



**OptSim - K**

Program development for power engineering

113534 Москва, ул. Янгеля 8–72

# Boiler Designer



Факс  
e-mail

(007)(095) 386-8029

(007)(095) 386-5370

[Optsim@comtv.ru](mailto:Optsim@comtv.ru)



Программа для создания управляемых  
всерезимных математических моделей  
теплоэнергетических объектов.





## Назначение программы

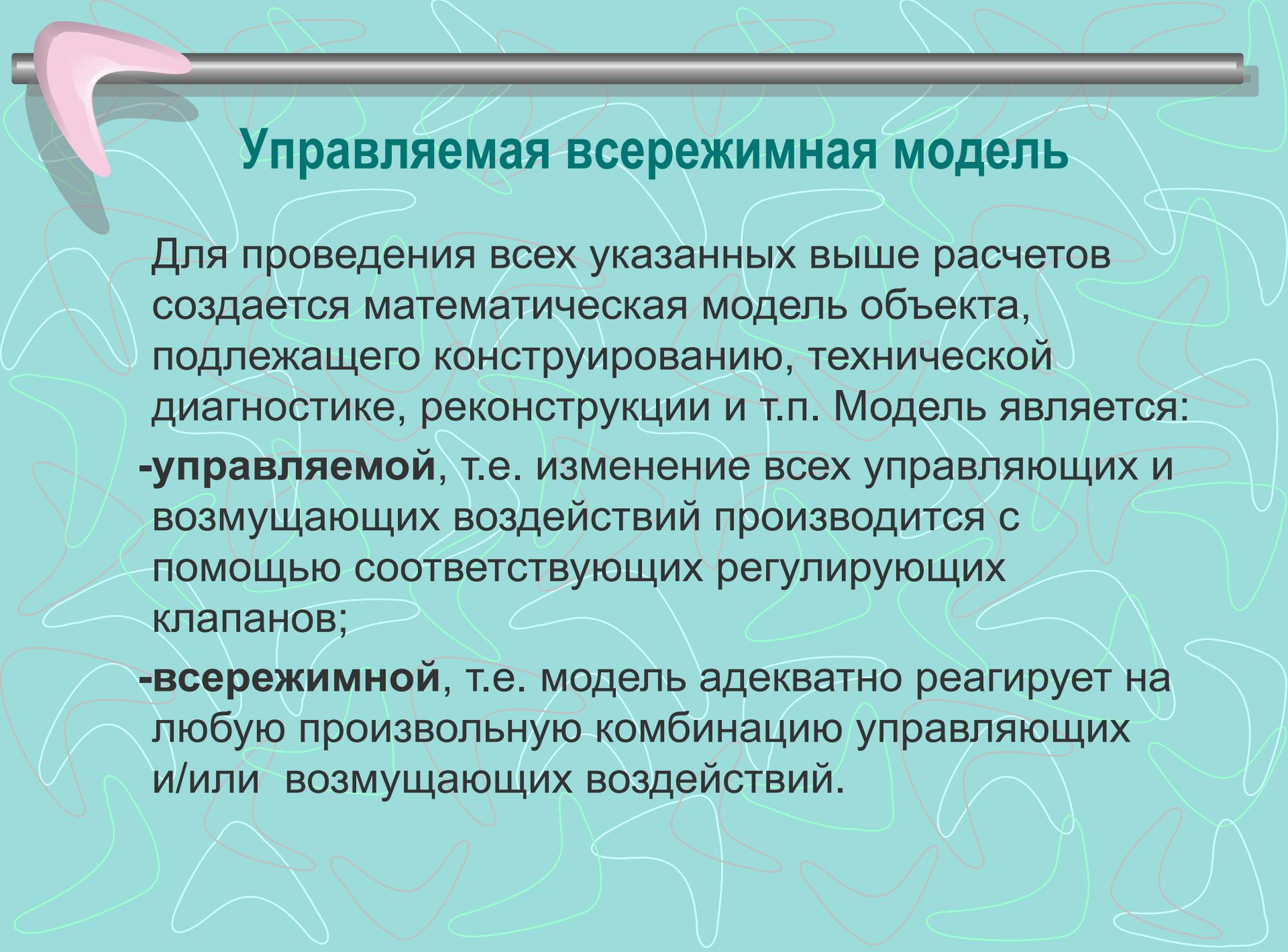
“Boiler Dynamic” – это совершенно простая в обращении и в то же время гибкая, быстродействующая и чрезвычайно эффективная **программа для инженеров-теплотехников**, разрабатывающих и эксплуатирующих теплоэнергетическое оборудование. Созданные с её помощью математические модели позволяют в кратчайшее время проанализировать не только **статические**, но и **динамические** характеристики. Удобный диалог дает возможность пользователю **быстро вносить изменения** в математическую модель и тем самым в кратчайшие сроки рассмотреть широкий спектр возможных конструкций ТЭС с учётом переменных условий её эксплуатации и выбрать оптимальный вариант.



# Типы расчетов.

Программа позволяет выполнить следующие типы расчетов:

- Проверочные тепловой, гидравлический и аэродинамический расчеты котла.
- Расчет переходных режимов котла ( пусков, остановов, резких изменений нагрузки и пр. ).
- Расчет расхода топлива.
- Расчет естественной циркуляции.
- Расчет тепловых схем энергоблоков.
- Тепломеханический расчет поверхностей с учетом теплогидравлических разверок.
- Расчет максимальной пропускной способности трубопроводов сброса, продувки и т.п.



## Управляемая всережимная модель

Для проведения всех указанных выше расчетов создается математическая модель объекта, подлежащего конструированию, технической диагностике, реконструкции и т.п. Модель является:

- управляемой**, т.е. изменение всех управляющих и возмущающих воздействий производится с помощью соответствующих регулирующих клапанов;
- всережимной**, т.е. модель адекватно реагирует на любую произвольную комбинацию управляющих и/или возмущающих воздействий.

# Элементы

В программе предусмотрены средства, позволяющие самому пользователю с минимальными трудозатратами создавать такие модели. Для этого были разработаны **более 100 унифицированных элементов**, которые для удобства разделены на 8 групп. Выбор нужного элемента осуществляется простым нажатием кнопки с его пиктограммой

Кнопки выбора групп элементов. Нажата кнопка «Элементы воздушного тракта»

Иконки выбора элементов воздушного тракта



Иконка трубчатого ВП

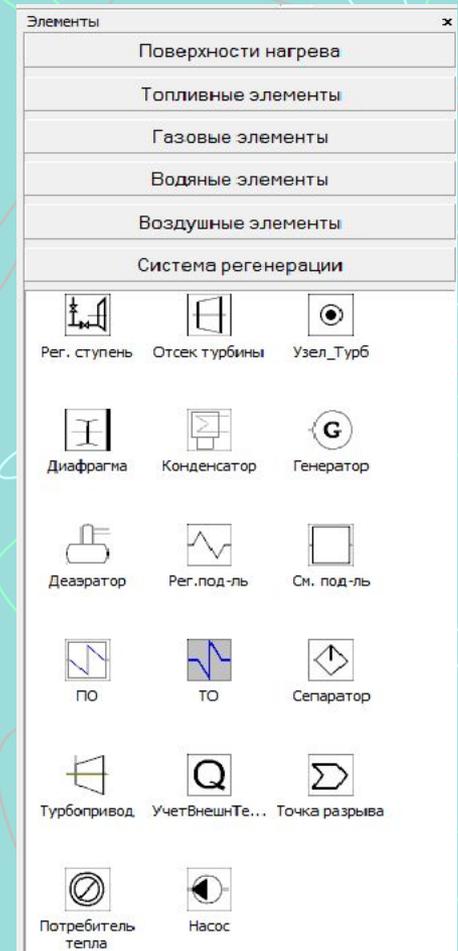
Иконка РВП

Пиктограммы элементов (регенеративный и трубчатый воздухоподогреватели)

