

**ОАО «КРАСНОЯРСКЭНЕРГО»  
КРАСНОЯРСКАЯ ТЭЦ-1**

УТВЕРЖДАЮ

Гл. инженер КрасТЭЦ-1

\_\_\_\_\_ А.И. Клюев

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2003 г.  
М.П.

**КОМПЬЮТЕРНЫЙ ТРЕНАЖЕР ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ  
ПТ-60-90/13 (ст. №8) КРАСНОЯРСКОЙ ТЭЦ-1**

**РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ**

на 38 листах

Действует с

Красноярск 2003 г.

## Содержание

	стр.
1. Структура программы	3
2. Технические требования	4
3. Регистрация пользователя	4
4. Выбор режима условий работы с тренажером	5
5. Принципиальные обозначения	7
6. Принципы управления тренажером	12
7. Описание функциональных групп	15
8. Экспертная оценка результатов решения (протокол)	29
9. Анализ результатов решения	31
10. Редактор режимных и аварийных задач	33
11. Согласование	38

## 1. Структура программы

Имитационный компьютерный тренажер для обработки оперативных задач управления паротурбинной установкой ПТ-60-90/13 (ст. №8) Красноярской ТЭЦ-1 представляет собой интерактивную оболочку, работающую под операционной системой Windows 9x/NT.

Структура программы в виде дерева каталога представлена на рис. 5.1.

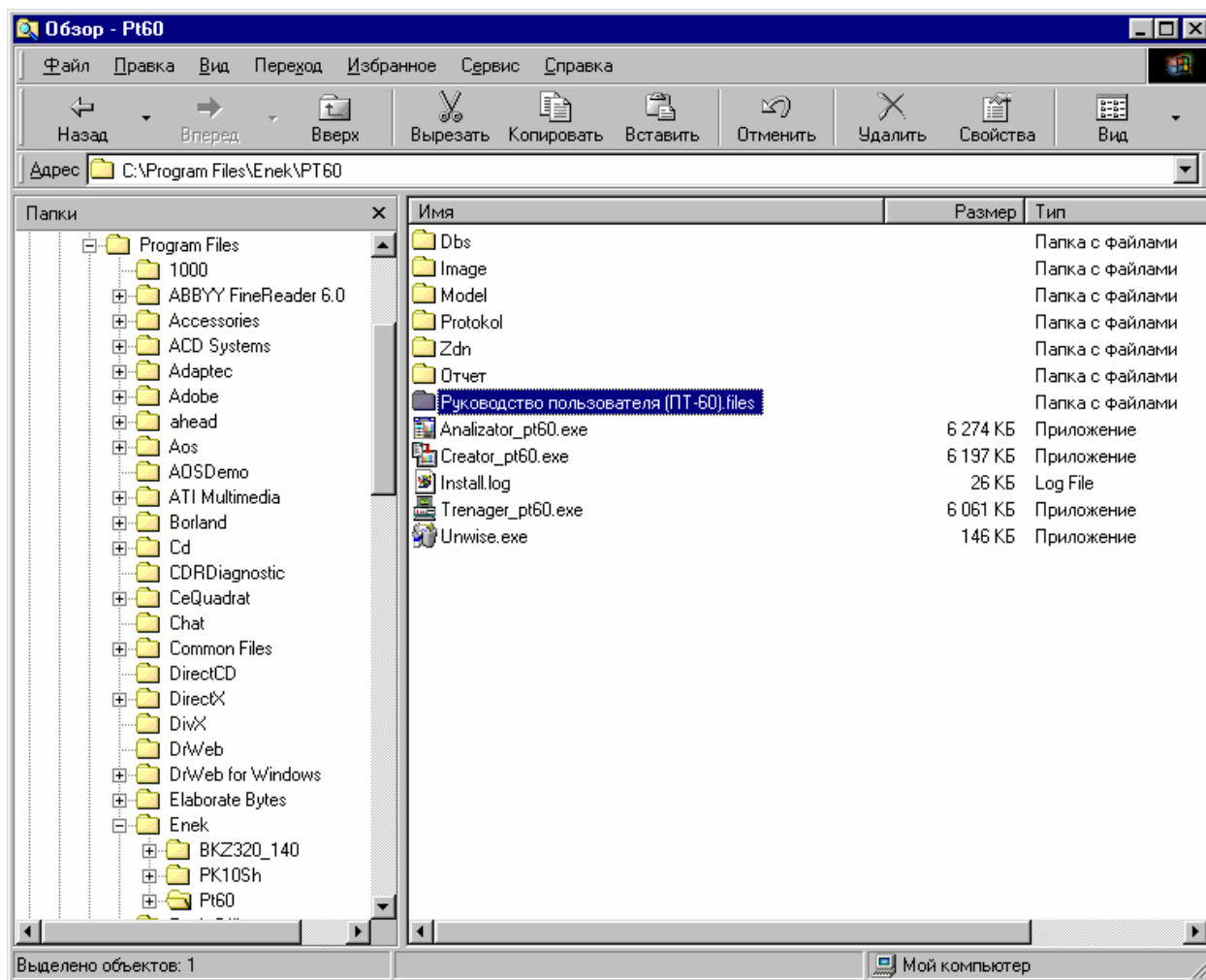


Рис. 1. Структура файлов составляющих имитационный тренажер турбины

Стартовым файлом, необходимым для запуска тренажера является файл *Trenager\_pt60.exe*. В папке *Image* располагаются графические файлы в формате *\*.bmp* с изображением функциональных групп и элементов мнемосхем. В каталоге *Protokol* располагаются файлы базы данных в формате *\*.db* со списками основных параметров, используемых в тренажере с указанием уставок на их изменение. В папке *Zdn* находятся файлы заданий, с расшире-

нием *\*.zdn*, в которых определяются начальные значения переменных, используемых в математической модели тренажера, определяя тем самым характер решаемой задачи (аварийная или режимная). В папке *Отчет* расположены текстовые файлы *\*.txt* содержащими протокол и анализ результатов решаемой задачи. Каталог *DBS* предназначен для хранения базы данных по результату решения оперативной задачи с целью ее дальнейшего просмотра, анализа и составления экспертных оценок. В папке *Model* находятся файлы шаблоны для создания оперативных режимных и аварийных задач.

