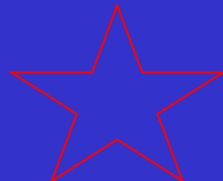


**новейшие Информационные Технологии  
в Управлении**



**Новейшие  
технологии  
проектирования  
информационно -  
управляющих систем**

# Программный Комплекс

Моделирование В Технических Устройствах

ОСНОВА ТЕХНОЛОГИИ АЛГОРИТМИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ  
УПРАВЛЕНИЯ И СОЗДАНИЯ МОДЕЛИРУЮЩИХ И  
ТРЕНАЖЕРНЫХ КОМПЛЕКСОВ

Разработчик – **МВТУ** им. Н.Э. Баумана

# Назначение программного комплекса

Программный комплекс «МВТУ» – программно-инструментальная среда интеллектуального САПР, предназначенная для исследования и анализа нестационарных процессов в следующих технических системах:

- Ядерные и тепловые энергетические установки
- Системы автоматического управления различного назначения
- Робототехнические системы, силовые и следящие привода
- Электронные схемы (в задачах учебного процесса высшей школы)
- Подземные хранилища газа (ПХГ) в каменной соли
- Любые технические системы, описание динамики которых может быть

приведено к системам дифференциально-алгебраических уравнений и

Используется для создания виртуальных мнемосхем и пультов управления

Является альтернативой известным зарубежным программным продуктам аналогичной направленности - Simulink, VisSim, MATRIX, LabView и др...

# Режимы работы программного комплекса «МВТУ»

## МОДЕЛИРОВАНИЕ

- моделирование динамических процессов в непрерывных, дискретных и гибридных системах
- редактирование параметров структурной схемы и расчета в режиме "on-line"
- расчет в режиме реального времени или с заданной скоростью расчета
- рестарт, архивация и воспроизведение результатов моделирования
- функционирование в многокомпьютерных моделирующих комплексах и в системах

реального времени при наличии обмена данными с внешними программами или устройствами

## АНАЛИЗ

- АФЧХ для любой линейной и большинства нелинейных систем (ЛАХ, ФЧХ, годографы и др.)
- коэффициенты, полюса (собственные числа) и нули передаточных функций

## ОПТИМИЗАЦИЯ

- параметрическая оптимизация в многокритериальной постановке при ограничениях на значения параметров, динамических переменных, сигналов управления, функционалов и др.
- параметрическая идентификация расчетных или опытных данных

## СИНТЕЗ

- частотный синтез регуляторов по заданным ЧХ системы автоматического управления
- корневой синтез по заданному расположению корней характеристического уравнения

# Основные преимущества ПК «МВТУ»

- универсальность – применим практически для любых технических систем за счет :
  - обширной *Общетехнической* библиотеки типовых блоков (165 блоков)
  - Специализированных библиотек типовых блоков (15 библиотек ==>120 блоков)
- многозадачность – одновременно можно моделировать несколько задач (Проектов)
- принцип открытости, обеспечиваемый:
  - встроенным в ПК языком программирования высокого уровня
  - возможностью Пользователя включать в ПК собственные библиотеки блоков
  - возможностью Пользователя создавать собственные *Архивы структурных схем*
  - механизмами интеграции ПК «МВТУ» с внешними расчетными программами
- неограниченная глубина вложенности при формировании структурной схемы
- векторизация алгоритмов передачи и обработки данных
- механизм глобальных параметров и переменных при задании исходных данных
- эффективные алгоритмы интегрирования жестких дифференциальных уравнений
- встроенная база данных по термодинамическим свойствам теплоносителей и рабочих тел (вода/пар, аммиак, углеводородные газы с учетом сжимаемости и др.)
- встроенные средства отладки , система диагностики ошибок и предупреждений

# Типы задач по динамике ЯЭУ, решаемые в ПК «МВТУ»

- 1) Разработка математических моделей динамических процессов в системах автоматического управления ЯЭУ

Возможности ПК «МВТУ» - системы автоматического управления ЯЭУ любой сложности, вплоть до полномасштабных моделей АСУ ТП энергоблоков АЭС

- 2) Разработка математических моделей динамики нейтронно-физических и теплогидравлических процессов

Ограничения ПК «МВТУ» :

- точечная модель кинетики нейтронов с учетом фотонейтронов
- 23-групповая модель остаточного энерговыделения с учетом кампании реактора
- теплогидравлика теплоносителя (рабочего тела) - гомогенная двухфазная жидкость с учетом сжимаемости в рамках точечно-

# **Разработка математических моделей динамических процессов в системах автоматического управления ЯЭУ**

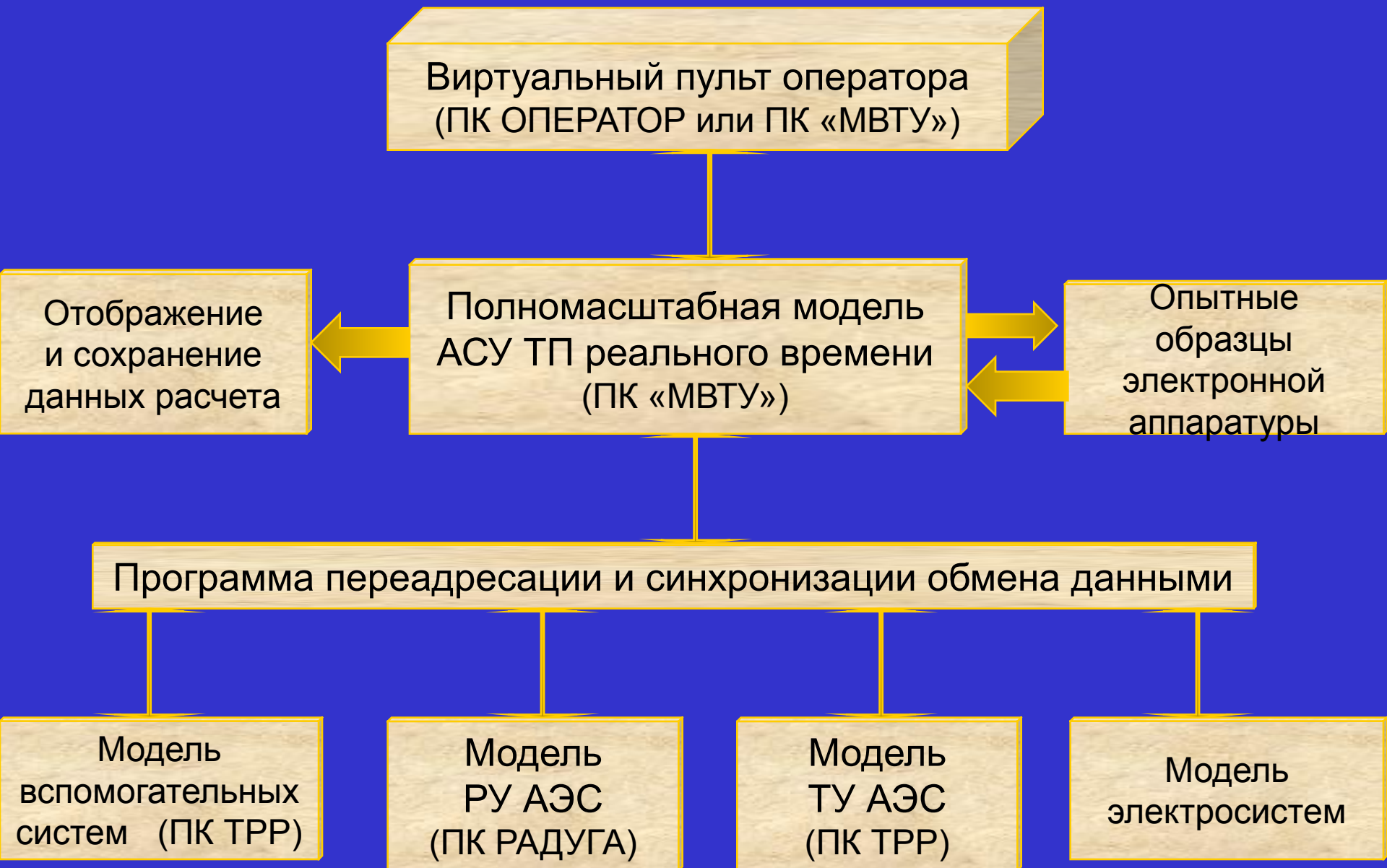
- проектирование и настройка автоматических регуляторов
- проектирование алгоритмов логико-дискретного и функционально-группового управления
- моделирование детекторов СКУД и других измерительных систем, включая алгоритмы идентификации периода разгона реактора и текущей реактивности
- моделирование динамики приводов СУЗ, запорно-регулирующей арматуры и других исполнительных устройств
- проектное обоснование локальных систем автоматического управления (регулирования)
- интеграция локальных САУ (САР) в состав полномасштабной модели АСУ ТП энергоблока АЭС



