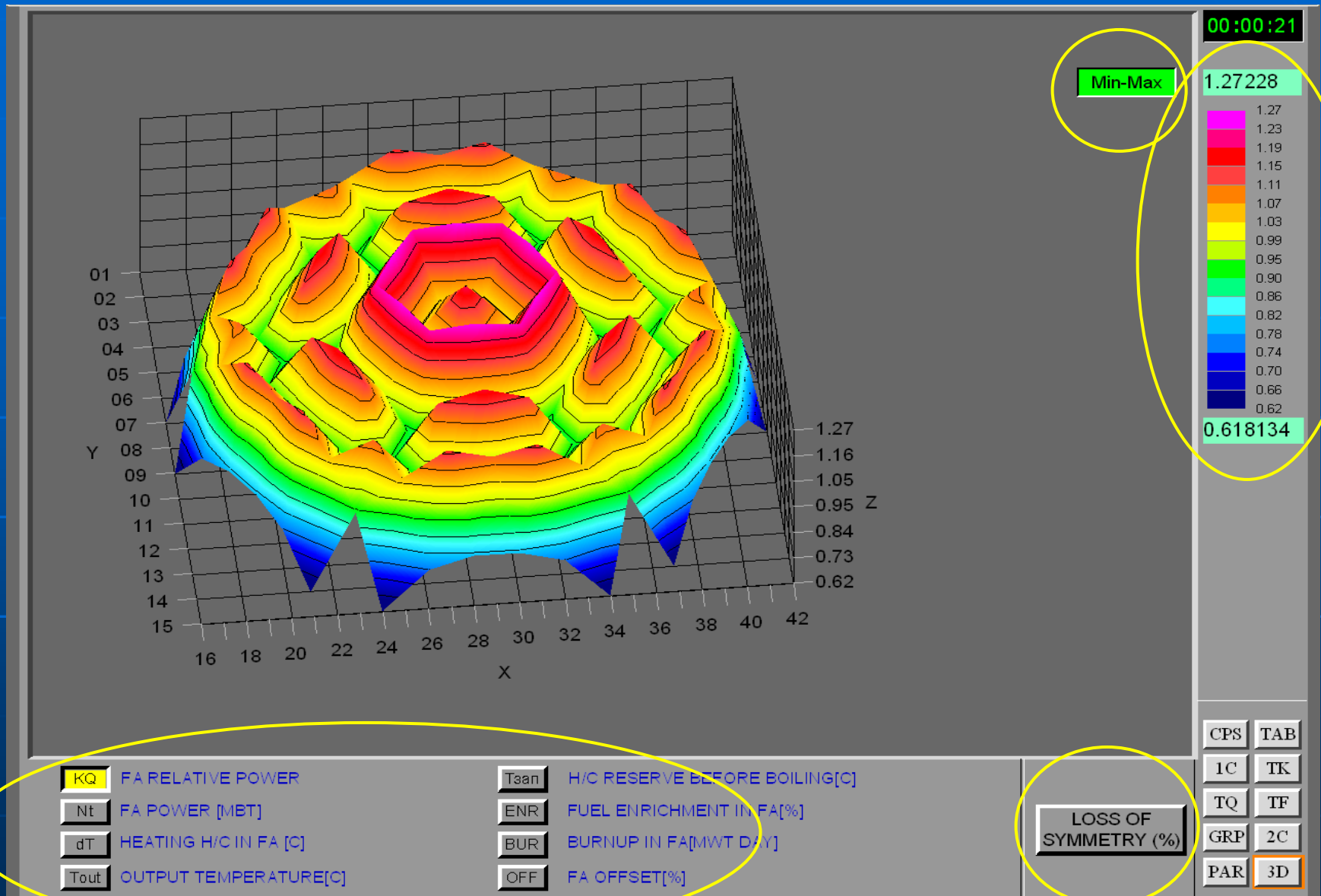
8.9. «PAR» – формат 2D отображения результатов расчёта