# Библиотека элементов

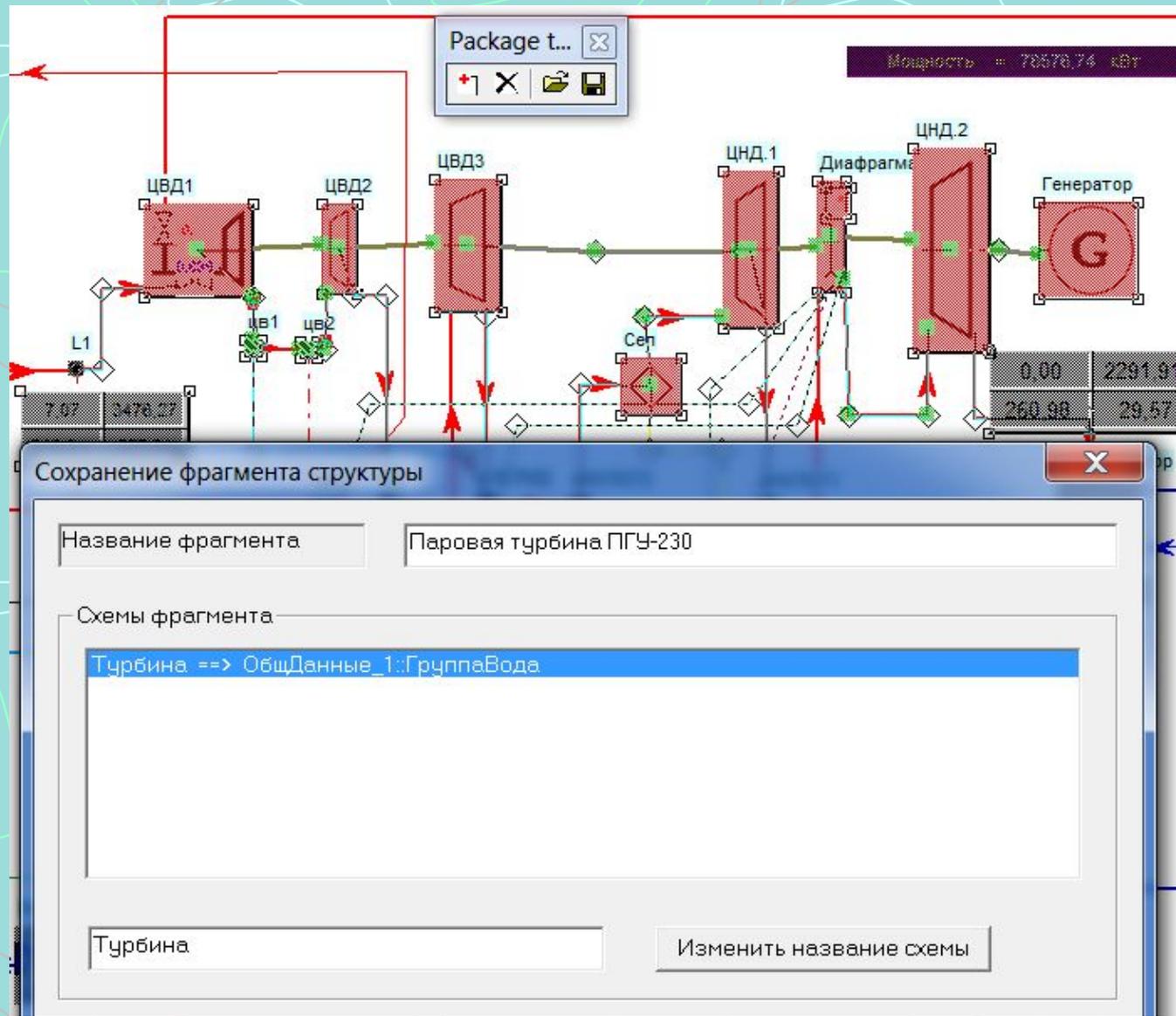
Для удобства поиска библиотека элементов содержит 8 разделов.

Пиктограмма нужного элемента переносится на схему с помощью мыши (drag-drop).



# Сохранение и перенос фрагментов структуры

Предусмотрена возможность создания схем не только из отдельных элементов, но и из крупных фрагментов ранее созданных структур. Для сохранения фрагмента следует в специальном диалоге выделить необходимые элементы красным цветом. Эти элементы сохраняются вместе со связями и исходными данными. Если элемент является иерархическим, то сохраняются и все элементы в его группах. В сохранённом фрагменте может быть как одна, так и несколько схем.



# Иерархические группы

Некоторые из элементов являются иерархическими, т.е. содержат группы, в которые помещаются другие элементы

П/в тракт котла высокого давления

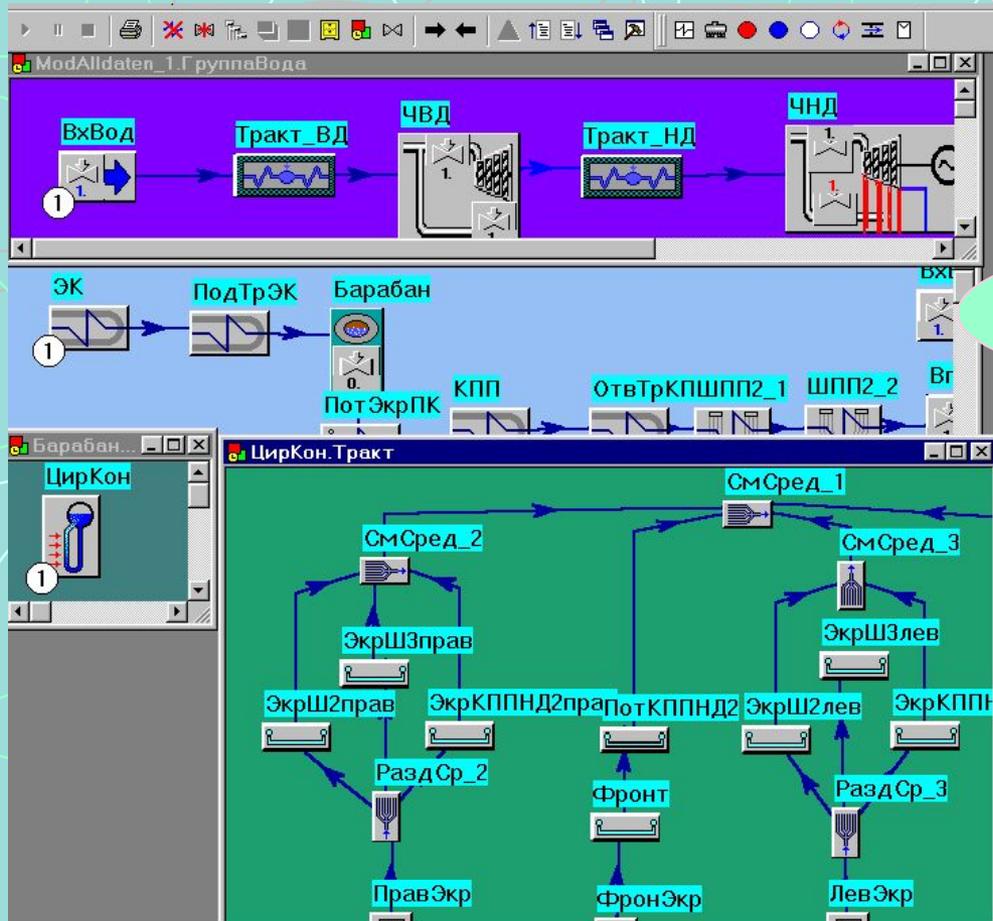


Схема энергоблока.  
Уровень 1

Группа п/в тракт  
Уровень 2

Схема циркуляционного контура.  
Уровень 4

Барaban

Группа «Цирксистема» элемента «Барaban»  
Уровень 3

Элемент «Циркуляционный контур»