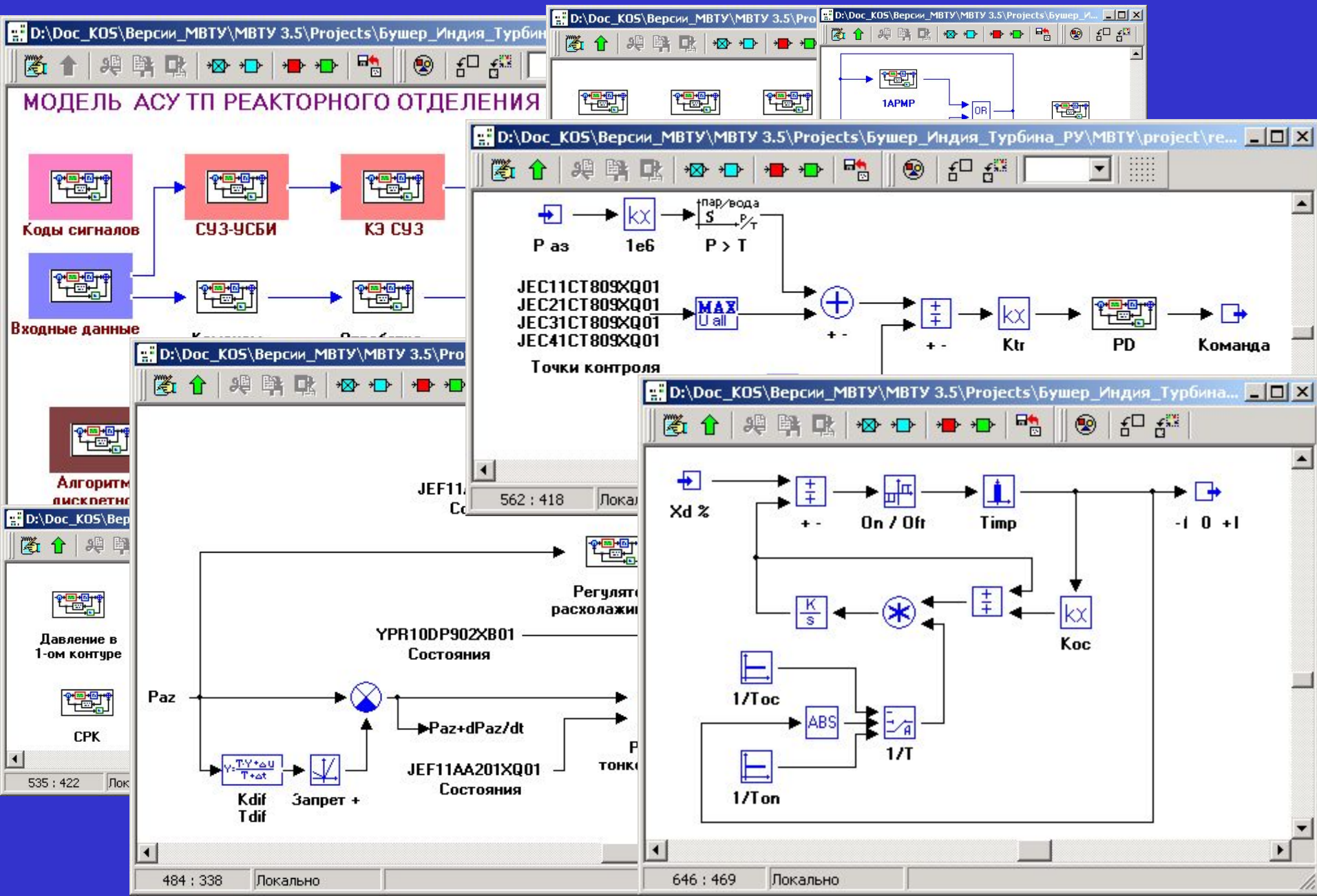
# Перечень задач по динамике ЯЭУ в среде ПК «МВТУ»

- разработка математических моделей АСУ ТП, включая:
  - полномасштабная модель АСУ ТП блока АЭС с реактором ВВЭР-1000
  - обоснование новой системы тепловой автоматики реакторов РБМК-1000
  - обоснование проекта основных систем автоматики РУ БРЕСТ-ОД-300
- разработка математических моделей динамики нейтронно-физических и теплогидравлических процессов для следующих реакторных установок:
  - ЯППУ для транспортных ЯЭУ и АС малой энергетики
  - реакторная установка БРЕСТ-ОД-300
  - промконтур 6-го энергоблока АЭС «Козлодуй»
  - бимодальная космическая ядерная энергодвигательная установка

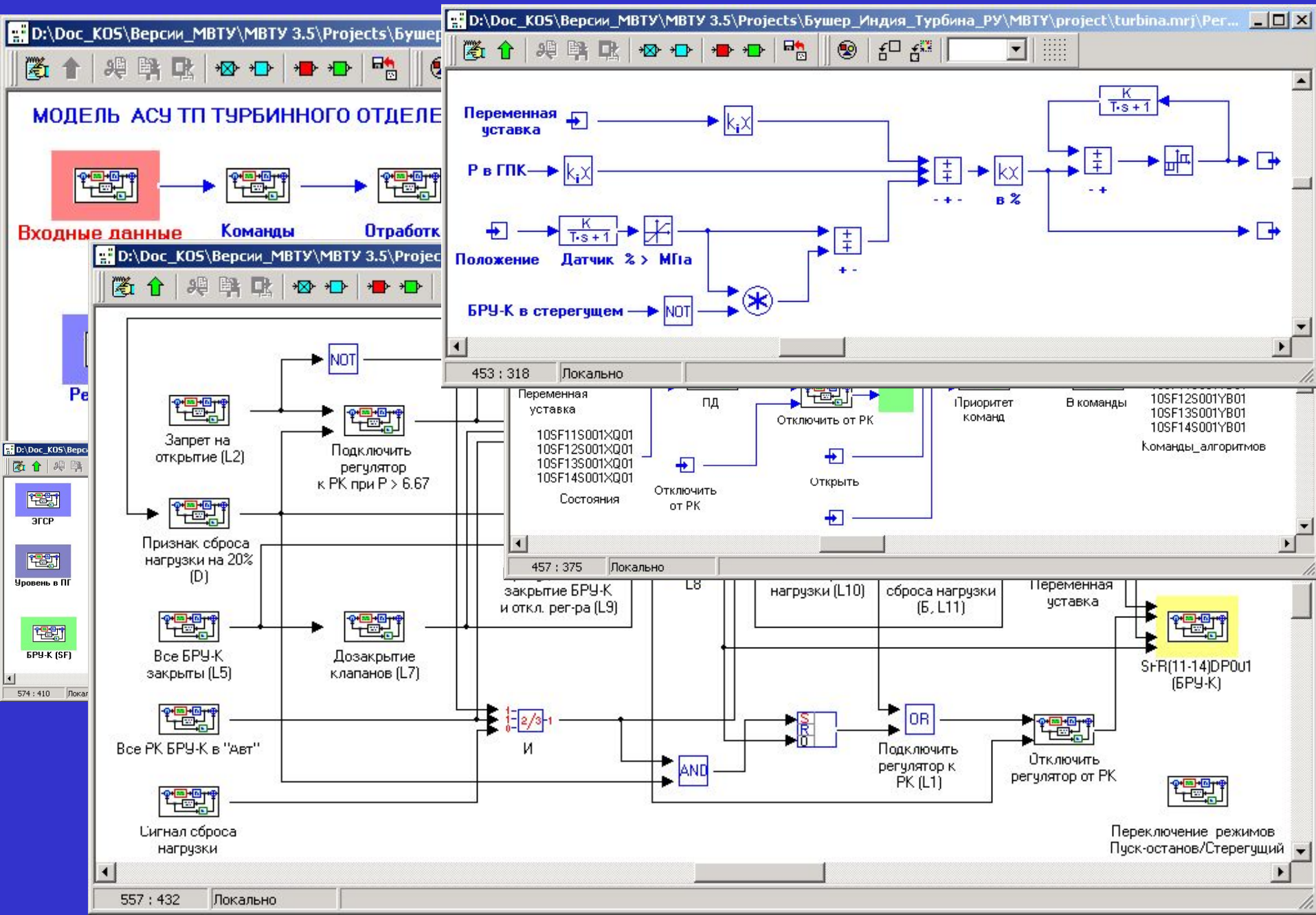
# Полномасштабная модель энергоблока АЭС с реактором типа ВВЭР-1000