## **2. Технические требования**

Имитационный, компьютерный тренажер котлоагрегата ПТ-60-90/13 (ст. №8) Красноярской ТЭЦ-1 представляет собой самостоятельный программно-методический комплекс, работающий на персональной ЭВМ под операционной системой Windows 9x/NT.

Требования к системе: процессор – Pentium – II и выше с частотой не менее 300 МГц; размер оперативной памяти – 128 МВ (рекомендуемая – 256 МВ); видеокарта SVGA не менее 16 МВ; монитор – 17" и выше поддерживающего разрешающую способность 1024x768. Управление в программе осуществляется с помощью манипулятора – мышь.

Вид и компоновка интерфейса программы соответствует требованиям эргономики и технической эстетики, регламентированными РД 153-34.0-12.305-99.

## **3. Регистрация пользователя**

Перед началом тренировки с помощью тренажера осуществляется регистрация пользователя посредством выбора соответствующей фамилии из списка или путем добавления нового пользователя (см. рис. 2).

В меню указываются фамилия, имя, отчество пользователя, его место работы и должность. Эта информация необходима в дальнейшем для организации протокола результатов работы на тренажере. Редактирование списка в

меню осуществляется с помощью кнопок <Добавить> и <Удалить>. После выбора необходимой фамилии (выделяется цветом) необходимо нажать клавишу <Ок>. При удалении пользователя из списка программа запрашивает пароль – *Admin*, при вводе которого выполняется действие.

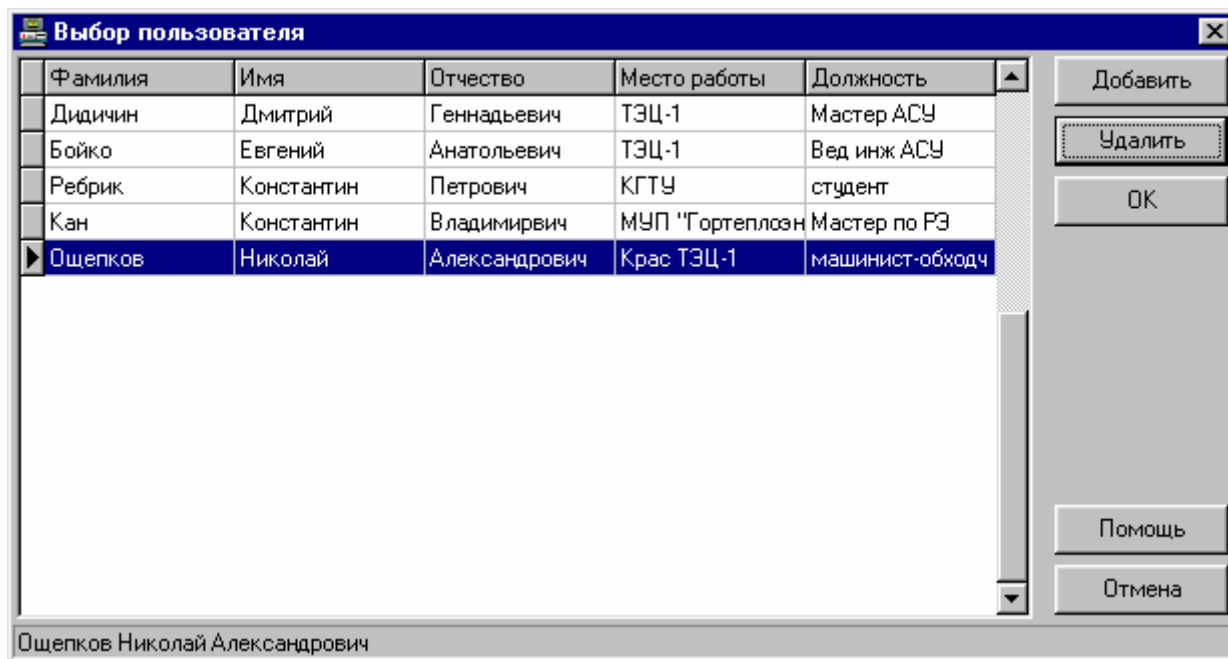


Рис. 2. Меню выбора пользователя

#### 4. Выбор режима условий работы с тренажером

Инициализация программы начинается с выбора варианта задания, которое необходимо решить в результате работы над программой. Окно списка заданий представлено на рис. 3.

В поле данного меню указывается выбранное ранее имя пользователя и имеется возможность определить тип решаемой задачи (режимная или аварийная) с указанием цели занятия (тренировка или экзамен). Также имеются дополнительные опции позволяющие выполнять отключение или включение протокола тестирования, аварийной сигнализации и звуковых сообщений. Любая режимная задача имеет формулировку заданий связанных с изменением режима работы турбоустановки (изменение тепловой и электрической нагрузки, переключение насосов, подогревателей и т.д.), решение которых, со-

пряжено с выполнением режимных мероприятий и переключений вспомогательного оборудования.