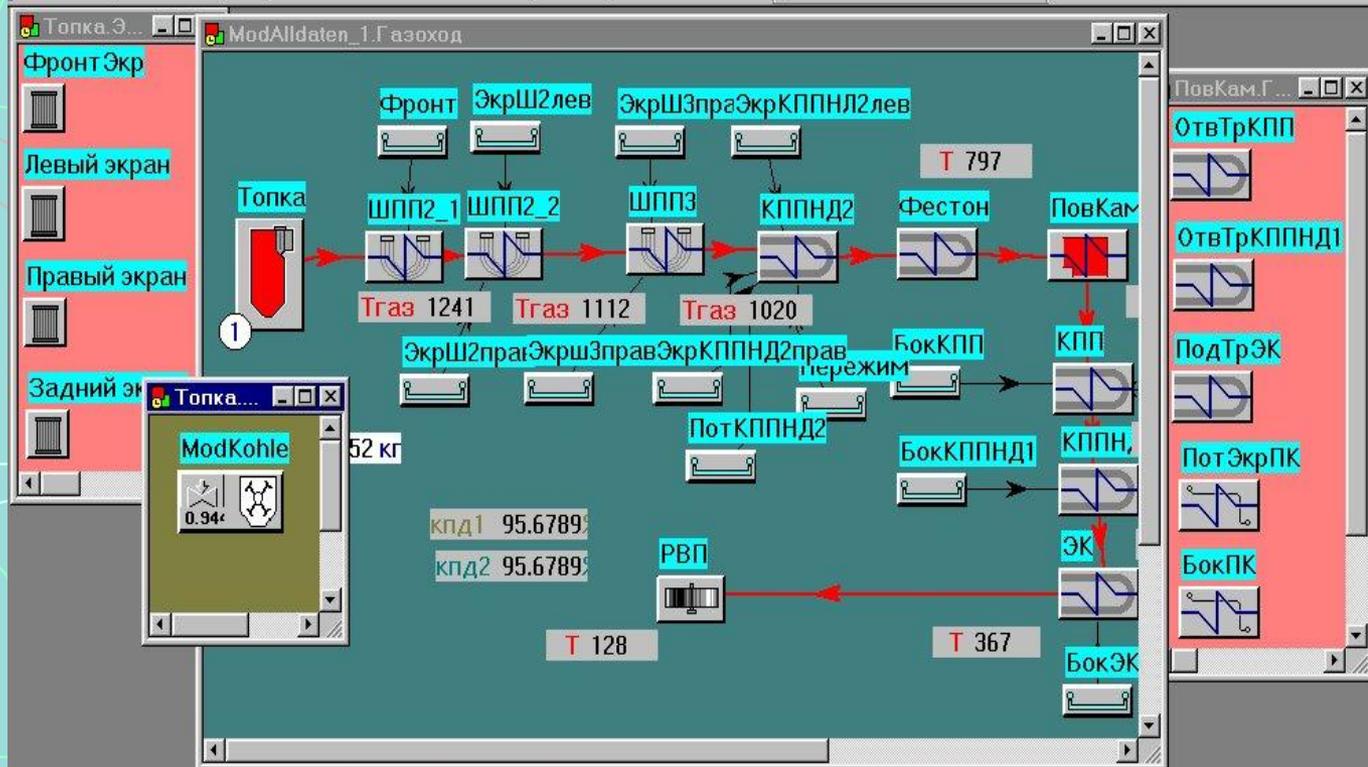
# Иерархическая структура

Элемент  
“Топка”

Схема газового тракта  
котла

Элемент “Поворотная  
камера”

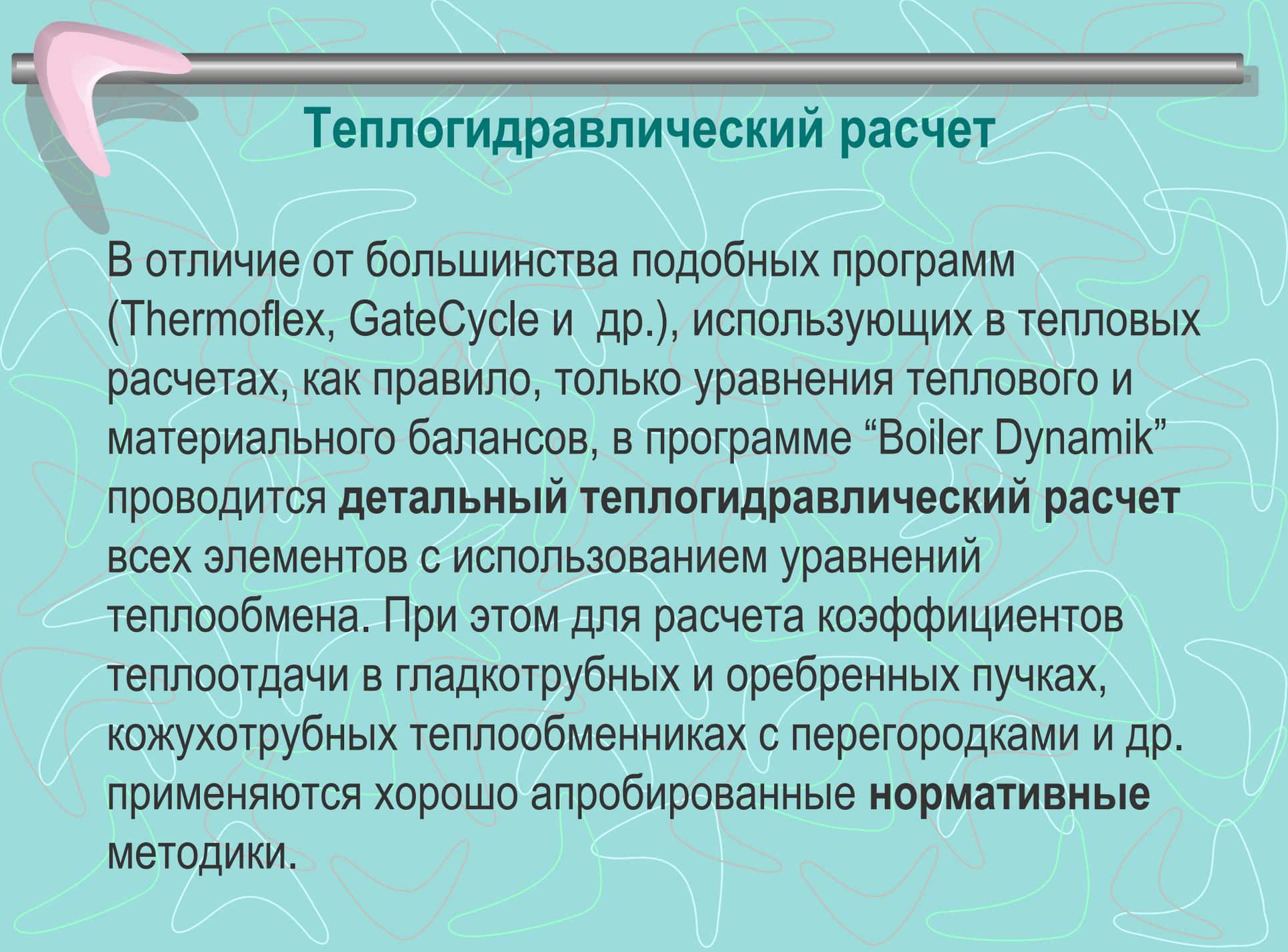
Некоторые элементы имеют несколько групп. Например, элемент “Топка” имеет 2 группы: “Экраны” и “Топливо”. Иерархическая структура позволяет собирать схемы самых сложных объектов без ограничения количества элементов



Группа  
“Экраны”

Группа  
“Топливо”

Группа “Поворотная камера”  
включает отводящие трубы и экраны



## Теплогидравлический расчет

В отличие от большинства подобных программ (Thermoflex, GateCycle и др.), использующих в тепловых расчетах, как правило, только уравнения теплового и материального балансов, в программе “Boiler Dynamik” проводится **детальный теплогидравлический расчет** всех элементов с использованием уравнений теплообмена. При этом для расчета коэффициентов теплоотдачи в гладкотрубных и оребренных пучках, кожухотрубных теплообменниках с перегородками и др. применяются хорошо апробированные **нормативные методики**.