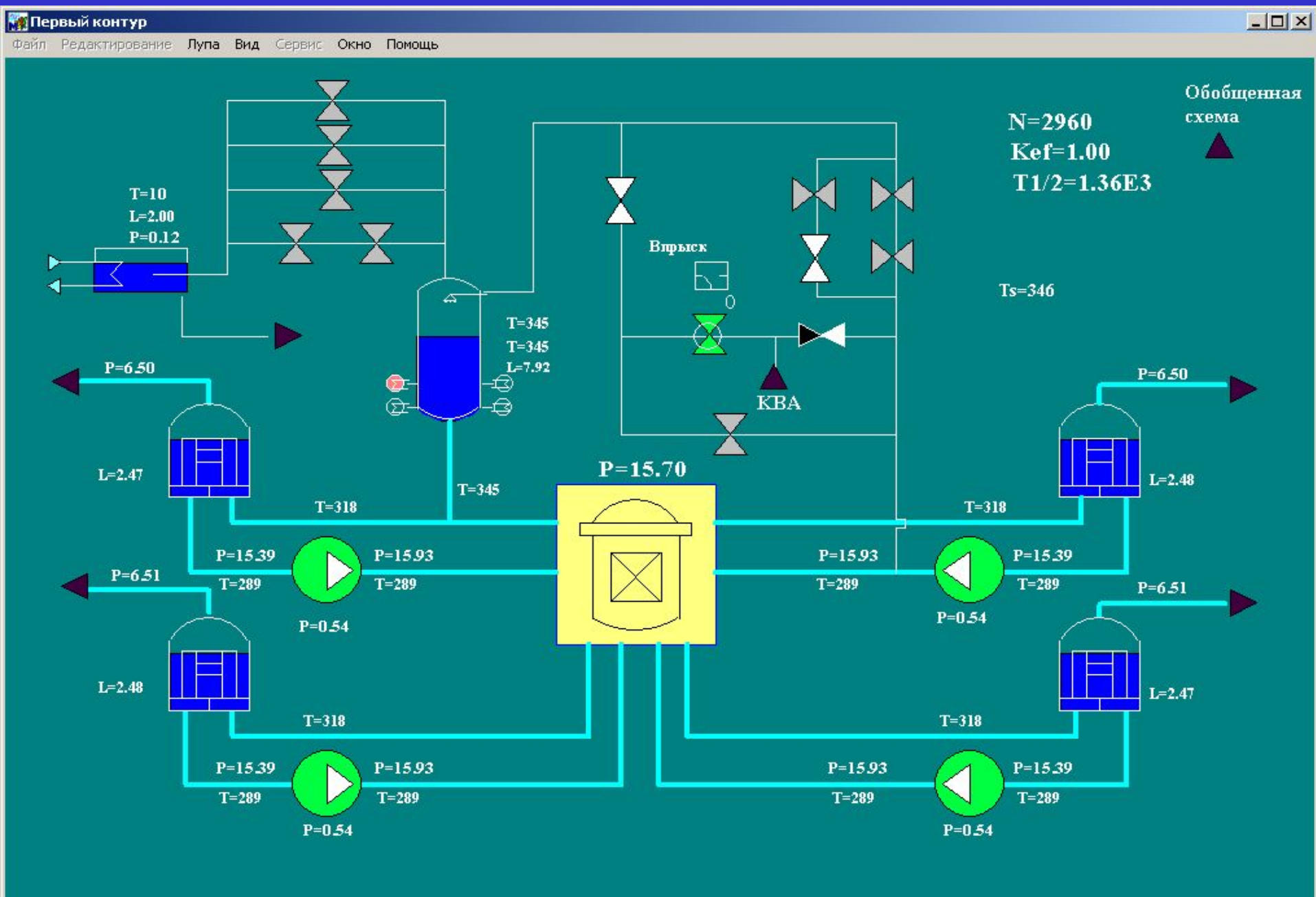
# Модель АСУ ТП реакторного отделения



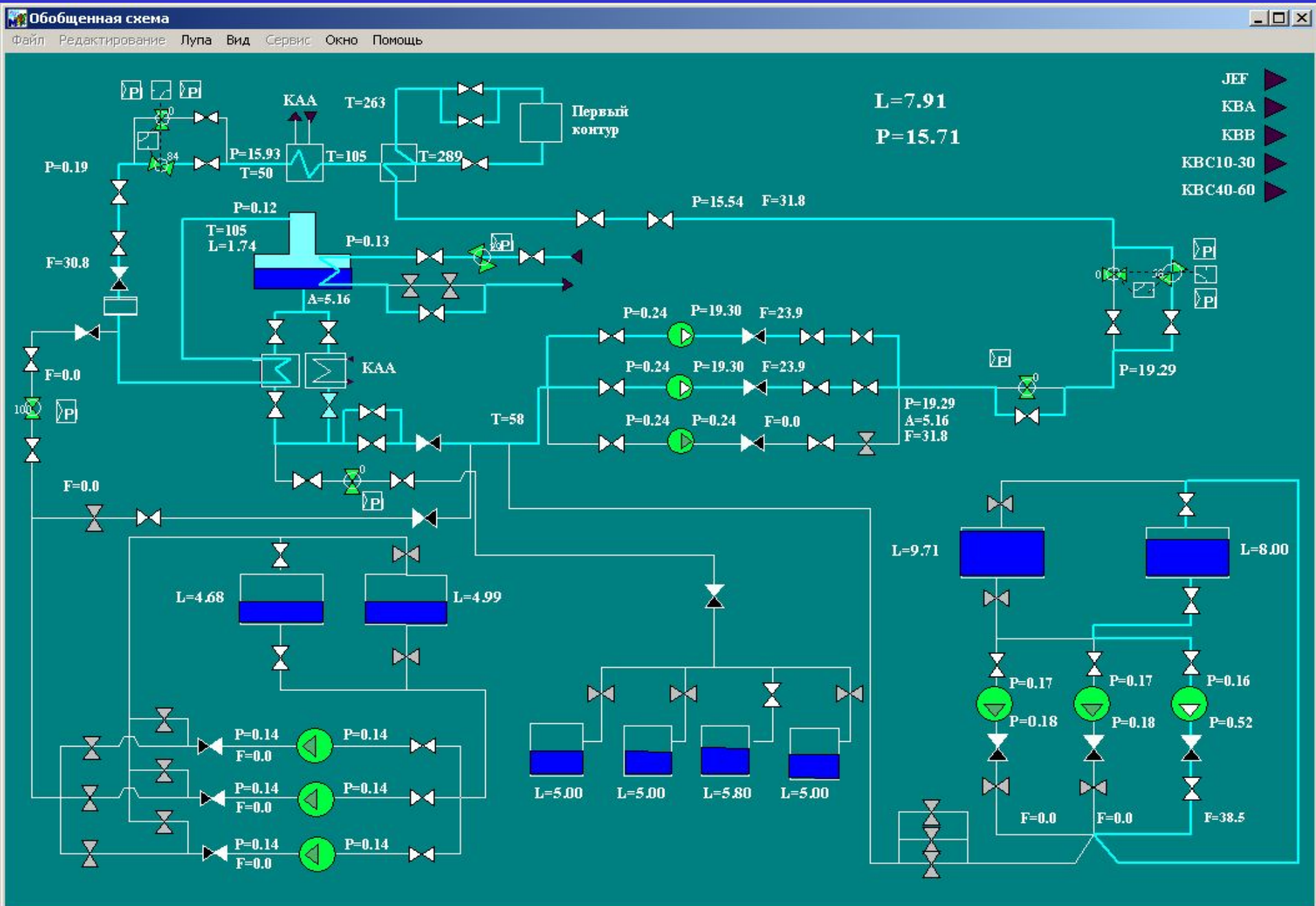
# Модель АСУ ТП турбинного отделения



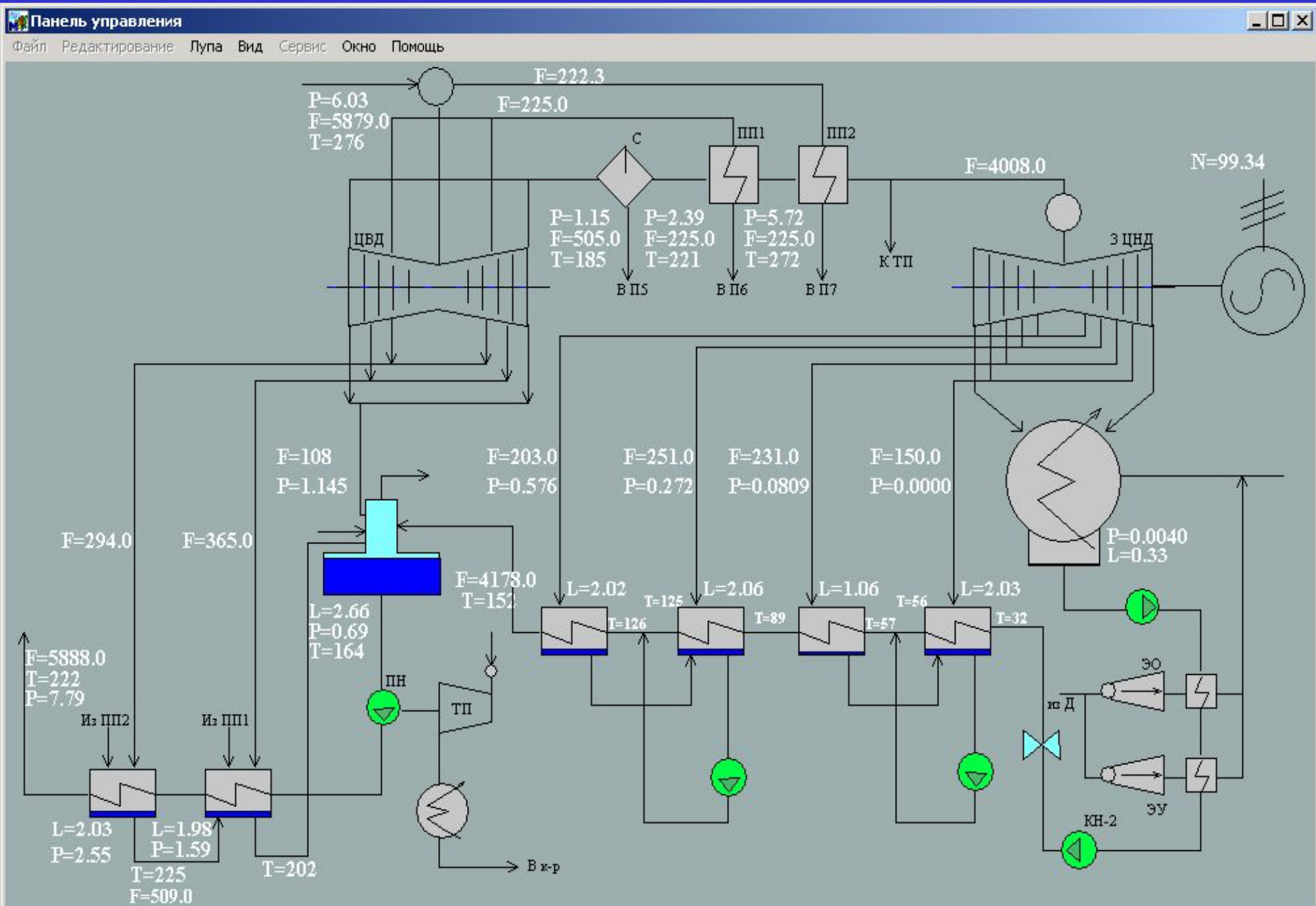
# Видеокадр первого контура ВВЭР-1000



# Видеокадр системы водоподготовки первого контура



# Обобщенный видеоквадр турбоустановки



# Проектное обоснование систем автоматики РУ БРЕСТ-ОД-300

В рамках точно-сосредоточенно моделируется:

я моделируется:

ков зазд. Н  
(23 группы из

File Edit Options Mode

**Параметры яд.реактора**

Нтепл, %	р/Вэфф.
96.54	-0.02246
Набс, МВт	Гр, кг/с
289.61	39249.97
Нзад	Тр вых
0.96404	541.97
Н*Ккор	Нзад пуск
0.96326	0.96415

Время: 14.121  
Шаг: 0.00434

**Сигналы АЗ**

\*Тр вых > 600  
553.12  
1/T > 0.05  
-0.00453  
Руч АЗ

**Сигналы ЭСМ**

Нотк.гцн > 2  
1  
Еар >= 0.15  
-0.0008  
дПЭН2=160  
0  
N > Nu(ЭСМ)  
1

**Сиг. БУСМ**

1	2	3	4	5
1	0	0	0	0

**СНАР**

Мснар1	Мснар2
0.215	0.215