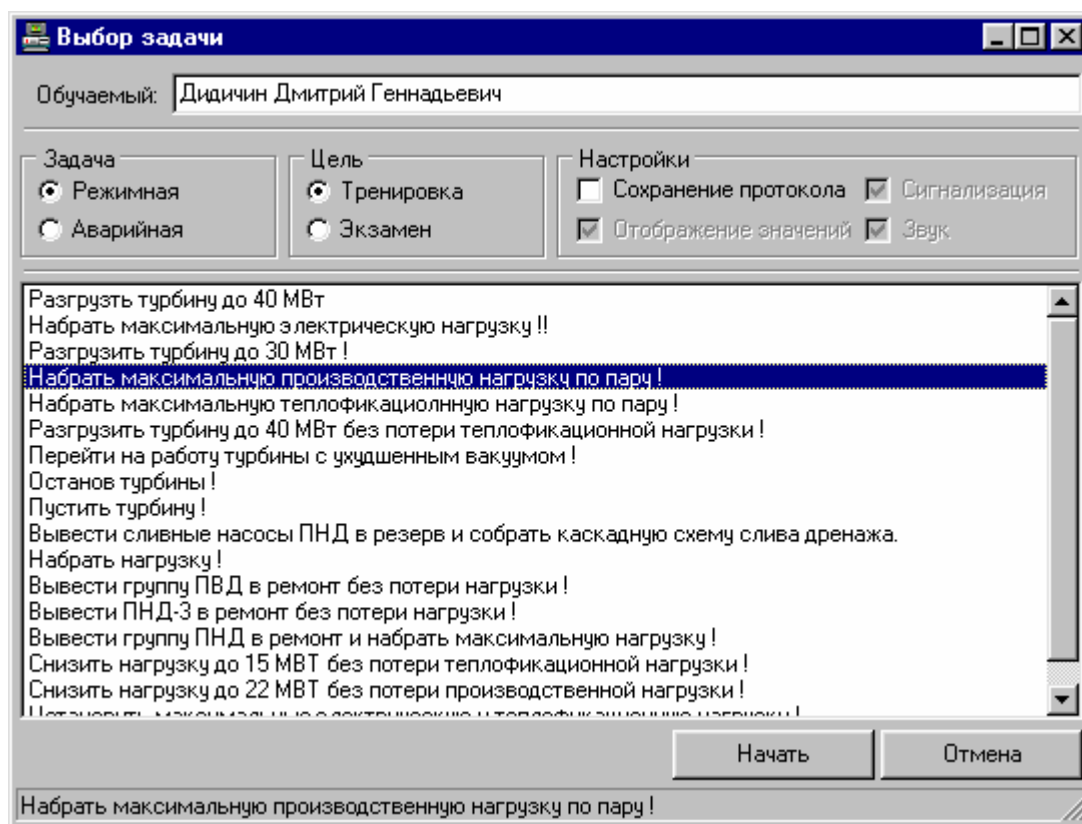


Рис. 3. Меню выбора решаемой задачи

Также режимные задачи охватывают пусковые операции и мероприятия, связанные с остановом турбины. Аварийная задача сформулирована в виде общего указания без расшифровки текущей аварийной ситуации. Идентификация и устранение причин аварийной ситуации является задачей оператора. В некоторых аварийных и режимных задачах реализована система запретов на использование и управление оборудования и регулирующих органов. Таким образом, моделируются ситуации вывода оборудования в ремонт, аварийные поломки и неполадки КИП. Характер всех задач определяется набором исходных данных переменных, задействованных в математической модели котла, размещенных в файле-задании *\*.zdn*. Настоящая редакция программы включает 60 аварийных и 20 режимных задач.

Принципиальным отличием режимов "тренировка" и "экзамен" заключается в том, что в режиме "тренировка" пользователь сам определяет необхо-

димосьть записи результатов работы на тренажере в протокол тестирования путем указания опции "сохранение протокола", то в режиме "экзамен" сохранение результатов тестирования в виде протокола осуществляется автоматически, в обязательном порядке. Результаты тестирования сохраняются в так называемом файле-протоколе \*.txt.

## 5. Принципиальные обозначения

Для указания значений режимных величин, а также состояния основного и вспомогательного оборудования принята следующая система условных обозначений:

№ п/п	Расход	Давление	Температура	Прочие параметры
1	Острога пара $D_{on}$	Острога пара $P_{on}$	Острога пара $T_{on}$	Уровень конденсата в конденсаторе $H_{\kappa}$
2	Пара в 1-й отбор $D_1$	Пара в 1-м отборе $P_1$	Пара в 1-м отборе $T_1$	
3	Пара в 2-й отбор $D_2$	Пара в 2-м отборе $P_2$	Пара в 2-м отборе $T_2$	Уровень конденсата в ПВД-1 $H_{\kappa1}$
4	Пара в 3-й отбор $D_3$	Пара в 3-м отборе $P_3$	Пара в 3-м отборе $T_3$	Уровень конденсата в ПВД-2 $H_{\kappa2}$
5	Пара в 4-й отбор $D_4$	Пара в 4-м отборе $P_4$	Пара в 4-м отборе $T_4$	Уровень конденсата в ПНД-4 $H_{\kappa4}$
6	Пара в 5-й отбор $D_5$	Пара в 5-м отборе $P_5$	Пара в 5-м отборе $T_5$	Уровень конденсата в ПНД-3 $H_{\kappa3}$
7	Пара в 6-й отбор $D_6$	Пара в 6-м отборе $P_6$	Пара в 6-м отборе $T_6$	Уровень конденсата в ПНД-2 $H_{\kappa2}$
8	Пара в промышленный отбор $D_{np}$	Пара в промышленном отборе $P_{np}$	Пара в промышленном отборе $T_{np}$	Осевой сдвиг ротора ЦСД $ОСР_{\text{цсд}}$
9	Пара в теплофикационный отбор $D_m$	Пара в теплофикационном отборе $P_m$	Пара в теплофикационном отборе $T_m$	Осевой сдвиг ротора ЦВД $ОСР_{\text{цвд}}$

10	Пара на деаэраторы повышенного давления $D_{\partial}$	Пара на деаэраторы повышенного давления $P_{\partial}$	Пара на деаэраторы повышенного давления $T_{\partial}$	Относительное расширение ротора ЦВД $OPP_{цвд}$
11	Пара в конденсатор $D_{\kappa}$	Давление в конденсаторе $P_{\kappa}$	Температура выхлопа $T_{выхл}$	Относительное расширение ротора ЦСД $OPP_{цсд}$
12	Обратного конденсата $G_{ок}$	Обратного конденсата $P_{ок}$	Обратного конденсата $T_{ок}$	Число оборотов ротора $n_{rot}$
12	Питательной воды $G_{пв}$	Питательной воды $P_{пв}$	Питательной воды $T_{пв}$	Частота $f_c$
13	Пара в ЦСД $D_{цсд}$	До стопорного клапана $P_{ск}$		Вырабатываемая мощность $N_j$
14		Давление в регулирующей ступени $P_{pc}$		Уровень конденсата в СП $H_{сп}$
15		Масла $P_m$	Масла $T_m$	Уровень конденсата в ЭП $H_{эп}$
16		Водорода на охлаждение генератора $P_{H_2}$		Уровень масла в ГМБ $H_{гмб}$
17		В линии отсоса со штоков $P_{отс}$		