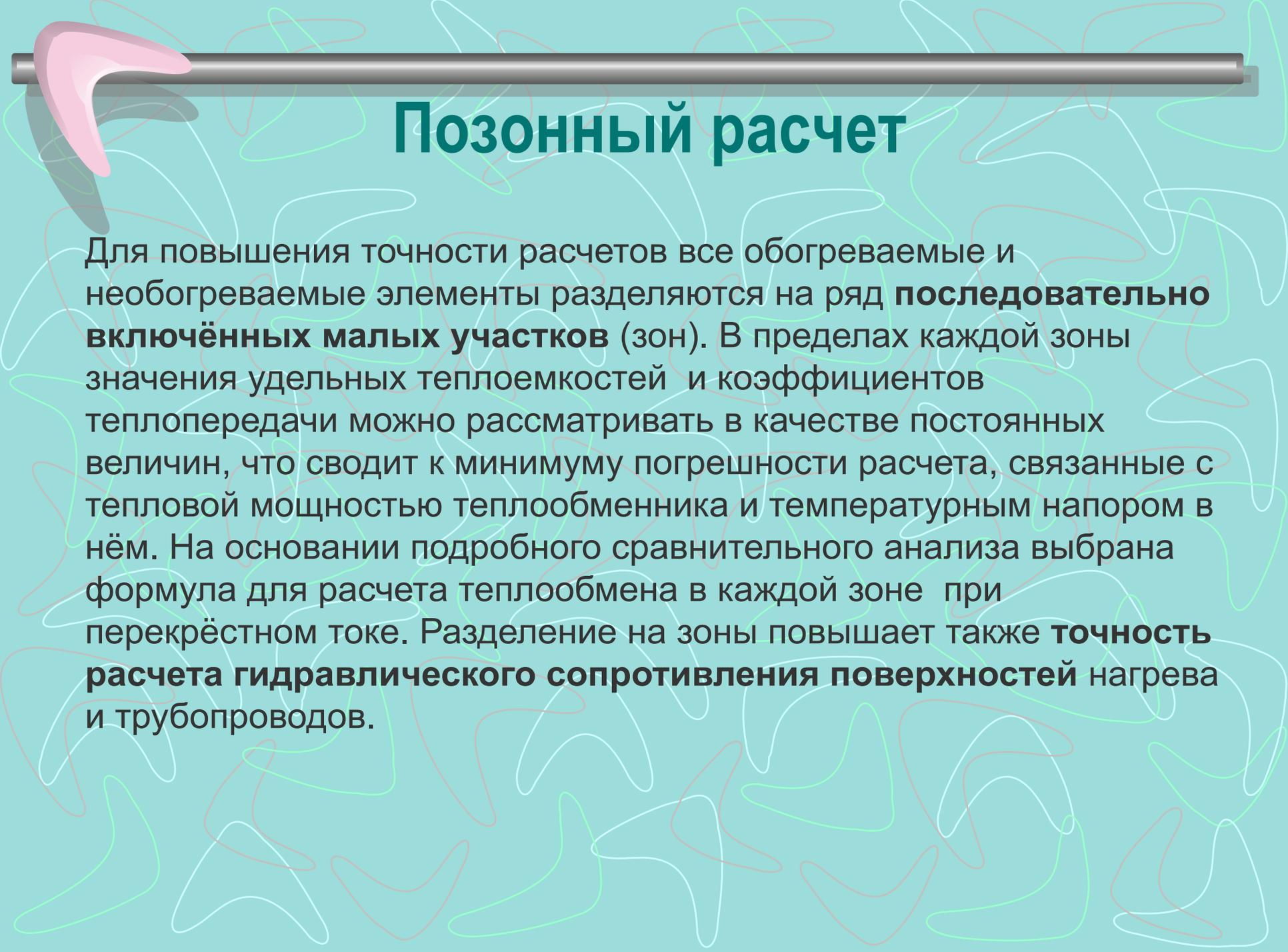


# Применяемые методики расчета.

В программе применяются хорошо апробированные нормативные методики :

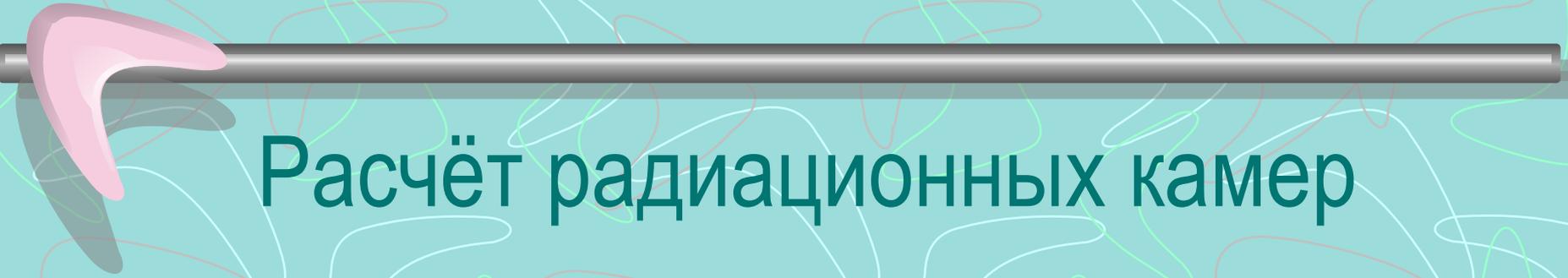
1. Тепловой расчет котельных агрегатов. Нормативный метод . Энергия , 1973 г.
2. Тепловой расчет котлов. Нормативный метод . Санкт-Петербург, , 1998 г.
3. Гидравлический расчет котельных агрегатов. Энергия, 1978 г.
4. Расчет и рекомендации по проектированию поперечно-ребренных конвективных поверхностей нагрева стационарных котлов . РТМ 108.030.140-87
5. Руководящие указания к гидравлическим расчетам трубопроводов.
6. VDI – Waermeatlas , 8 Auflage 1997
7. FDBR – Handbuch 1991

**Пользователь имеет возможность выбрать методику расчета.**



# Позонный расчет

Для повышения точности расчетов все обогреваемые и необогреваемые элементы разделяются на ряд **последовательно включённых малых участков (зон)**. В пределах каждой зоны значения удельных теплоемкостей и коэффициентов теплопередачи можно рассматривать в качестве постоянных величин, что сводит к минимуму погрешности расчета, связанные с тепловой мощностью теплообменника и температурным напором в нём. На основании подробного сравнительного анализа выбрана формула для расчета теплообмена в каждой зоне при перекрёстном токе. Разделение на зоны повышает также **точность расчета гидравлического сопротивления поверхностей нагрева и трубопроводов**.



# Расчёт радиационных камер

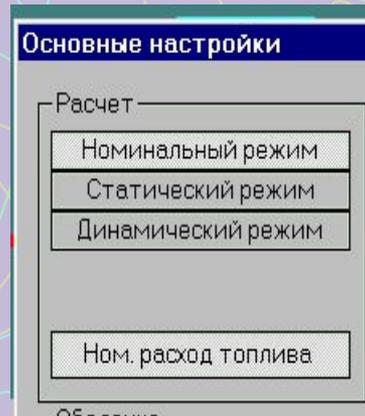
Для расчёта радиационных камер (поворотных газоходов и т.п.) используется уточнённая система зависимостей, полученных путём **интегрирования дифференциального уравнения теплообмена**, сформулированного в соответствии с физическими особенностями процесса. При этом учитывается не только изменение температуры газов по длине радиационной камеры, но и **конвективный теплообмен**, пренебрежение которым, как показывают экспериментальные данные, может привести к погрешности 5-10%.

## Преимущество 1. Совмещены расчеты статики и динамики

Программа “Boiler Dynamik” имеет ряд преимуществ по сравнению с аналогичными программами :

- Позволяет рассчитать не только статические, но и динамические характеристики объекта и, следовательно, органично ввести расчеты динамики в технологический процесс проектирования и совершенствования эксплуатационных режимов

Клавиши изменения типов расчета в диалоге “Основные настройки”



Расчет номинального режима

Расчет частичных нагрузок для определения статических характеристик

Расчет переходных режимов

Расчет расхода топлива в номинальном режиме

## Преимущество 2. Быстрое внесение изменений

Использование унифицированных элементов и удобный графический диалог сводит к **минимуму** **трудозатраты** на создание адекватной математической модели энергетического объекта. При этом пользователь, не обладающий какими-либо навыками программирования, может легко вносить в эту модель корректировки, связанные с изменениями условий эксплуатации и конструктивными усовершенствованиями.

Введено новое топливо «Газ» и открыт диалог для задания его свойств.



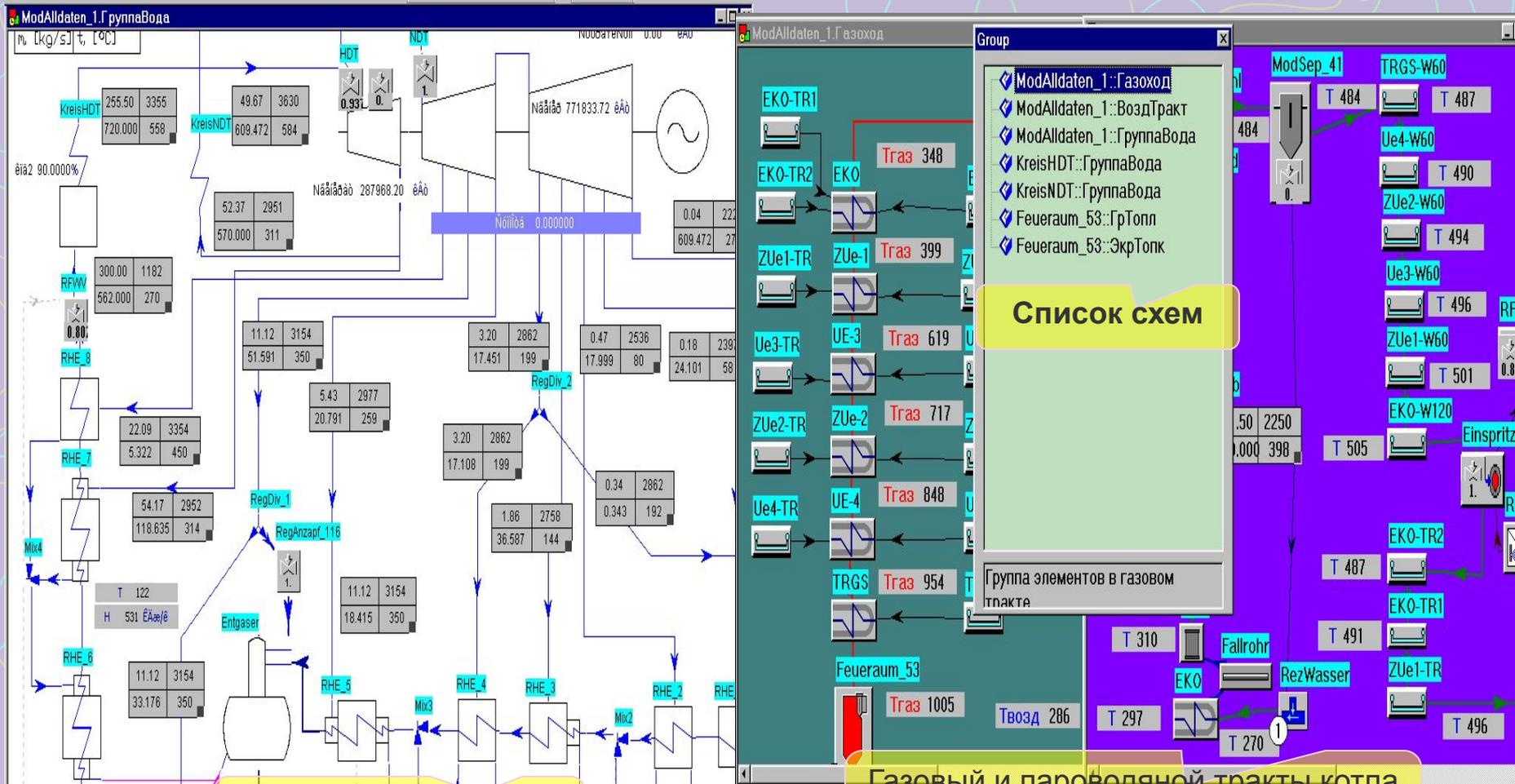
The screenshot shows a software window titled 'Топка.Гр...' with a 'Газ' dialog box open. The dialog box contains a tree view with 'InputData' selected. To the right, a table lists the properties for the selected fuel.