34 : 7 Локал

D:\Дос\_KOS\Верси

34 : 7 Локал

D:\Дос\_KOS\Верси

40 : 9 Локал

42 : 24 Локально

File Edit Options Mode

**Управление**

**Ручное управление**

ГЦН-1	ГЦН-2	ГЦН-3	ГЦН-4
Гзад 1	Гзад 2	Гзад 3	Гзад 4
1.000	1.000	1.000	1.000
Vel 1	Vel 2	Vel 3	Vel 4
0.00	0.00	0.00	0.00
Гз			
0.3			
Тзад вх	Vel дТз	дТзад	
420.0	0.005	120.0	
РП1	РП2	РП3	РП4
0.800	0.800	0.800	0.800
Ггр1, %	Ггр2, %	Ггр3, %	Ггр4, %
100.00	100.00	100.00	100.00
Пуск РП1	Пуск РП2	Пуск РП3	Пуск РП4
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Рзад, атм	Откл. Атг	Мем РП	
240.0			
Лкр			
6.00			
Nconst	Нз пуск min %	1/Tзад	
0	0.01	0.02	
	Нз пуск max %		
	1		

А3, ЭСМ  
Сигнал АЗ

OR AND

самоход AP/KP

Лар Лаз Лцсо Лкр Лнос

0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1 1.2

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 16

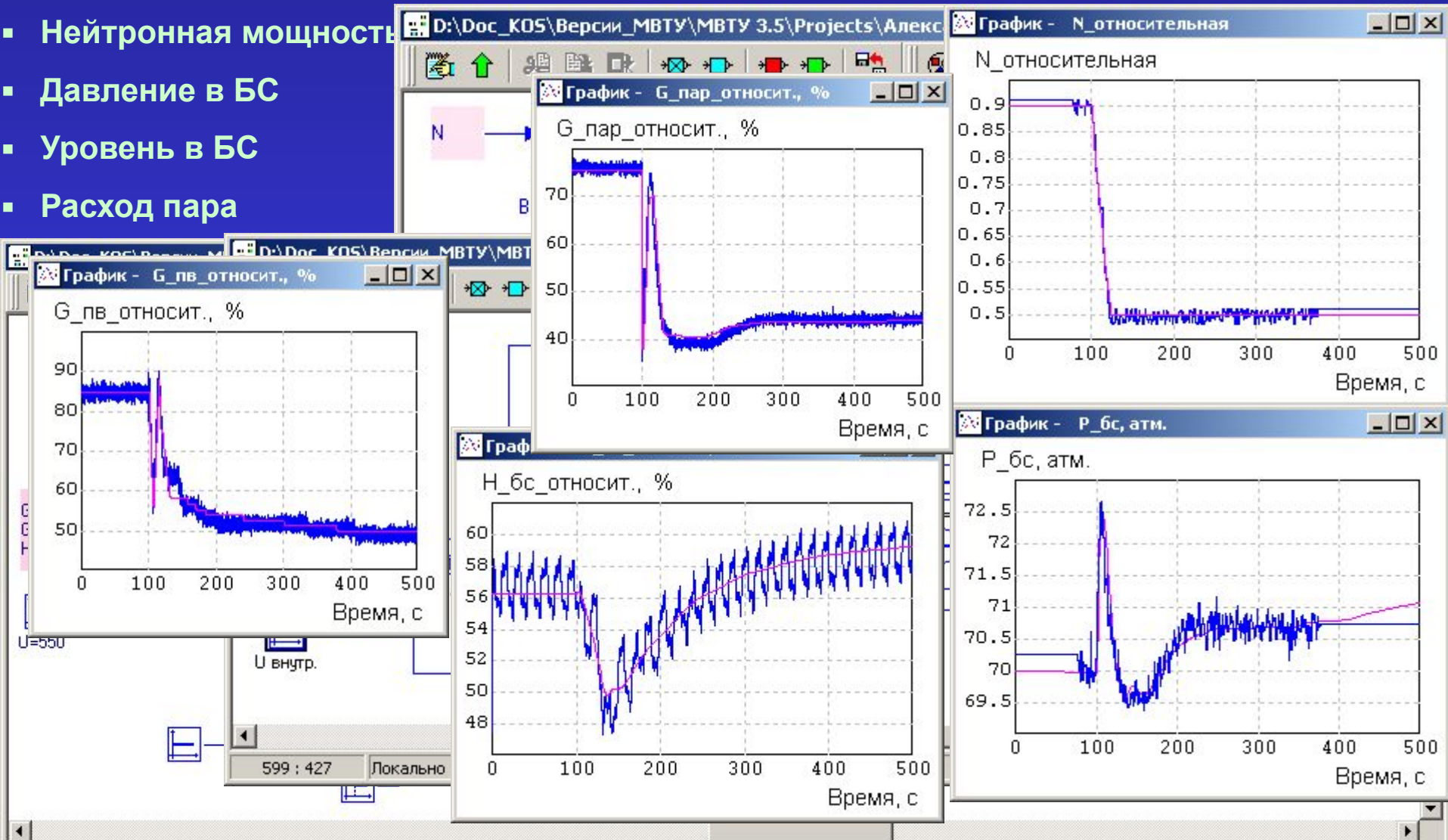
КИ  
ОС  
ТО  
ТЕ  
ТЕ  
ОС  
пр  
за  
алгоритмы а  
алгоритмы л  
переходные