Список органов управления, расположенных на функциональных группах тренажера турбины ПТ-60-90/13 Красноярской ТЭЦ-1

№ п/п	Наименование	Обозначение
1	Главная паровая задвижка (ГПЗ)	5ПП
2	Байпас ГПЗ	Байп. ГПЗ
3	Отсечная задвижка на линии байпаса ГПЗ	1263
4	Отсечная задвижка на линии байпаса ГПЗ	1264
5	Стопорный клапан	Ст.Кл.
6	Синхронизатор турбины	Синхр.
7	Задвижка на линии первого отбора (на обдувку котлов)	23ПО
8	Задвижка на линии пара производственного отбора	1,2ПО



№ п/п	Наименование	Обозначение
9	Отсечная задвижка на линии второго отбора	22ПО
10	Отсечная задвижка на линии третьего отбора	3ПО
11	Отсечная задвижка на линии четвертого отбора	9ТО
12	Отсечная задвижка на линии пятого отбора	8ТО
13	Отсечная задвижка на линии шестого отбора	7ТО
14	Задвижка на линии теплофикационного отбора	1ТО
15	Включение генератора в эл. сеть	Генер.
16	Отсечная задвижка на линии второго отбора	22ПО
17	Отсечная задвижка на линии третьего отбора	3ПО
18	КРУ на линии дренажа из ПВД-2	1ДП
19	КРУ на линии дренажа из ПВД-1	2ДП
20	Задвижка на линии питательной воды	11ВП8
21	Байпас УП 11ВП8	861
22	Байпас УП 11ВП8	862
23	Регулир. задвижка на нечетной нитке холодного питания	13ВП
24	Отсечная задвижка на нечетной нитке холодного питания	19ВП8
25	Регулирующая задвижка на четной нитке холодного питания	12ВП
26	Отсечная задвижка на четной нитке холодного питания	18ВП8
27	Отсечная задвижка на линии четвертого отбора	9ТО
28	Отсечная задвижка на линии пятого отбора	8ТО
29	Отсечная задвижка на линии шестого отбора	7ТО
30	Задвижка на линии обратного конденсата ПНД-4	31кт
31	Задвижка на линии обратного конденсата ПНД-4	30кт
32	Задвижка на линии обратного конденсата ПНД-4	29кт
33	Задвижка на линии обратного конденсата ПНД-3	28кт
34	Задвижка на линии обратного конденсата ПНД-3	27кт
35	Задвижка на линии обратного конденсата ПНД-3	26кт

№ п/п	Наименование	Обозначение
36	Задвижка на линии обратного конденсата ПНД-2	25кТ
37	Задвижка на линии обратного конденсата ПНД-2	24кТ
38	Задвижка на линии обратного конденсата ПНД-2	23кТ
39	Задвижка на линии дренажа после ПНД-4	5ДП
40	Задвижка на линии дренажа после ПНД-3	7ДП
41	Задвижка на линии дренажа после ПНД-5	8ДП
42	Задвижка на линии байпаса ПНД-4	4ДП
43	Задвижка на линии байпаса ПНД-3	6ДП
44	Задвижка на линии байпаса ПНД-2	8ДП
45	Отсечная задвижка до сливного насоса Сл. Н. 8а	37кТ
46	Отсечная задвижка после сливного насоса Сл. Н. 8а	39кТ
47	Отсечная задвижка до сливного насоса Сл. Н. 8б	36кТ
48	Отсечная задвижка после сливного насоса Сл. Н. 8б	38кТ
49	Задвижка на линии ручной рециркуляции	19кТ
50	КРУ рециркуляции основного конденсата в конденсатор	КРУ
51	Отсечная задвижка после маслоохладителей	19М
52	Отсечная задвижка после маслоохладителя №1	14М
53	Отсечная задвижка после маслоохладителя №2	15М
54	Отсечная задвижка после маслоохладителя №3	16М
55	Отсечная задвижка после маслоохладителя №4	18М
56	Отсечная задвижка перед маслоохладителем №1	9М
57	Отсечная задвижка перед маслоохладителем №2	10М
58	Отсечная задвижка перед маслоохладителем №3	12М
59	Отсечная задвижка на обводной линии	17М
60	Отсечная задвижка перед маслоохладителем №4	13М
61	Отсечная задвижка перед ПМН	1М
62	Отсечная задвижка после ПМН	2М

№ п/п	Наименование	Обозначение
63	Отсечная задвижка между ПМН и РМН	3М
64	Отсечная задвижка между маслоохладителями №3 и №3	11М
65	Отсечная задвижка после РМОУ	30М
66	Отсечная задвижка перед АМОУ	29М
67	Отсечная задвижка перед РМОУ	28М
68	Отсечная задвижка перед АМОУ	29М
69	Отсечная задвижка на сливе с ГМБ	20М
70	Отсечная задвижка на входе в АМОУ и РМОУ	26М
71	Регулирующая задвижка на маслопроводе	УП 25М
72	Регулирующая задвижка на инжекторе МОУ	УП 24М
73	Регулирующая задвижка на напоре АМОУ и РМОУ	УП32М
74	Регулирующая задвижка на линии отсоса со штоков	УП
75	КРУ на линии дренажа с СП	КРУ
76	Отсечная задвижка на линии подвода пара с ДПД	1у
77	Отсечная задвижка на линии подвода конденсата в СП	20кт
78	Отсечная задвижка на линии основного конденсата	22кт
79	Байпас задвижки 22кт	19кт
80	Отсечная задвижка на линии конденсата основного эжектора	16кт
81	Отсечная задвижка на линии конденсата основного эжектора	11кт
82	Отсечная задвижка на линии конденсата основного эжектора	12кт
83	Отсечная задвижка на линии конденсата основного эжектора	10кт
84	Отсечная задвижка на линии основного конденсата	9кт
85	Отсечная задвижка до КН-8а	1кт
86	Отсечная задвижка до КН-8б	2кт
87	Отсечная задвижка после КН-8а	4кт
89	Отсечная задвижка после КН-8б	3кт
90	Задвижка на линии подвода в конденсатор цирк. воды	1цв