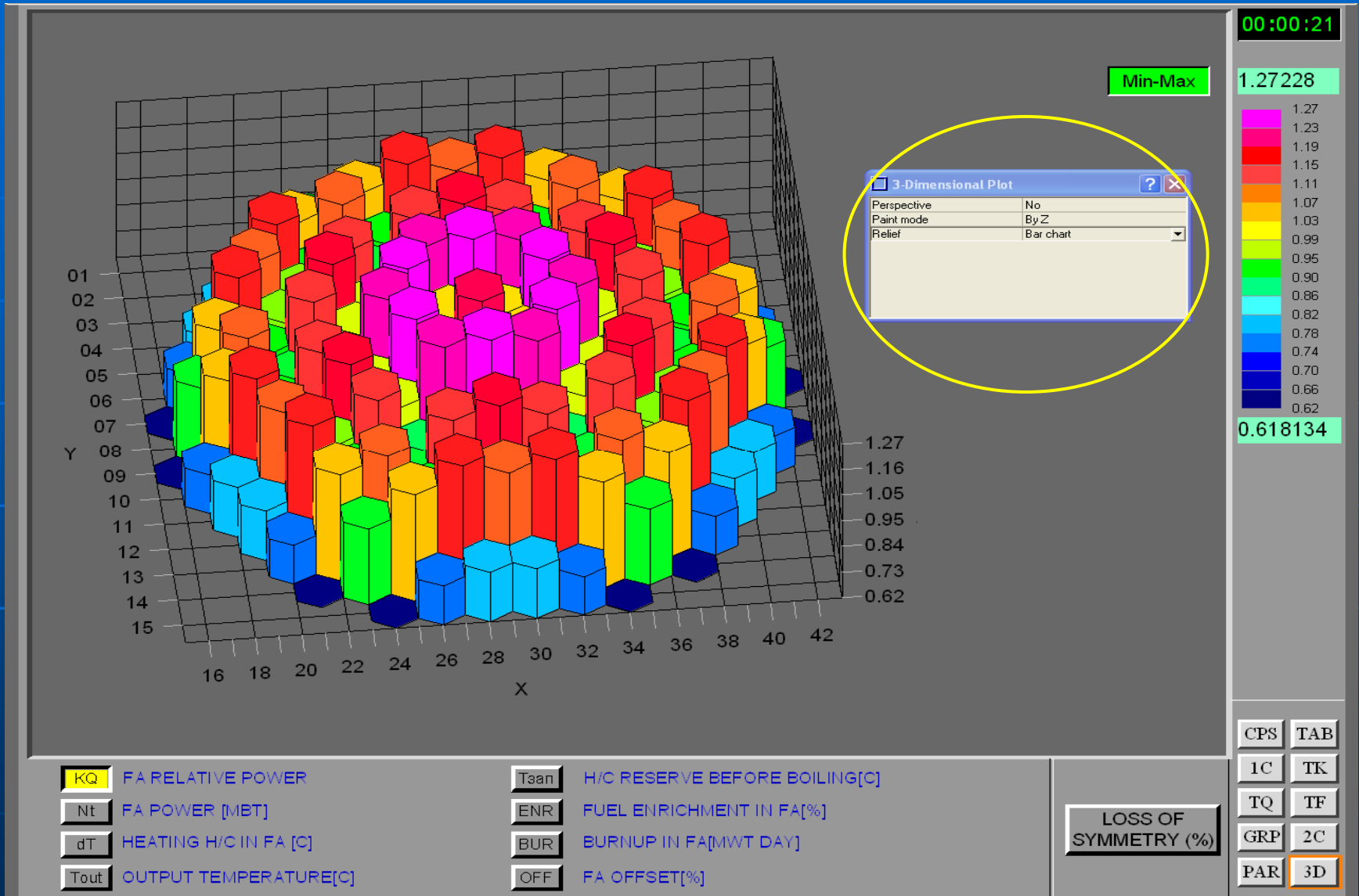
Перечень величин, отображаемых на форматах «PAR» и «3D»

- KQ – относительное энерговыделение ТВС
- Nt – тепловая мощность ТВС (МВт)
- dT – подогрев теплоносителя в ТВС (°C)
- Tout – температура теплоносителя на выходе из ТВС (°C)
- dTs – запас до температуры кипения в ТВС (°C)
- ENR – обогащение топлива (% по U235)
- BUR – выгорание топлива (МВт * сут)
- OFF – офсет мощности ТВС (%)