# Модернизация тепловой автоматики реакторов РБМК-1000

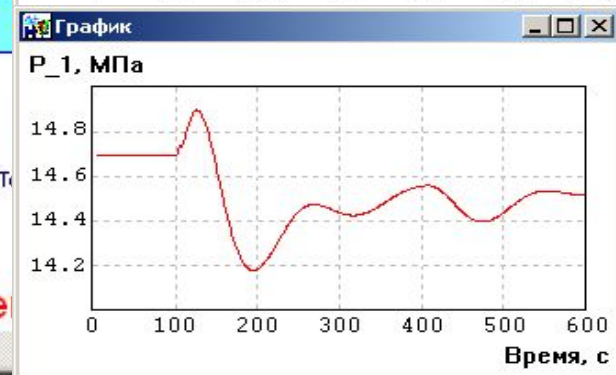
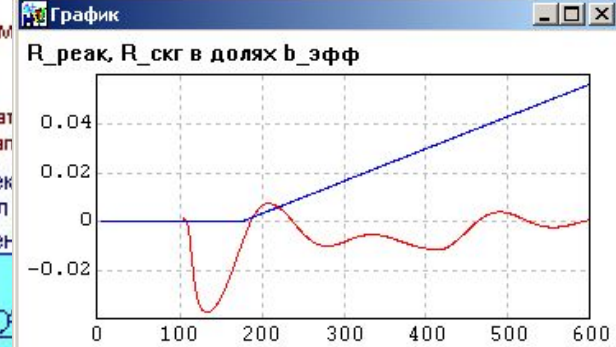
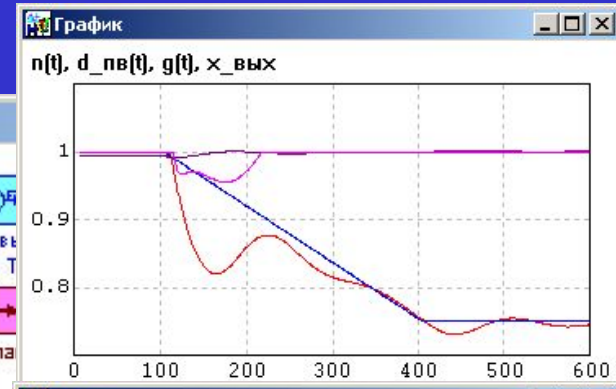
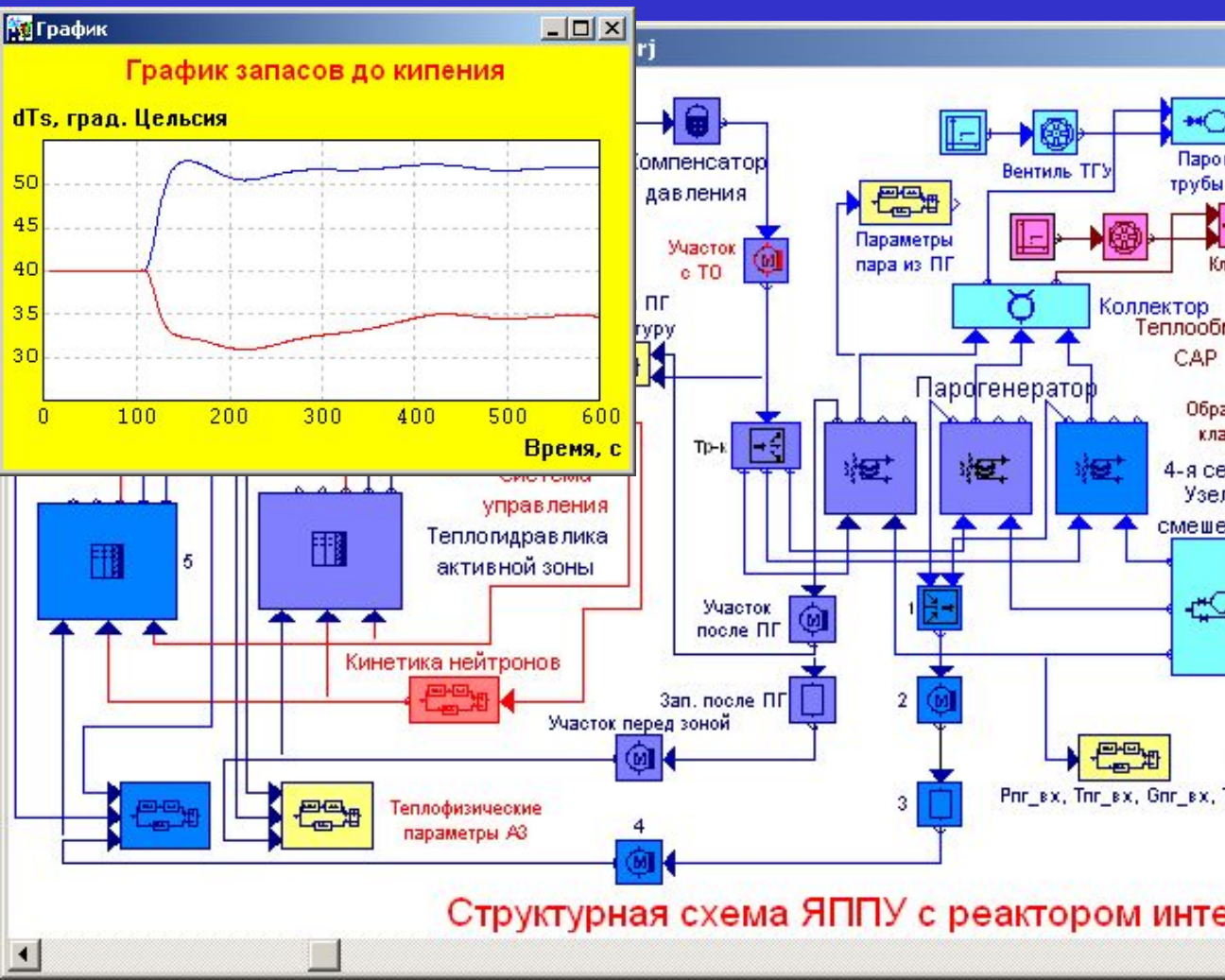
Сравнение результатов моделирования в среде ПК «МВТУ» режима АЗ-3 и реакторных экспериментов на 3 блоке САЭС (от 14 мая 2004 года)

- Нейтронная мощность
- Давление в БС
- Уровень в БС
- Расход пара



# Проектное обоснование ядерной безопасности ЯППУ с реактором интегрального типа мощностью 75 МВт

Разработка математической модели динамики ЯППУ выполнена в 1997...1998 годах в рамках работ по «корейскому» проекту...

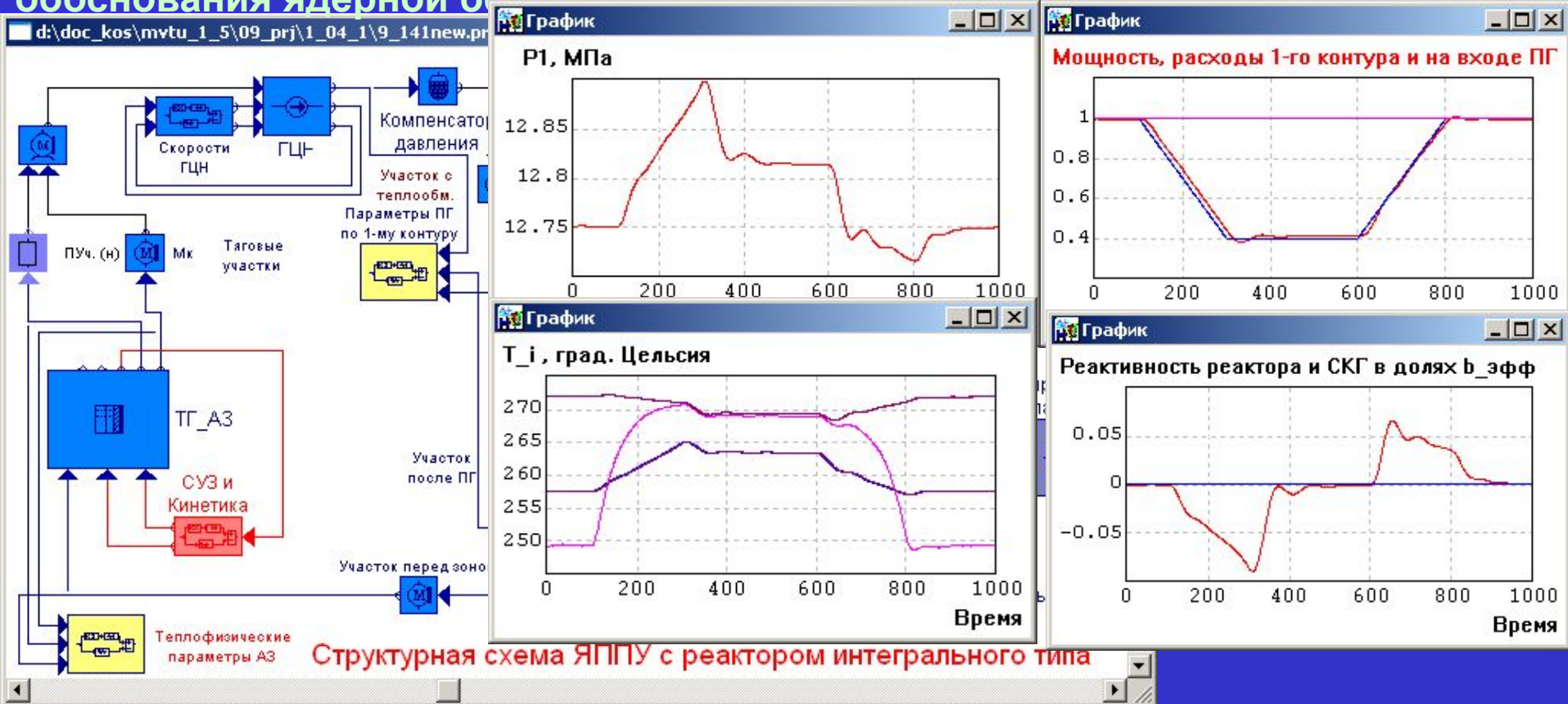


# Проектное обоснование ядерной безопасности ЯППУ с реактором интегрального типа малой мощности

Разработка математической модели динамики ЯППУ фактически выполнена в 1998 году в среде «МВТУ 1.5» ...