№ п/п	Наименование	Обозначение
91	Задвижка на линии подвода в конденсатор цирк. воды	2цв
92	Задвижка на перемычке соединяющей 1-2 с 3-4 ходами	3цв
93	Задвижка на линии отвода из конденсатора цирк. воды	4цв
94	Задвижка на линии отвода из конденсатора цирк. воды	5цв
95	Задвижка на линии отвода цирк. воды	21цв
96	Задвижка на перемычке соединяющей 3-4 с 1-2 ходами	27цв

## 6. Принципы управления тренажером

Основной экран компьютерного тренажера выполнен в виде трех окон и нижней командной строки (см. рис. 4). В верхнем неизменном горизонтальном окне отображены показания всех штатных приборов паровой турбины. С помощью этого окна можно судить и контролировать изменение всех основных параметров при выполнении процессов управления котлом.

Снизу под окном регистрирующих приборов располагается окно с содержимым одной из функциональной групп, представляющей собой схематичное изображение связей трактов основных потоков пара, питательной воды, основного конденсата, а также маслопроводов с соответствующими органами управления (задвижками, регуляторами и т.д.). К числу основных функциональных групп относятся: *"тепловая схема"*, *"схема включения ПВД"*, *"схема включения ПНД"*, *"схема подачи пара на уплотнения"*, *"схема эжекторов и уплотнений"*, *"маслосистема"*, *"схема уплотнений генератора"*, *"техничко-экономических показателей (ТЭП) турбины"*.

Переключение между функциональными группами осуществляется посредством выбора их из списка изображенного в виде дерева и расположенного справа от окна изображения мнемосхем. Относительное расположение друг друга двух этих окон можно изменить с помощью кнопки **"Настройка"**. Системные время и дата, а также текущее время, затраченное на решение задачи, отображается под окном выбора функциональных групп.

Для вызова предупредительных сообщений о нарушениях режимов работы котла предусмотрена кнопка "Сигнализация". Внешний вид окна сообщений представлен на рис. 5. Появление новых сообщений сопровождается миганием кнопки "Сигнализация" желтым цветом со звуковым оформлением.