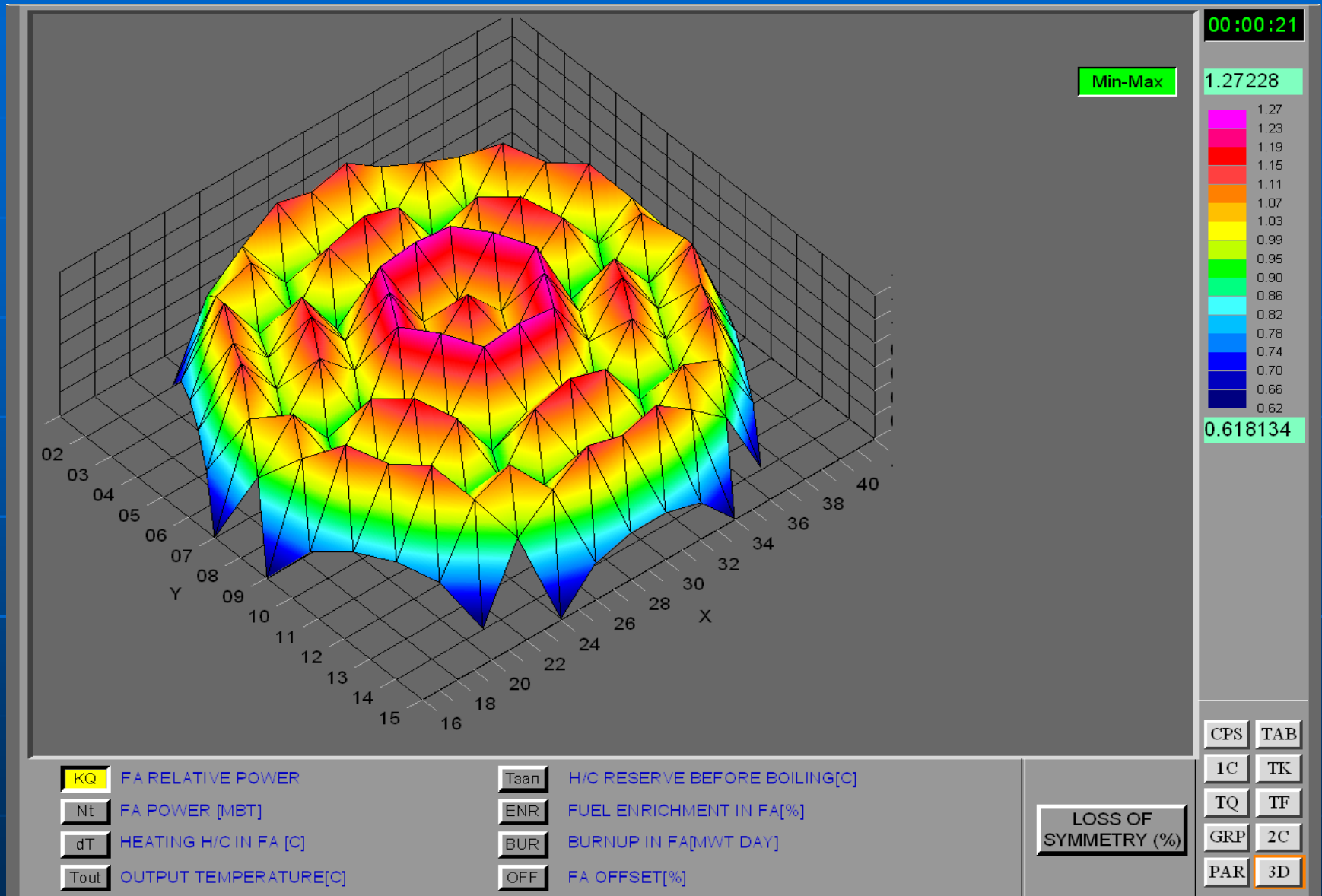
8.10. «3D» – формат 3D отображения результатов расчёта



Настройка 3D графики



Вращение 3D графики



9. Перечень и описание учебных задач

9.1. Задачи А-Е, связанные с различными отказами оборудования

- Задача «А»:
Заклинивание ГЦН-1 на 100% мощности. Падение АЗ (по перепаду давления на ГЦН-1).

Задача «А+»:
Заклинивание ГЦН-1 на 100% мощности. Запрет на АЗ.
Стабилизация реактора системой автоматики на 65% мощности.
- Задача «В»:
Заккрытие БЗОК на ПГ-1 на 100% мощности. Останов ГЦН-1 (защита ПГ-1 по давлению). Снижение мощности (РОМ) до 66%. Открытие и последующее закрытие БРУ-А на ПГ-1. Стабилизация РУ на мощности 66%.

Задача «В+»:
Заккрытие двух БЗОК на ПГ на 100% мощности. Сравнение поведения РУ с Задачей «В».

- Задача «С»:
Останов ГЦН-2 от ключа на 100% мощности. Срабатывание ПЗ-1, снижение мощности (РОМ) до 66%. Стабилизация РУ автоматикой на 61% мощности.

Задача «С+»:

Возврат на 100% мощности. Запуск ГЦН-2. Возврат рабочей группы в исходное положение. Вывод борным регулированием реактора на 100%.

- Задача «D»:
Останов ТПН-1 на 100% мощности. Срабатывание УРБ (падение 1-ой группы ОР СУЗ), снижение мощности (РОМ) до 39% и стабилизация (АРМ) состояния РУ.

Задача «D+»:

Возврат на 100% мощности. Запуск ТПН-1. Возврат рабочей группы в исходное положение. Вывод борным регулированием реактора на 100%.