Модель использована в 2000...2003 годах как прототип для расчетного

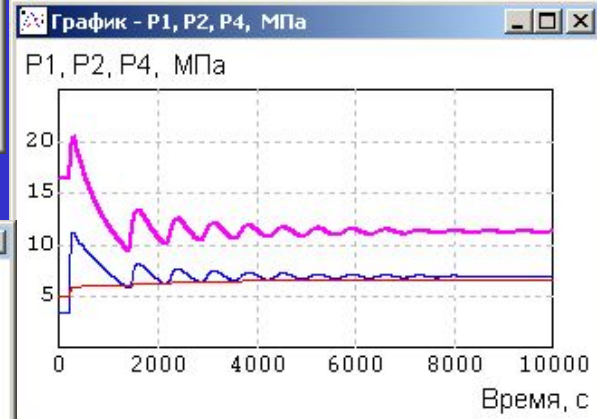
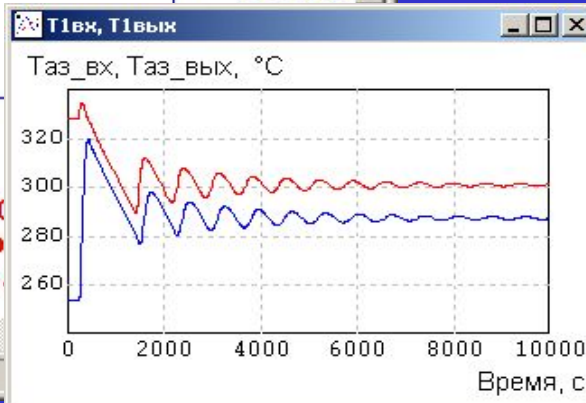
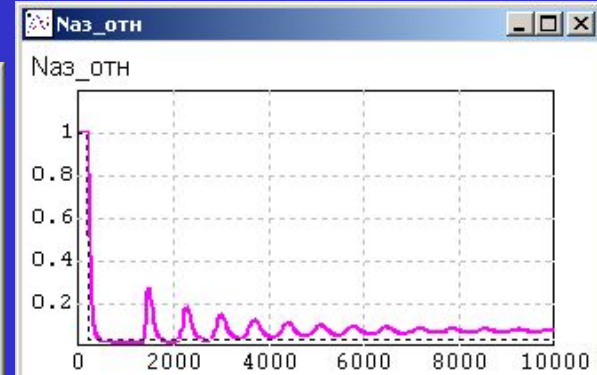
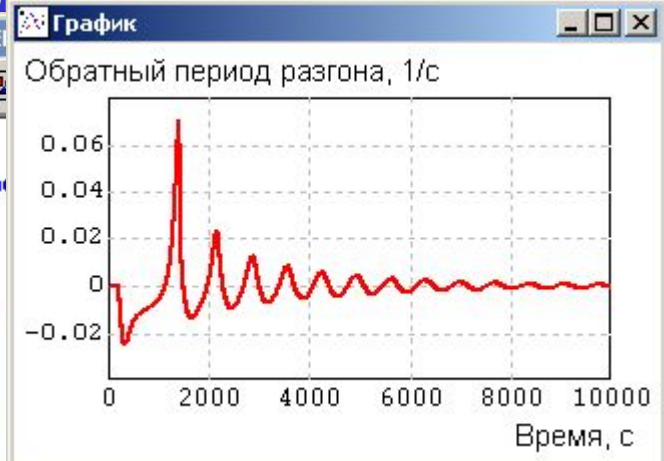
обоснования ядерной безопасности КЩА, проведенных в мае 2004 года



# Расчетное обоснование динамики АСММ «УниTERM»

Разработка математической модели динамики АСММ «УниTERM» выполнена в 2004 году в среде «MBTU 3.5» с использованием новой библиотеки типовых блоков «Реакторные», предназначенной для моделирования динамики ЯППУ с реакторами интегрального типа

D:\Doc\_K05\Версии\_MBTU\MBTU 3.5\Projects\UNITE



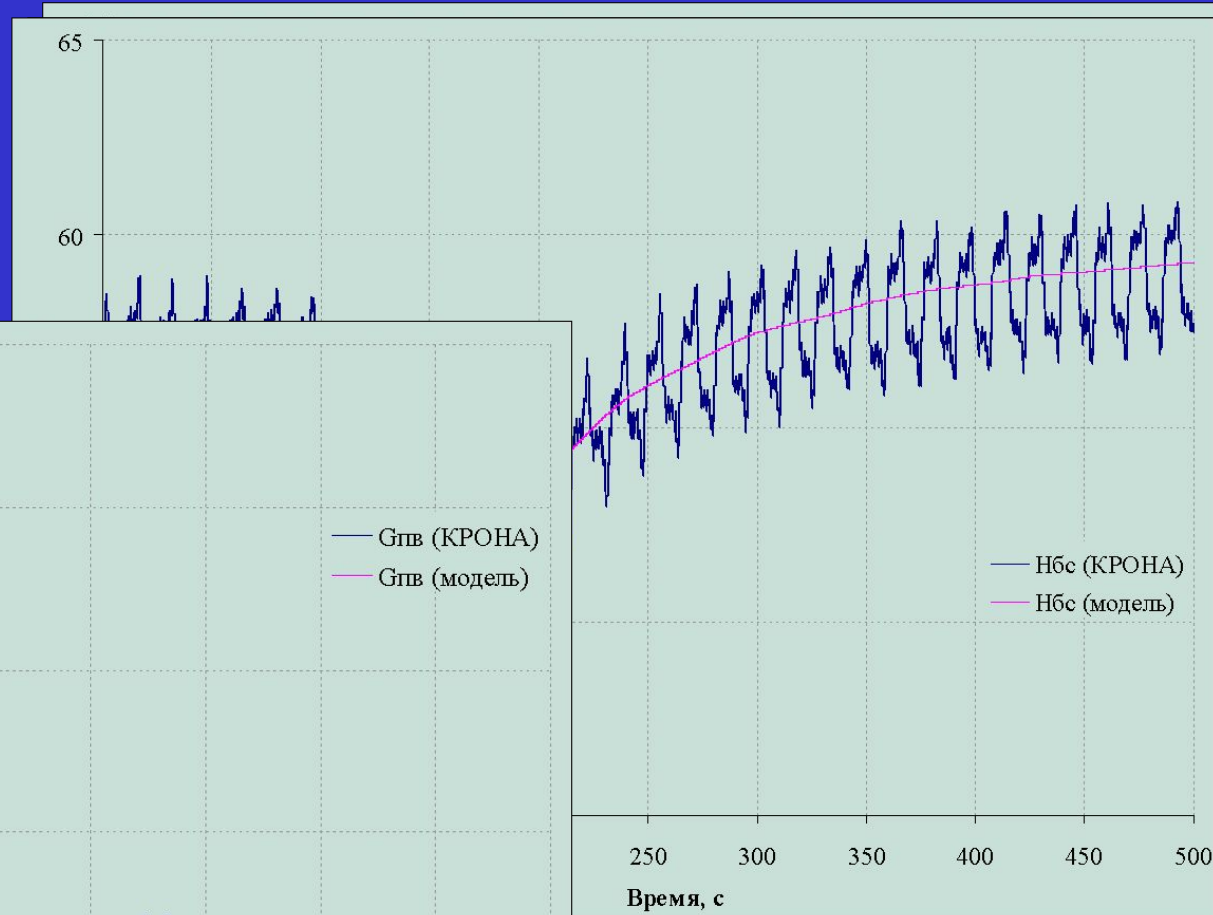
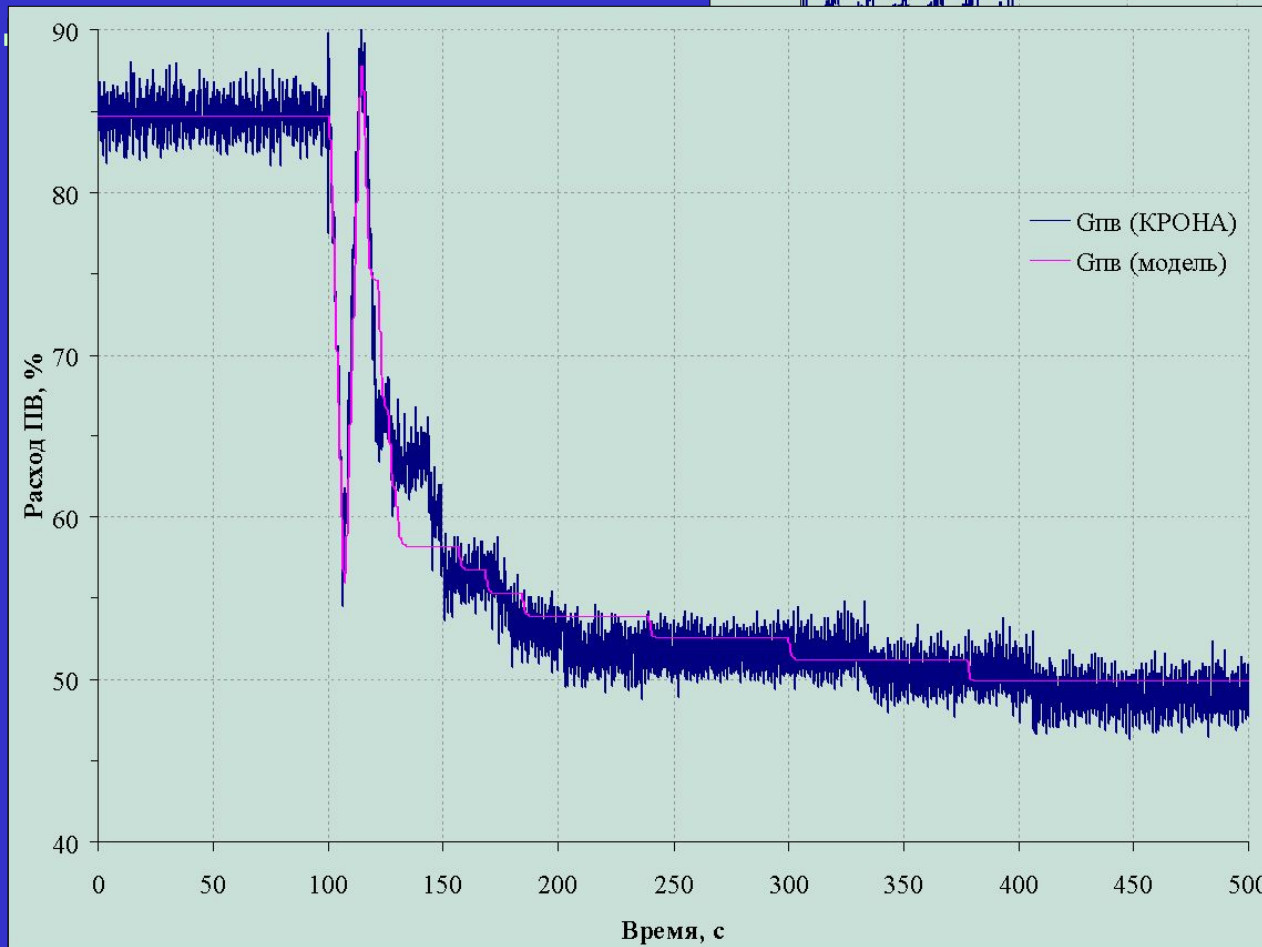
# Заключение