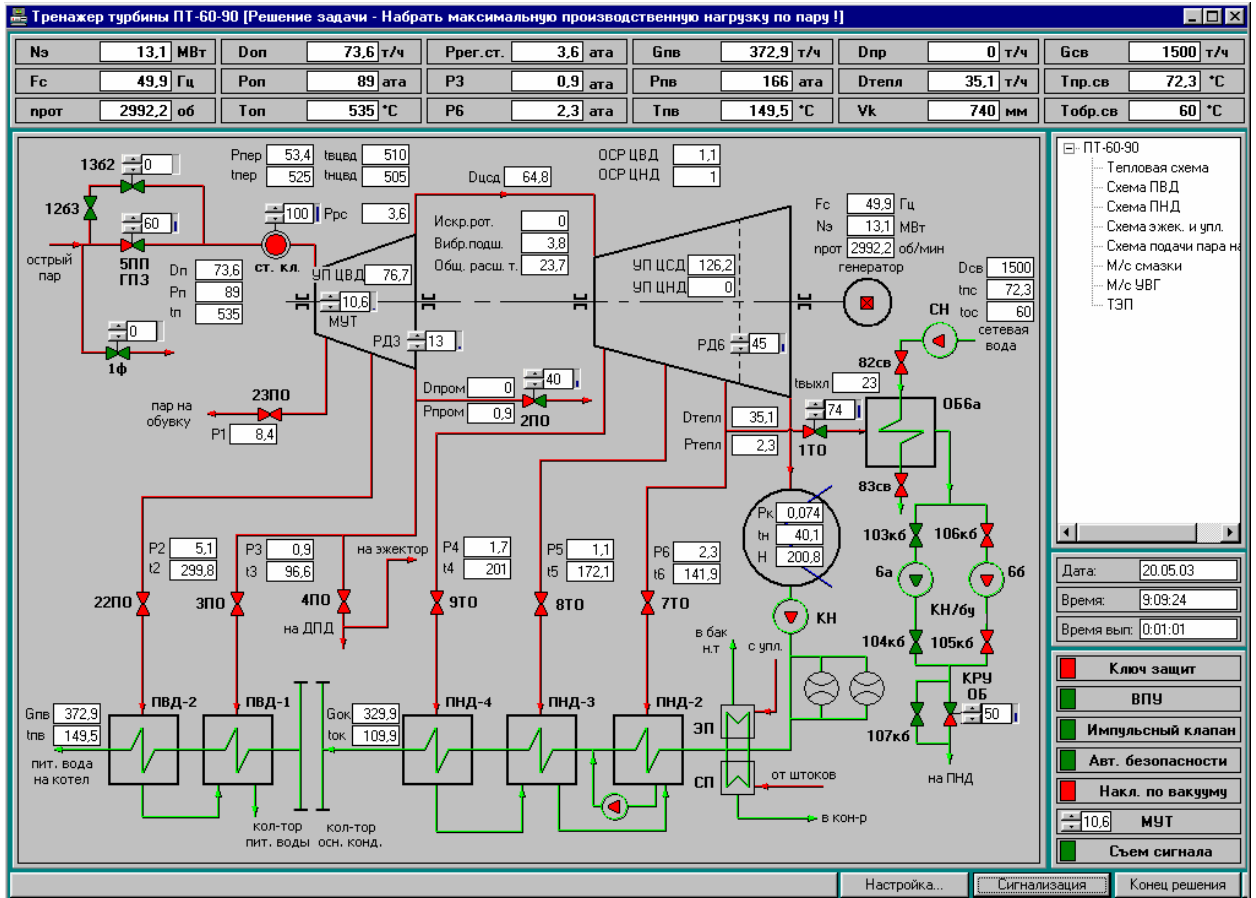


Рис. 4. Общий вид экранной формы отображения тренажера

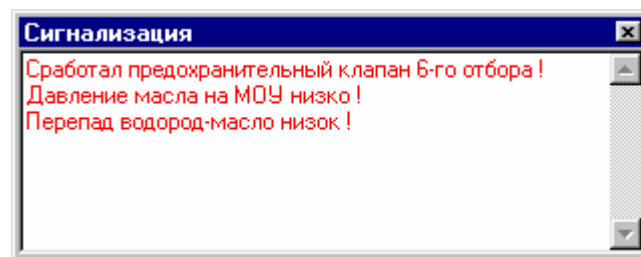


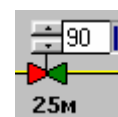
Рис. 5. Вид окна "Сигнализация"

Все органы управления в функциональных группах разделяются на три основных типа:

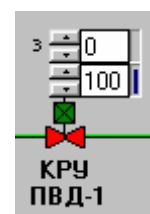
1. Кнопки включения/выключения элементов управления паровой турбиной. Если это задвижки, то такие кнопки характеризуют их состояние, как открыто/закрыто. Такие элементы изображены на экране в виде прямоугольников или задвижек красного или зеленого цвета. Красный цвет обозначает, что элемент включен (или открыт), зеленый – что выключен (или закрыт). Управление таким элементом осуществляется нажатием на нем левой клавиши манипулятора мышью.



2. Кнопки изменения степени открытия/закрытия положения регулирующего органа (например, положения регулирующей диафрагмы). Как правило, такие элементы изображены вместе с полем отображения численного значения степени открытия органа. Такое поле находится напротив букв **УП** (указатель положения) и является аналогом указателя колонки дистанционного управления на действующем энергообъекте. Изменение степени открытия осуществляется путем совмещения курсора мыши с так называемым элементом UpDown и нажатием левой кнопки мыши на соответствующий указатель: уменьшение - **⏪**, увеличение - **⏩**.



3. Кнопки управления автоматическими регуляторами, которыми снабжены, например, регуляторы уровня конденсата (**авт**). Автоматические регуляторы изображены на экране тренажера в виде перечеркнутых по диагонали прямоугольников красного или зеленого цвета в зависимости от их текущего состояния. Включение автоматического регулятора выполняется после совмещения с ним курсора мыши и нажатием левой клавиши, при этом прямоугольник меняет свой цвет на красный. И, наоборот, если необходимо отключить автомат и перевести на ручное управление элементом, то необходимо нажать левую кнопку мыши, а цвет элемента изменится с красного на зеленый.



Окончание работы на тренажере осуществляется нажатием кнопки **"Конец решения"**, расположенной на нижней управляющей строке. Если ранее не использовалась опция **"Сохранение протокола"**, то программа возвраща-

ется в меню выбора имени пользователя. Если такая опция была использована, то при нажатии кнопки "**Конец решения**" на экране монитора появляется окно протокола решения задачи с данными анализа и обработки результатов тестирования с последующей возможностью их распечатки на принтере.

Наряду с панелью указания даты и времени выполнения задачи располагаются органы управления, доступные пользователю независимо от состояния функциональной группы, в частности: ключ защит турбины, ВПУ, импульсные клапана, автомат безопасности, накладка по вакууму, положение механизма управления турбиной (синхронизатор).

## **7. Описание функциональных групп**

В данной версии имитационного компьютерного тренажера котлоагрегата ПК-10Ш Красноярской ТЭЦ-1 реализована возможность работы с семью основными функциональными группами (ФГО), представленными в виде мнемосхем:

- тепловая схема;
- схема подогревателей высокого давления (ПВД);
- схема подогревателей низкого давления (ПНД);
- схема эжектирующих установок и охладителей уплотнений;
- схема подачи пара на уплотнения;
- система маслоснабжения подшипников;
- система уплотнения вала генератора;
- технико-экономических показателей (ТЭПы) паротурбинной установки.

### **7.1. Тепловая схема паротурбинной установки**

Вид этой функциональной схемы представлен на рис. 6.

Функциональная группа "**тепловая схема**" состоит из 45-ти параметров контроля и 27-ми органов управления тракта тепловая схема паротурбинной установки.

В основу компьютерного тренажера положена паровая турбина типа ПТ-60-90/13 (ст. №8), изготовленная ЛМЗ, одновальная, двухцилиндровая с конденсацией и с двумя регулируемыми отборами пара.