Параметры	Значение	Размерность	Описание
Fv	нм3/с	-	Задание расхода и с
Ar	0.0000	%	Содержание Ar
CH4	84	%	Содержание CH4
C2H6	0.0000	%	Содержание C2H6
C3H8	0.0000	%	Содержание C3H8
C4H10	0.0000	%	Содержание C4H10
C5H12	0.0000	%	Содержание C5P12
N2	0.0000	%	Содержание N2
CO2	0.0000	%	Содержание CO2
H2S	0.0000	%	Содержание H2S
O2	0.0000	%	Содержание O2
CO	0.0000	%	Содержание CO
H2	0.0000	%	Содержание H2
C2H4	0.0000	%	Содержание C2H4

Загр	0.005	m <sup>2</sup> *K/W	Козф. загрязнения
ЗагрВн	0.0000	m <sup>2</sup> *K/W	Козф. загрязнения внутри труб
dЗагрНар	0.0	мм	Толщина наружн. загрязнений
dЗагрВн	0.0	мм	Толщина внутр. загрязнений
КТП_из	30.0000	Вт/м*К	Козф. теплопередачи изоляции
dАльфа	0.000000	-	Присосы холодного воздуха
ТипМет	15 MnNi 6 3	-	Тип металла труб

Изменение величины загрязнения одной из поверхностей нагрева

# Преимущество 3. Совмещен расчет тепловой схемы энергоблока и тепло-гидравлический расчет котла

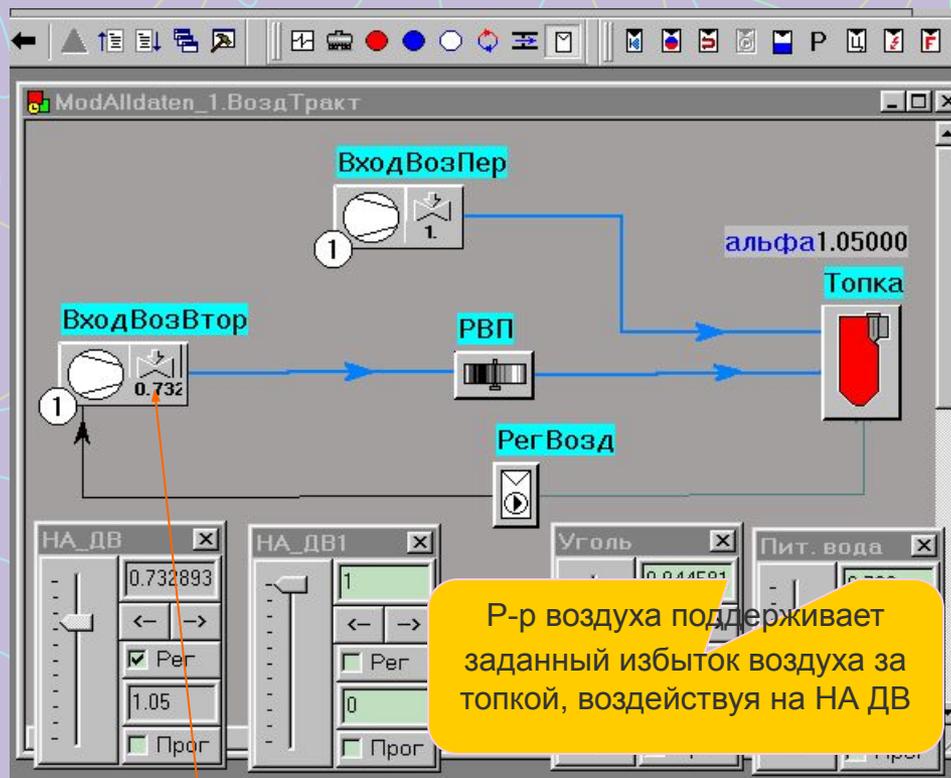


## Преимущество 4. Клапаны и регуляторы

Возможность изменения **непосредственно в ходе расчетов** степени открытия регулирующих клапанов с целью поддержания заданных параметров на требуемом уровне вручную или с помощью соответствующих автоматических регуляторов. (Всего разработано 9 моделей таких регуляторов). Эта возможность была разработана применительно к динамическим расчетам, однако оказалась **чрезвычайно полезной** также и при проведении статических расчетов. При этом автоматические регуляторы спроектированы таким образом, что пользователь освобождается от трудоемкой задачи выбора параметров их настроек. Все регуляторы устойчиво работают как в статических, так и в динамических режимах.

Кнопки выбора групп элементов. Нажата кнопка «Регуляторы»

Иконки выбора регуляторов



Клапан, имитирующий направляющий аппарат ДВ. Включен р-р избытка воздуха с уставкой 1.05

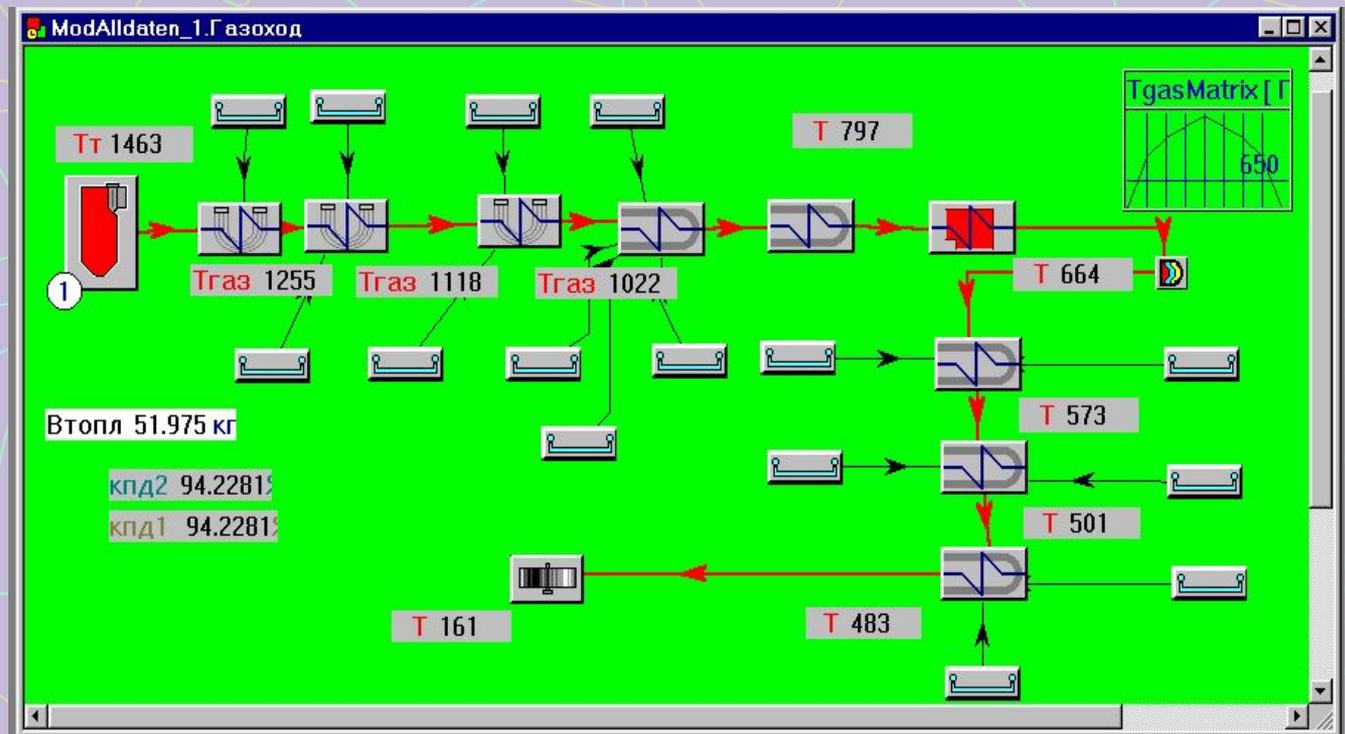
Р-р воздуха поддерживает заданный избыток воздуха за топкой, воздействуя на НА ДВ