- Создана качественно новая версия ПК «МВТУ», не имеющего отечественных аналогов и не уступающего зарубежным ПК аналогичной направленности (Simulink, MATRIX, VisSim и др.)
- Показана эффективность использования ПК «МВТУ» при проектировании любых систем автоматического управления, вплоть до полномасштабной модели АСУ ТП энергоблока АЭС
- Показана эффективность использования ПК «МВТУ» при разработке «быстрых» математических моделей динамики ЯЭУ с физически малыми активными зонами
- Показана возможность интеграции ПК «МВТУ» с внешними программами и

# Модернизация тепловой автоматики реакторов РБМК-1000

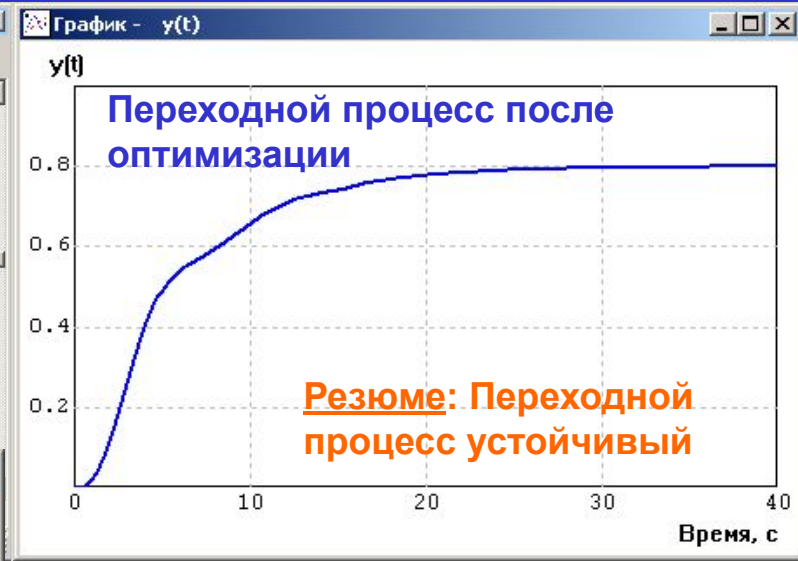
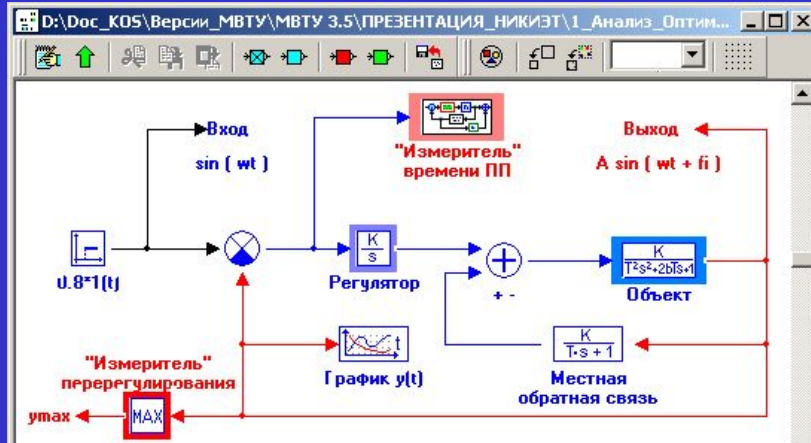
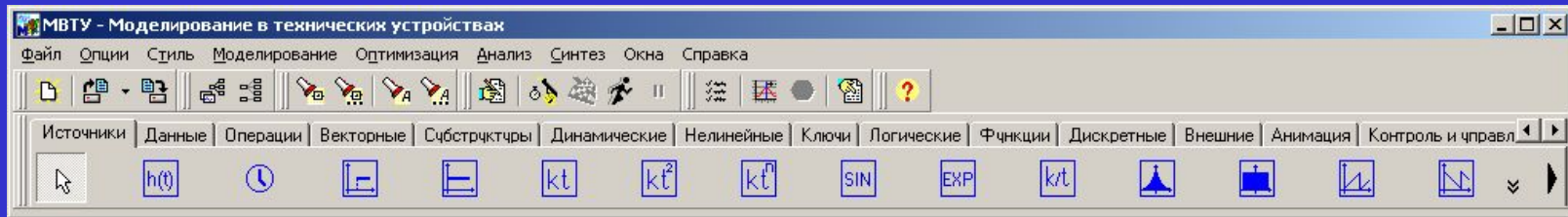
## Результаты моделирования и реакторные эксперименты на 3 блоке САЭС

- Нейтронная мощность
- Давление в БС
- Уровень в БС
- Расход пара



# Использование ПК «МВТУ» в учебном процессе

- **Пример из обучающего лабораторного практикума**
  - создание структурной схемы системы автоматического регулирования (САР)
  - моделирование переходного процесса в исходной САР
  - анализ устойчивости исходной САР с использованием критерия Найквиста
  - оптимизация параметров САР по 2-м критериям