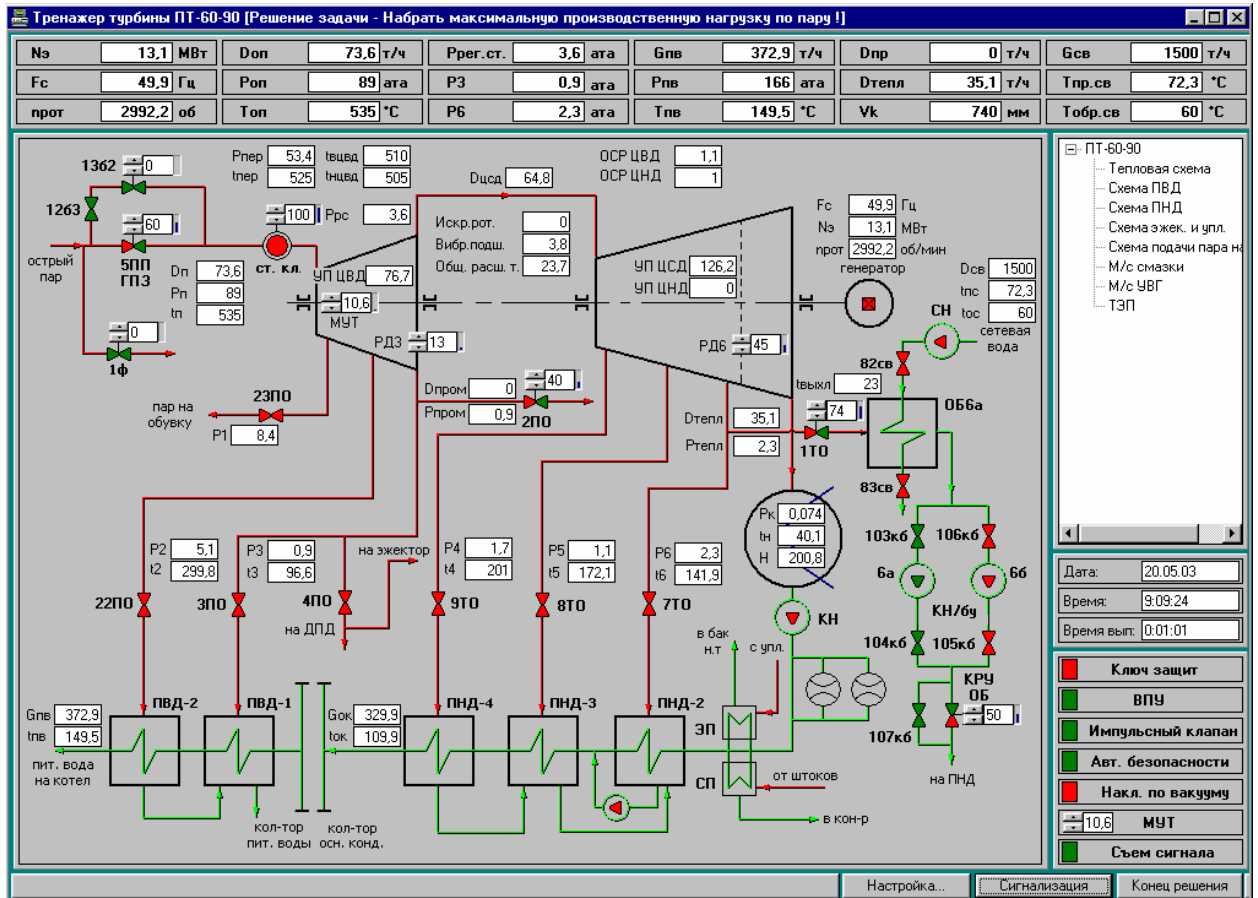


Рис. 6. Функциональная группа "тепловая схема"

Основные технические характеристики турбины.

Номинальная мощность	63 МВт
Скорость, вращения ротора	3000 об/мин;
Давление пара перед стопорным клапаном	90 ата
Температура свежего пара перед стопорным клапаном	535 °C
Расход пара на турбину	396 т/час
Расход пара в промышленный отбор	230 т/час

Заводом разрешен отбор пара более 230 т/час при условии не превышения давления в камере перегрузочного клапана более 70 ата.

Работа турбины с давлением в камере регулируемого отбора 10-15 ата допускается с расходом острого пара не более 230 т/час.



На основании письма ЛМЗ разрешается дополнительный отбор пара из камеры 1 нерегулируемого отбора на обдувку поверхностей нагрева паровых котлов не более 20 т/час.

Расход пара в теплофикационный отбор	160 т/час.
Давление в конденсаторе при расчетной температуре охлаждающей воды +20°C и расходу 8000 м <sup>3</sup> /час	0,035 ата.
Расход пара в конденсатор	175 т/час.
Температура питательной воды после ПВД	213 °С.
Количество нерегулируемых отборов	5.

Проточная часть ЦВД состоит из 15 ступеней давления, включая одно-венечную регулируемую ступень, проточная часть ЦВД состоит из двух частей: ЦСД – 9 ступеней, ЧНД – 4 ступени, включая регулирующие ступени.

Критическая скорость вращения ротора ЦВД – 1760 об/мин. ЦНД – 1950 об/мин, генератора – 1320 об/мин.

Роторы высокого и низкого давления соединены между собой пружинной муфтой. Роторы низкого давления и генератора – полугибкой муфтой.

ЦВД изготовлен из стали марки 20ХМФЛ. ЦВД состоит из двух частей: передней отлитой из стали и выхлопной части, сваренной из листовой углеродистой стали. Фикспункт турбины расположен на пересечении осей турбины и конденсатора. Осевое расширение турбины от фикспункта происходит в сторону переднего подшипника.

Парораспределение – 4 регулирующих и 1 перегрузочного ЦВД и 4 регулирующих ЦСД.

Последовательность открытия регулирующих клапанов установлена такой, что первым открывается (если смотреть с передка турбины правый верхний клапан, второй – левый нижний клапан, третьим правый нижний, четвертым – левый верхний и последним – перегрузочный клапан. После первого клапана ЦВД пар подводится к 21 соплу, после второго клапана – к 14 соплам, после третьего клапана – к 7 соплам, после четвертого клапана – 20 соплам.

Первый регулирующий клапан выполнен с проходным сечением  $d = 175$  мм, второй  $d = 125$  мм, третий –  $d = 100$  мм, четвертый  $d = 125$  мм, пере-

грузочный  $d = 100$  мм. Перегрузочный клапан перепускает острый пар из камеры за регулирующей ступенью в камеру за 3-й ступенью.

Для сокращения времени прогрева ЦВД при пуске турбины фланцы и шпильки горизонтального разъёма цилиндра имеют паровой обогрев. Пар на обогрев подводится от паропровода свежего пара, идущего к основным эжекторам.

Турбина имеет валоповоротное устройство для вращения ротора со скоростью 3-4 об/мин в целях равномерного их прогрева при пуске и равномерного остывания после останова турбины.