## Преимущество 5. Газовая разверка

**Возможность учета разверки по температуре и расходу газов по ширине газохода**

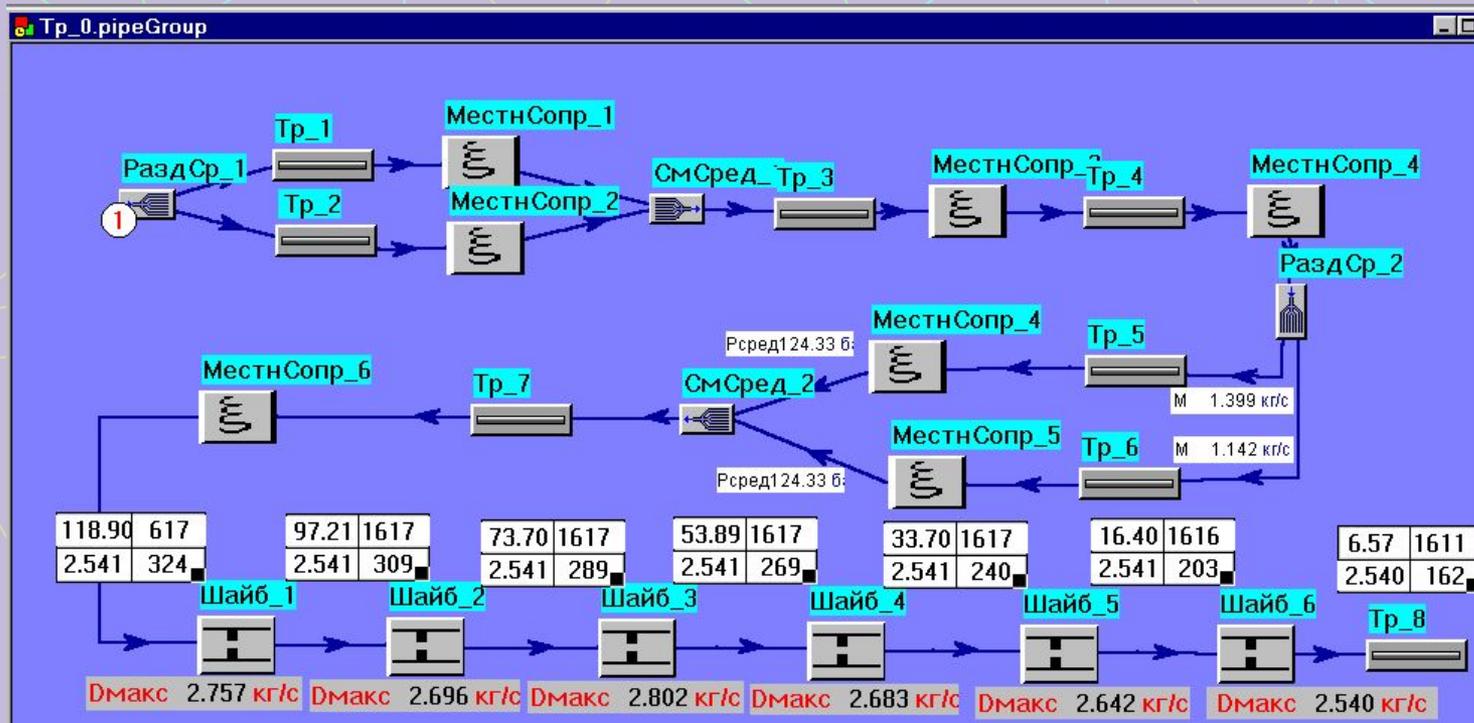
Элемент для ввода разверки по температуре и/или расходу газов может быть помещен в любой точке газового тракта

Разверка по температуре газов перед конвективным газоходом



## Преимущество 6. Гидравлические расчеты с учетом критического истечения

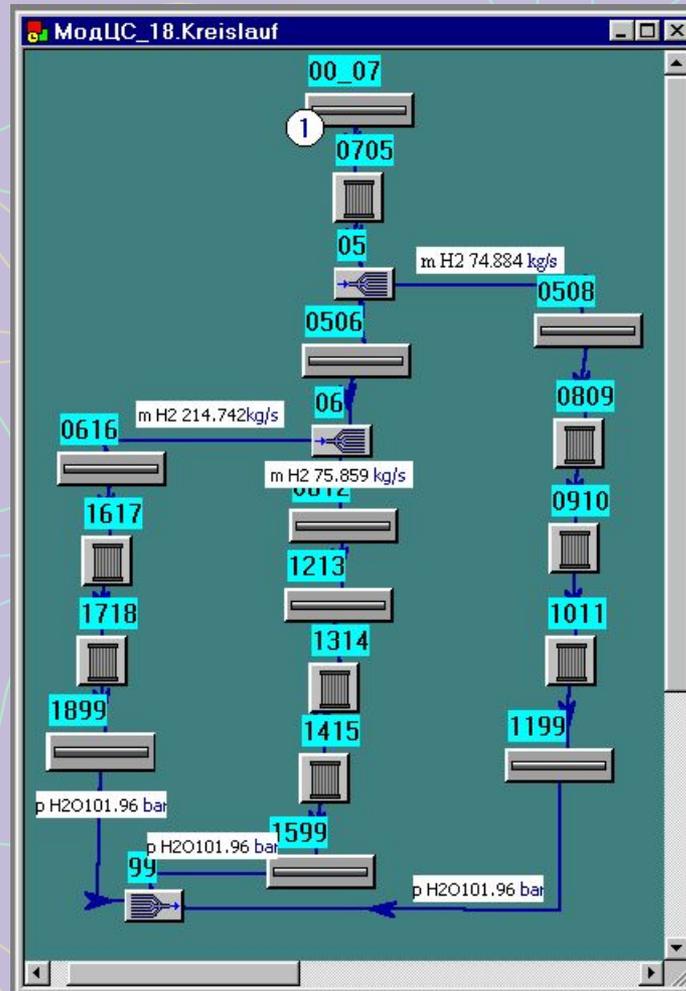
Возможность проведения гидравлических расчетов трубопроводов с целью определения их максимальной пропускной способности. При этом рассчитывается критическое истечение на отдельных элементах (шайбах, клапанах и т.д.)



Минимальный критический расход на шайбе №6 ограничивает пропускную способность трубопровода

## Преимущество 7. Распределение расходов по параллельным ветвям

При нажатии соответствующей клавиши рассчитывается распределение расходов по параллельным ветвям, при котором их гидравлическое сопротивление одинаково



Значения расходов в 3-х параллельных ветвях

Величины давлений в 3-х параллельных ветвях перед смесителем одинаковы (101.96 бар)

# Информация об элементах

Исходные данные и результаты расчёта каждого элемента могут быть представлены в виде дерева таблицы и мульти-таблицы. Чтобы получить мультитаблицу, надо выделить с помощью мыши однотипные элементы и сделать двойной клик на одном из них.

Мультитаблица позволяет ускорить и облегчить задание исходных данных и анализ результатов в сложных структурах

The screenshot displays a software interface with a table of elements and a settings dialog box. The table has columns for 'Имя', 'Разме...', 'HP\_SH2', 'RH', 'HP\_SH1', and 'Описание'. The 'КонстрКонв' row is highlighted. The 'Основные настройки' dialog box is open, showing options for 'Расчет' (Nominal, Static, Dynamic) and 'Оболочка' (Multi-table, Tree, Table, Floating description, Constant description). The 'Мульти-таблица' option is selected in the 'Оболочка' section.