- Задача «Е»:
Закрытие СРК на турбине на 100% мощности.
Срабатывание сигналов:
УРБ (по превышению давления во втором контуре и быстрому падению уровня в ПГ) (падение 1-ой группы ОР СУЗ);
ПЗ-2 (запрет подъёма мощности);
ПЗ-1 (снижение мощности (АРМ) до 39%).
Сброс пара через БРУ-К. Стабилизация РУ на 39%.

Задача «Е+»:

Открыть СРК на турбине. Произвести возврат рабочей группы в исходное положение. Вывести борным регулированием реактор на 100%.

9.2. Задача F, пуск реактора из состояния горячий останов

- Задача «F»:

Срабатывание аварийной защиты на 100% мощности.

Закрытие СРК на турбине, во 2К давление поддерживается БРУ-К, в 1К – тэнами на КД. Все ОР СУЗ внизу, нейтронная мощность 0%.

Увеличение концентрации бора в активной зоне до стояночной, стабилизация параметров РУ.

Возврат на 100% мощности. Извлечение групп ОР СУЗ из активной зоны. Выход на МКУ выводом бора.

Выход бором на 40%. Толкнуть и нагрузить турбину (открыть СРК), закрыть БРУ-К.

Выход бором на 70%.

Выход бором на 100%, включение АРМ.

9.3. Задачи G-J, демонстрирующие физические явления в активной зоне реактора ВВЭР-1000

- Задача «G»:
Демонстрация различных топливных загрузок.
Сравнение картограмм размещения ТВС в активной зоне.
Сравнение распределения полей энерговыделения.
- Задача «H»:
Демонстрация эффектов реактивности. Вес аварийной защиты, комбинированный температурный эффект реактивности, йодная яма и разотравление. Различие на ВОС и ЕОС.

- Задача «I»:
Демонстрация свободных ксеноновых колебаний офсета и мощности.
Срабатывание УРБ.
Различие по амплитуде и затуханию на ВОС и ЕОС , для 1-ой и 5-ой кампаний.
- Задача «J»:
Колебания офсета при фиксированной мощности.
Погружение и извлечение 10-ой группы ОР СУЗ при постоянной мощности (борный регулятор).
Различие по амплитуде и затуханию на ВОС и ЕОС .
Техника подавления ксеноновых колебаний.

Цели учебных задач:

- Получение опыта управления тренажером.
- Знакомство с управлением ЯЭУ с реактором ВВЭР-1000.
- Знакомство с физическими явлениями, происходящими в активной зоне ВВЭР-1000.

Учебные задачи предполагают предварительное изучение:

- Цели и сценария задачи.
- Последовательности действий пользователя тренажера.
- Экранных форматов и элементов управления тренажером, которые могут понадобиться в ходе выполнения задачи.

10. Демонстрация учебных задач

10.1. Показ и повторение участниками

- Задача «G»: Демонстрация различных топливных загрузок.
* Запуск и останов тренажера.
- Задача «H»: Демонстрация эффектов реактивности.
Первая кампания ВОС и ЕОС.
Пятая кампания ВОС и ЕОС.
* Работа с протоколировщиком.

10.2. Самостоятельное выполнение участниками

- Задача «I»: Демонстрация свободных ксеноновых колебаний офсета и мощности.
ВОС первая и пятая кампании.
ЕОС первая и пятая кампании.
* Ускорение модели и работа с графиками.
- Задача «J»: Колебания офсета при фиксированной мощности.
ВОС и ЕОС с выдержкой группы 8 часов.
ЕОС с выдержкой группы 8 и 28 часов.
* Знакомство с работой борного регулятора.

Аналитический тренажер ЯЭУ с ВВЭР-1000 «КОС-А3»

Часть 3. Практические занятия на тренажере.

Содержание части 3

1. Задача «F»: Пуск реактора из состояния горячий останов после срабатывания аварийной защиты на 100% мощности.
2. Задача «A». Заклинивание ГЦН-1 на 100% мощности.
3. Задача «B». Закрытие БЗОК на ПГ-1 на 100% мощности.
4. Задача «C». Останов ГЦН-2 от ключа на 100% мощности.
5. Задача «C+». Возврат на 100% мощности после останова ГЦН-2 от ключа.

Рекомендации по решению учебных задач

- Ознакомиться с целью задачи.
- Ознакомиться со сценарием задачи.
- Определить последовательность действий оператора тренажера.
- Определить, какие экранные форматы и элементы этих форматов потребуются для выполнения этих действий.
- Проанализировать результаты выполнения задачи.

Замечания общего характера

- Кнопка "Start/Stop" останавливает выполнение задачи, но не прерывает его. После повторного нажатия кнопки задача будет продолжена.
- Кнопка "Exit" заканчивает выполнение задачи и позволяет начать её с самого начала.