Результаты оптимизации

Оптимизируемые параметры: k

Критерии оптимизации : y<sub>max</sub> t<sub>pp</sub>

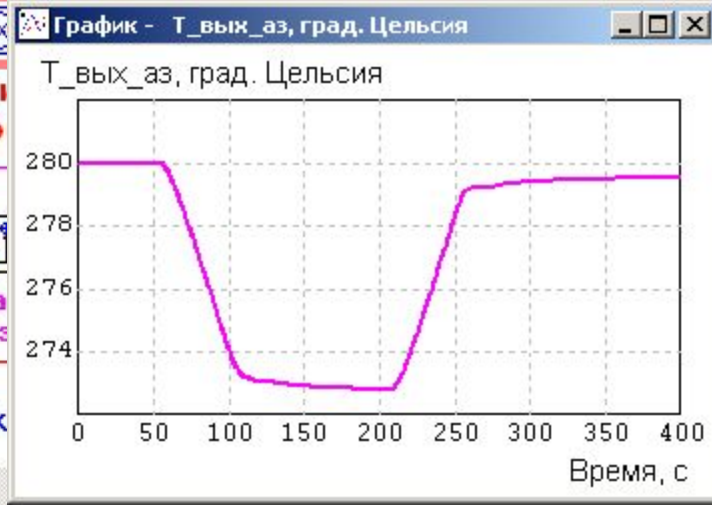
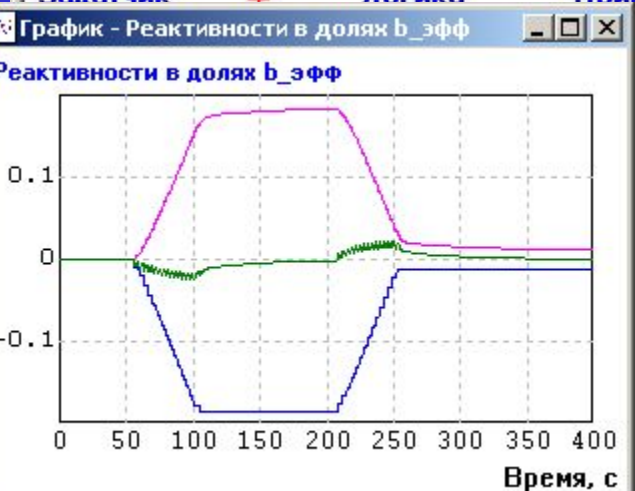
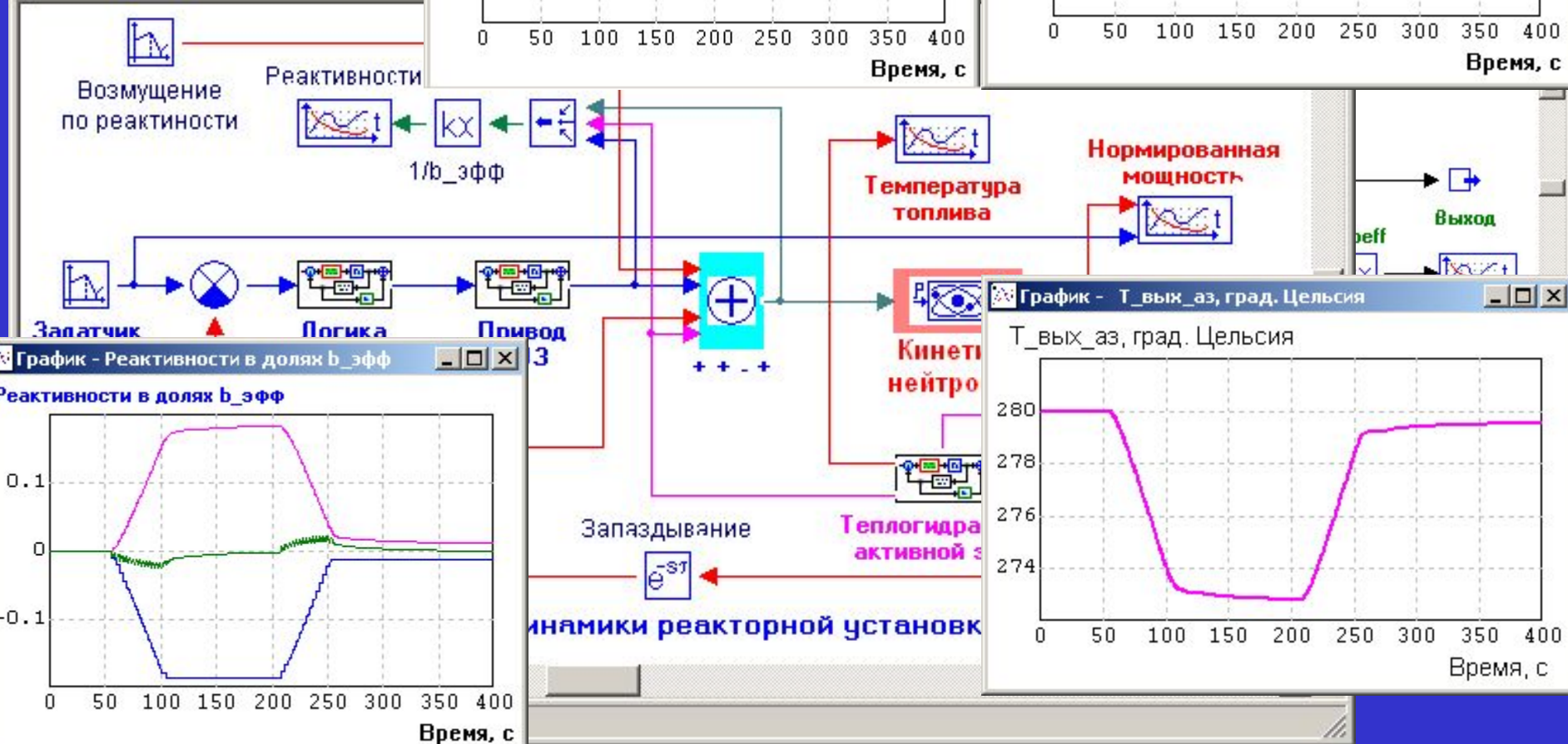
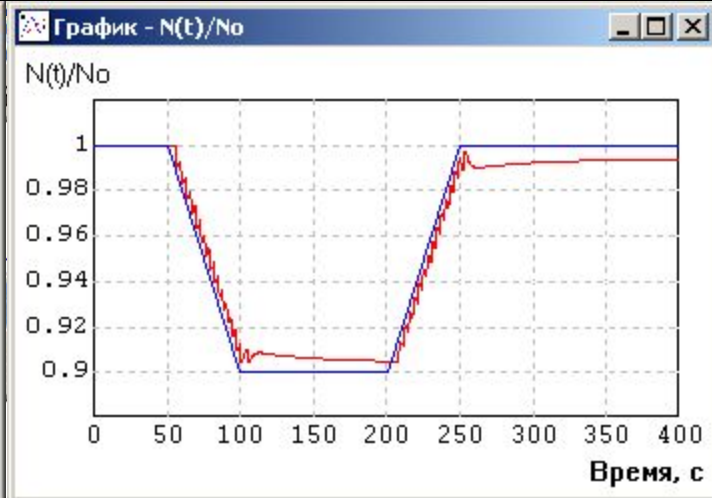
№	k	y <sub>max</sub>	t <sub>pp</sub>	F
1	1	1.34531	39.8978	9.66547
7	0.2	0.79943	16.8002	0

Применить Отменить Помощь

# Использование ПК «МВТУ» в учебном процессе

## Лабораторная работа

D:\Doc\_KOS\Версии\_МВТУ\МВТУ





# Использование ПК «МВТУ» в учебном процессе

Курсовая работа (под контролем преподавателя) по курсу

«Динамика, управление»

**Структурная схема динамики**

Блок СПД →  $\frac{K}{s}$  → БПара\_ном → БПара → нагрузка гкл. ГЦН

**Пульт Управления**  
Файл Правка Опции Режим

### ПУЛЬТ УПРАВЛЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛЬЮ ДИНАМИКИ РЕАКТОРА РБМК-1000

#### ПАРАМЕТРЫ ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА

ТЕКУЩАЯ ОТН. МОЩНОСТЬ	N_отн, %	90.3
	N_абс, МВт	2708.7
	Xвых_аз, %	12.4
РЕАКТИВНОСТЬ / В_эфф, %	ρ/ Вэфф, %	-2.75
	T_обр, 1/с	0.003
	Tобр_max	0.038

#### ПАРАМЕТРЫ КМПЦ

ДАВЛЕНИЕ, бар	P, бар	68.13	
Расход пара, кг/с	УРОВЕНЬ БС, м	H_бс, м	1.360
Расход питательной воды, кг/с	G_пар, кг/с	G_пв, кг/с	Бцирк, кг/с

#### ВКЛ/ОТКЛ ГЦН

ГЦН-1 ГЦН-2 ГЦН-3 ГЦН-4

#### ВКЛ/ОТКЛ ПЭН

ПЭН-1 ПЭН-2 ПЭН-3

#### РУЧНОЕ УПРАВЛЕНИЕ КМПЦ

Расход пара, кг/с Расход ПВ, кг/с

Автоматика

564 : 442 Лока

# Основные характеристики языка программирования

- 1) Все массивы данных – матрицы. Числовые вектора, переменные, константы – частные случаи матриц.
- 2) Все числа – комплексные. Действительные, целые и другие типы чисел – частные случаи комплексных чисел.
- 3) Поддерживаются все основные матричные операции (+, -, \*, /, инверсия, транспонирование, вычисление собственных чисел и др.)
- 4) Поддерживаются все основные функциональные преобразования векторов комплексных чисел (арифметические, тригонометрические, специальные функции – функции Бесселя, гамма-функции, функции ошибок, БПФ и др.)
- 5) Поддерживаются все основные операторы циклов: *if ... then ... else ... ; for (...) ... ; while ... do ... ; goto ... ; repeat ... until ... ; begin ... end;* и др.
- 6) Поддерживаются операторы условной компиляции: *define ... ; undefine ...; ifdef ... elseif ... endif;* и др.
- 7) Реализованы функции вычисления термодинамических свойств воды и пара, аммиака, а также ряд функций для замыкающих соотношений по гидродинамике и

**Спасибо.**

**Вопросы ?**