Имя	Разме...	HP_SH2	RH	HP_SH1	Описание
КонстрКонв		{...}	{...}	{...}	Исх. данные
Тир пучка		змеевики	змеевики	змеевики	Тир пучка
Переброс...		нет	нет	нет	Наличие п
ДелПак		да	да	да	Деление п
Располож...		коридорное	коридорное	коридорное	Располож
Ток		Противоток	Противоток	Противоток	Прямоток
Днар	мм	38,00000	44,50000	38,00000	Наружный
sТруб	мм	5,00000	2,80000	4,00000	Толщина с
s1	мм	100,00000	100,00000	100,00000	Поперечн
s2	мм	90,00000	90,00000	90,00000	Продольн
В	мм	11150,00	11150,00	11150,00	Ширина к
Аг	мм	19000,00	19000,00	19000,00	Глубина к
dстен	мм	0,00000	0,00000	0,00000	Раст. от тр
Ng_d		111,00	111,00	111,00	К-во рядо
Ng		2,00	8,00	8,00	К-во рядо
N_пл		1,00	1,00	1,00	Число пл
Nзмеевик		0,00	0,00	0,00	Число тру
Nзах		2,000000	4,000000	2,000000	К-во захо
Nпак		1,00	1,00	1,00	К-во бло
Lтруб	мм	19000,00	38000,00	76000,00	Длина тру
P-тПов		да	да	да	Расчет поверх
H	м2	4107,35	15324,16	20991,13	Поверхность нагрева *** H

Основные настройки

Расчет

Номинальный режим

Статический режим

Динамический режим

Ном. расход топлива

Оболочка

Вывод имени элемента

Мульти-таблица

Дерево

Таблица

Мульти-таблица

Всплывающее описание

Постоянное описание

OK

Выбор формы представления информации

# Анализ статических характеристик

Математическая модель с **достаточной точностью** отображает процессы в энергетическом объекте не только на стадии проектирования, но и во время всего последующего периода его эксплуатации, что позволяет ее использовать для решения следующих проблем:

- проанализировать **статические характеристики котла при различных эксплуатационных условиях** (виде и составе сжигаемого топлива или смеси топлив, уровне загрязнений, присосов, избытке воздуха и т.п. , а также конструктивных усовершенствованиях. На основании этого анализа совершенствуется конструкция котла и его эксплуатационные режимы.

Задание относительной нагрузки котла в элементе "Общие данные"

Нотн	50	%	Отн. нагрузка котла (расход пара)
Токр	25	Градус	Температура окружающего возд...
Рокр	1.00	бар	Давление окружающего воздуха
Нокр	0.0	мм	Высота над уровнем моря
tхв	40	Градус	Температура холодного воздуха
dxв	10.00	г/кг	Влажность холодного воздуха
dxв	90.0000	%	Относительная влажность холод...
q3	0.5000	%	Потери тепла с химическим нед...
q4	0.5000	%	Потери тепла с мех. недожогом
q5	1.0000	%	Потери тепла в окружающую среду
q6	0.4000	%	Потери тепла с жидким шлаком

Таблица задания конструктивных характеристик одного из элементов

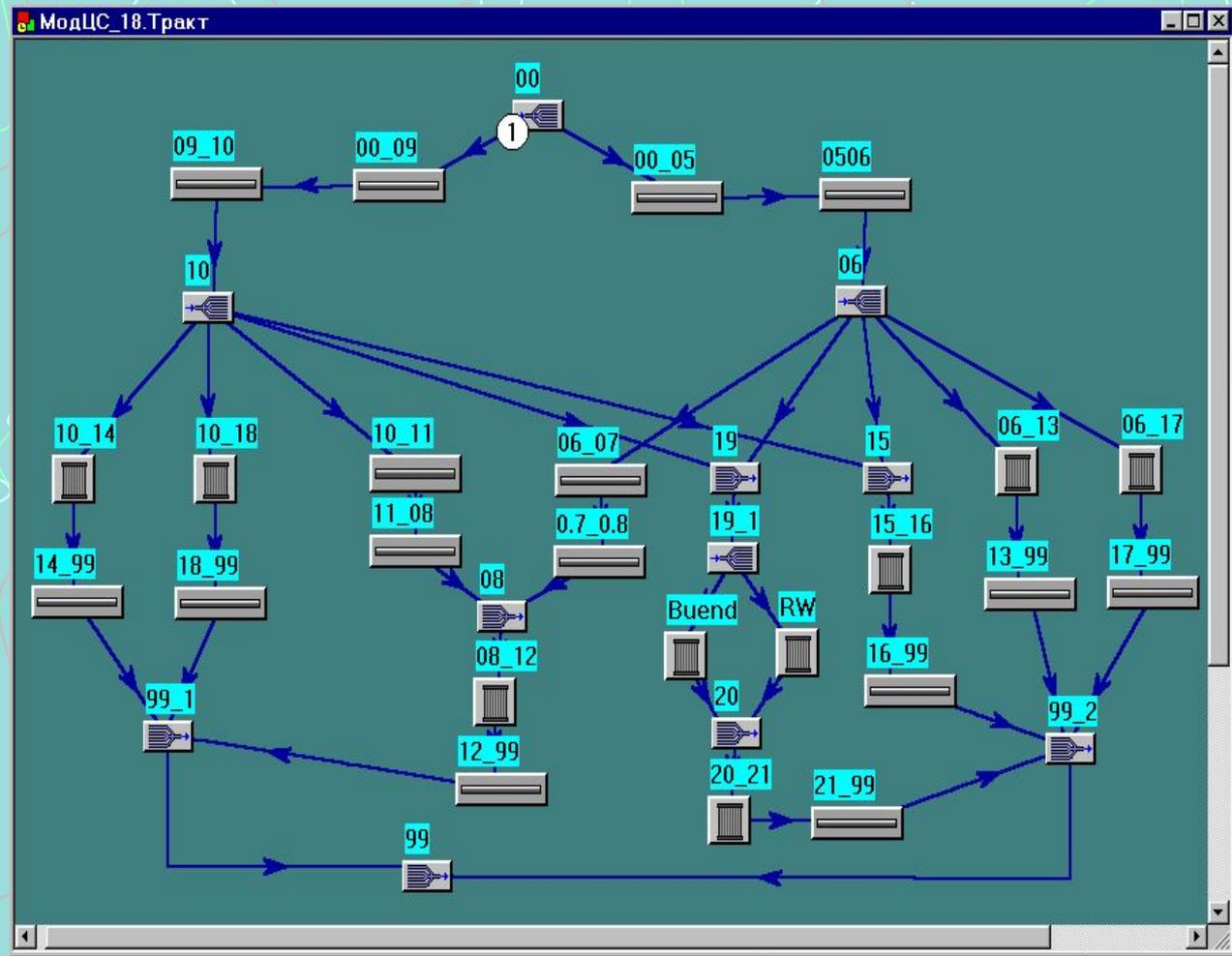
Параметры	Значение	Размерность	Описание
ТипПучка	коридорный	-	Тип пучка:0-коридорный , 1- шахматный
Ток	Прямоток	-	Прямоток - 0, противоток - 1, Перекрестный -2, Чист...
Nг	32	-	К-во рядов труб по ходу газов
Nзах	16	-	К-во заходов труб
Nг_д	48	-	К-во рядов труб по ширине газохода
Dнар	57.1	мм	Наружный диаметр труб
sТруб	4.5	мм	Толщина стенки трубы
s1	480.0	мм	Поперечный шаг труб
s2	90.0	мм	Продольный шаг труб
LТруб	26978.4	мм	Длина трубы в обогреваемой зоне
Bг	23120.0	мм	Ширина конвективного газохода (по поперечному ...
Ag	13490.0	мм	Глубина конвективного газохода вдоль трубы
Loб_за	1000.0	мм	Длина объема газов за пучком
Загр	0.0000	m <sup>2</sup> *K/W	Козф. загрязнения
ЗагрВн	0.0000	m <sup>2</sup> *K/W	Козф. загрязнения внутри труб
dЗагрНар	0.0	мм	Толщина наружн. загрязнений
dЗагрВн	0.0	мм	Толщина внутр. загрязнений

# Расчет естественной циркуляции

Программа позволяет рассчитать естественную циркуляцию в барабанных котлах применительно к конкретным режимам его эксплуатации и определить минимально допустимую нагрузку по условиям надежности циркуляции.

Схема циркуляции одного из котлов

Выход из барабана



Вход в барабан



# Режимная карта котла

Разработанная математическая модель котла существенно упрощает составление его режимных карт. Достаточно иметь ограниченное число экспериментально зафиксированных режимов. При этом, требуемые зависимости для режимной карты строятся с учетом расчетных точек, полученных с помощью математической модели.

Возможно также отказаться от традиционного вида представления режимных карт (в виде таблиц и графических зависимостей), а использовать для этих целей саму математическую модель котла. При этом, рассчитывается режим работы котла в соответствии с условиями его работы в данный момент времени (нагрузка, вид и состав сжигаемого топлива, температура питательной воды, температура окружающего воздуха и т.д. ) и фактическое отклонение режима по выбранным параметрам сравнения. В этом случае программа расчета режимной карты котла должна учитывать коррекцию модели для пересчета в реальные параметры котла.

С помощью этой же математической модели можно вносить соответствующие (периодические) корректировки в расчеты режимной карты котла (например, при ухудшении состояния оборудования).

# Оптимизация режима котла

Перспективным направлением использования математической модели котла в режиме "off-line" является оптимизация температурного и воздушного режимов его работы. Первое может осуществляться с помощью перераспределения впрысков котла (при сохранении требуемых критериев надежности), а второе - за счет изменения избытков воздуха или степени рециркуляции дымовых газов. При этом, можно наглядно оценить изменение каждого входного параметра на изменение КПД котла, а по колебаниям расхода топлива - ухудшение его качества, что может быть подтверждено соответствующим анализом. При возможности выбора топлива на стадии заключения договоров на его поставку можно провести с помощью математической модели анализ статических характеристик котла при

КПД котла, рассчитанный по методу прямого и обратного баланса

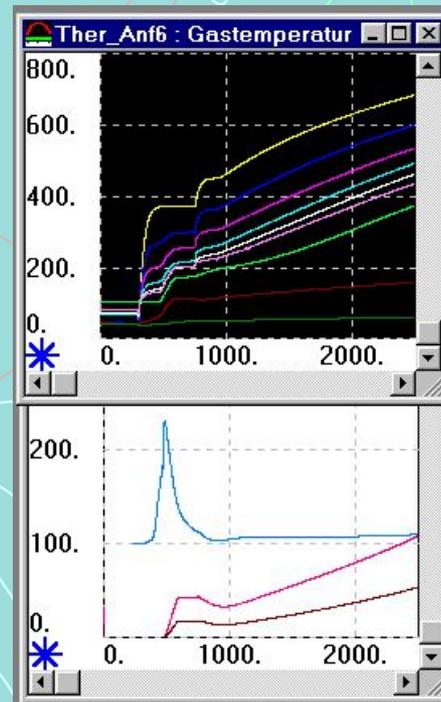


Относительные и абсолютные потери топлива

# Динамика

Всерезимная динамическая модель котла позволяет рассчитывать **переходные процессы** при любом сочетании возмущающих воздействий. Указанная модель, отличаясь высокой статической и динамической точностью, обладает **высоким быстродействием**. Она дает возможность проанализировать переходные режимы работы котла (пуски из различных тепловых состояний, остановки, **изменения нагрузки** в широком диапазоне с различной скоростью и т.д.) с целью корректировки эксплуатационных инструкций, совершенствования конструкции котла и пусковых устройств. Результаты динамических расчетов фиксируются на графиках, создаваемых самим пользователем.

Изменение параметров при пуске  
прямоточного котла



Температуры газов по  
тракту

Выброс расхода  
среды в  
испарительном  
тракте при резкой  
форсировке котла

Расход свежего пара

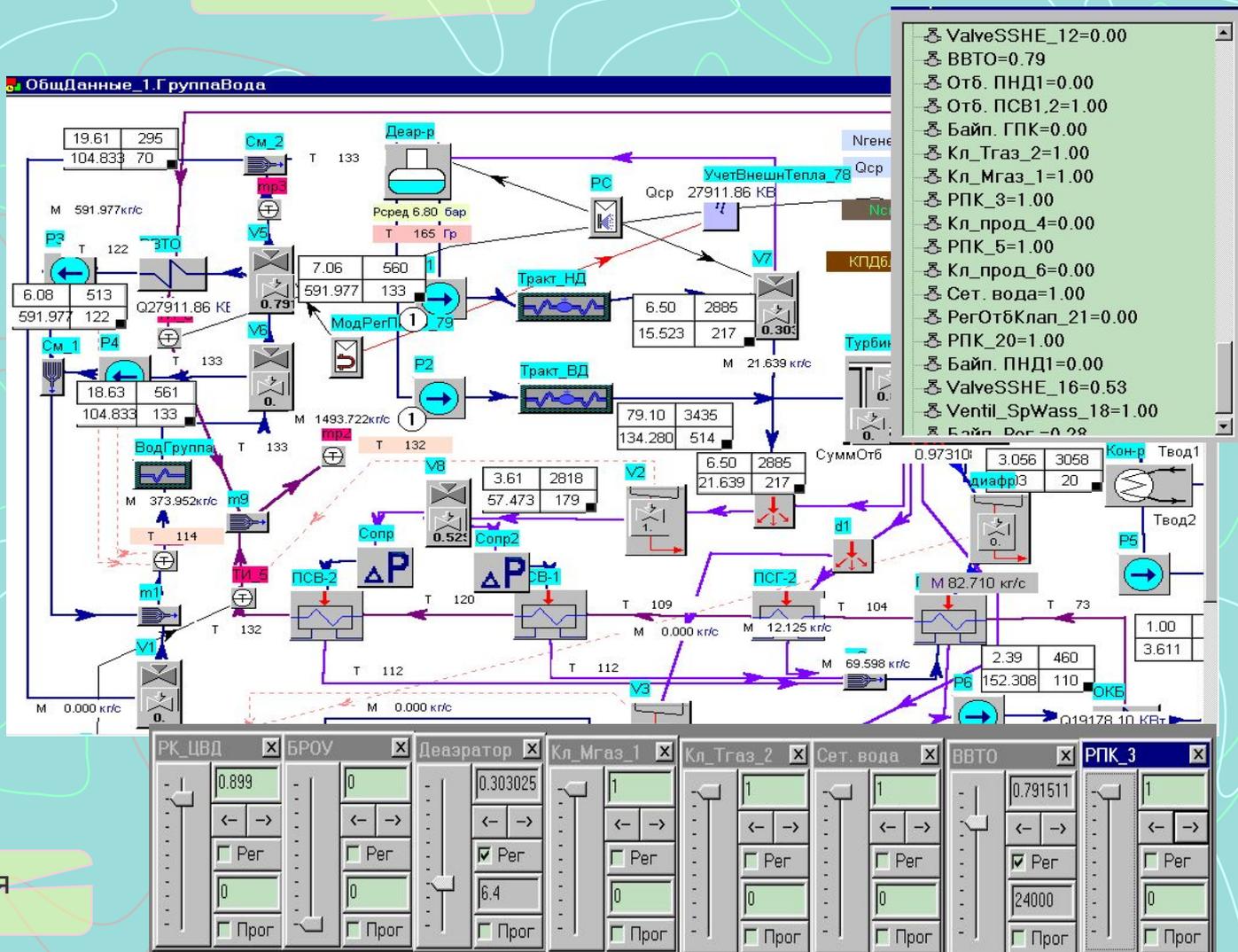
Давление свежего пара

# Тренажер

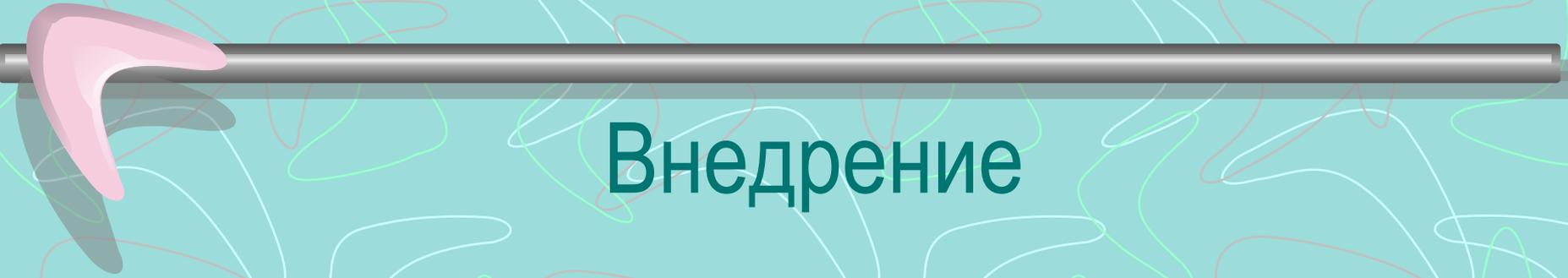
Схема ПГУ 450

Список регулирующих клапанов

Программу можно использовать как тренажер основных принципов для обучения и тренировки оперативного персонала.



Пульт управления



# Внедрение

Программа успешно внедрена более чем в 80 фирмах России, Германии, Бельгии, Австрии и Китая, в том числе Подольский котлостроительный завод (ЗиО), Таганрогский котельный завод (ТКЗ), Теплоэлектропроект, ВТИ, МЭИ, ИЭИ, Deutsche Babcock, EVT, Standardkessel, NEPRI и др. С её помощью рассчитано более 1000 котлов различных типов (прямоточных, барабанных, утилизационных, с циркулирующим кипящим слоем, с дымогарными трубками и др.) и тепловых схем. Опыт эксплуатации подтвердил её высокую эффективность и точность.

Программа поставляется на CD-диске совместно с описанием и примерами. Стоимость программы определяется её комплектацией и включает обучение сотрудников и сопровождение программы в течение одного года.



---

# Контакт



## OptSim - K

Program development for power engineering

**113534 Москва, ул. Янгеля 8–72**



**Факс**

**e-mail**

**(007)(095) 386-8029**

**(007)(095) 386-5370**

**[optsim@comtv.ru](mailto:optsim@comtv.ru)**