## 7.2. Схема подогревателей высокого давления (ПВД)

Общий вид мнемосхемы "схема ПВД" турбины представлен на рис. 7. Включает 18 параметров контроля и 17 органов управления. Схема ПВД является частью регенеративной схемы турбины.

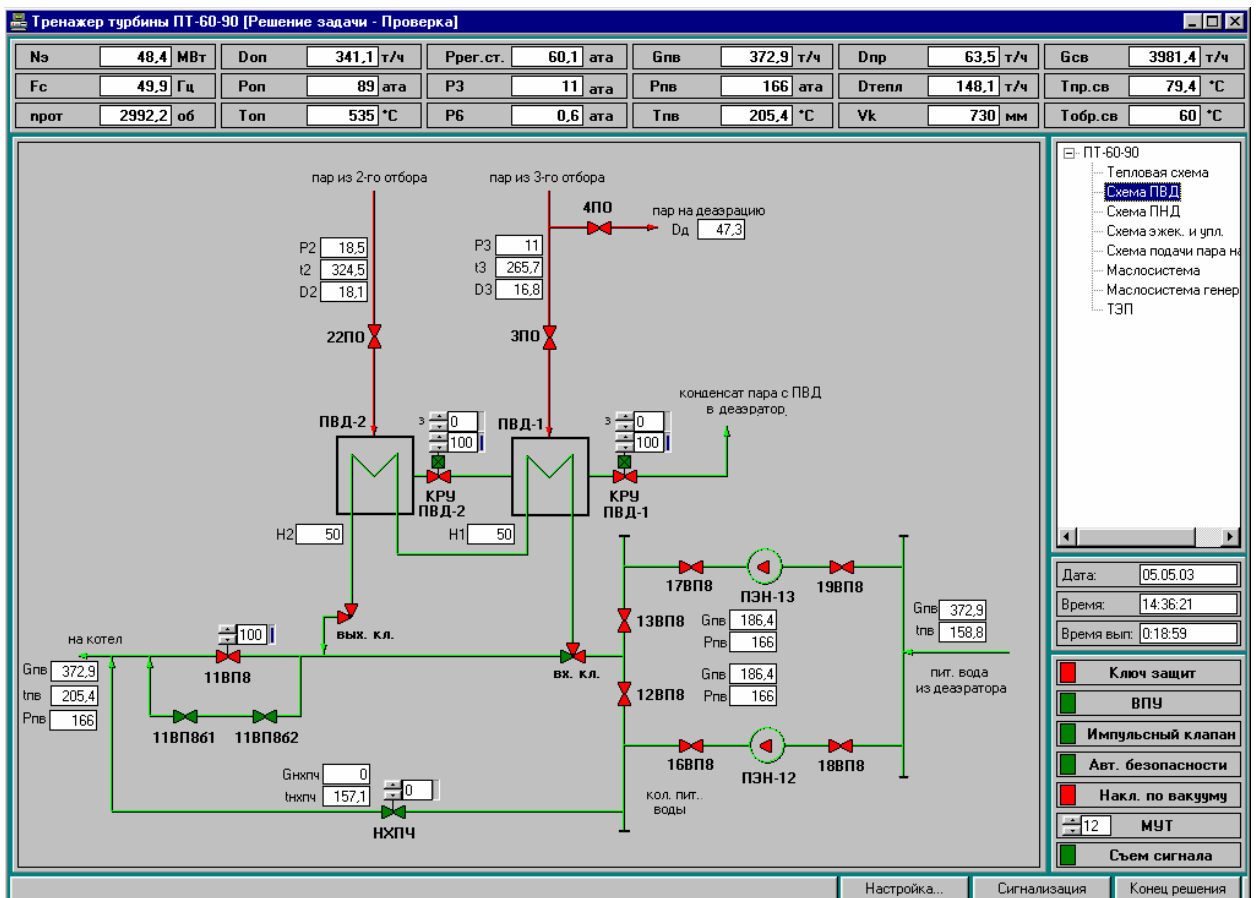


Рис. 7. Мнемосхема подогревателей высокого давления (ПВД)

Регенеративная установка предназначена для подогрева конденсата и питательной воды паром, отбираемым из промежуточных ступеней турбины. Подогрев воды осуществляется в следующих теплообменниках:

- а) в охладители рабочего пара основного эжектора турбины;
- б) в двух охладителях пара из уплотнений турбины;
- в) в трех ПНД (№2-4)
- г) в деаэраторах 6 ата.
- д) в двух ПВД №1, 2 (ПВ-350-230-36-1)

На ПВД № I – подается пар из 3-го отбора после 15 ступени с давлением 10-16 ата.

На ПВД № 2 – из 2-го отбора после 12 ступени с давлением 19,6 ата.

Пар из 1-го отбора после 8 ступени с давлением 32,4 ата подается на обдувку поверхностей нагрева паровых котлов.

На ПНД № 2 – из 6-го отбора после 24 ступени с давлением 1,2-2,5 ата.

На ПНД № 3 – из 5-го отбора после 20-й ступени с давлением в отборе 4,4 ата.

На ПНД № 4 – из 4-го отбора после 17-й ступени с давлением 7,2 ата.

Конденсат греющего пара подогревателей низкого давления направляется каскадно из ПНД № 4 в ПНД № 3, а затем в ПНД № 2. Из ПНД № 2 конденсат греющего пара, ПНД № 2-4 откачивается двумя сливными насосами типа 5КС 5x4 производительностью 50 т/ч с напором 11 кг/см<sup>2</sup>. Скорость вращения 1460 об/мин.

Отвод неконденсирующихся газов ПНД выполнен также каскадно и направлен в конденсатор.

Конденсат греющего пара ПВД направляется каскадно из ПВД № 2 в ПВД № 1 и на деаэраторы 6 ата.

Отвод неконденсирующихся газов выполнен каскадно и направляется в ПНД № 4.

Скорость повышения давления пара при включении ПВД не должна превышать 0,6 кгс/см<sup>2</sup> в минуту.

Запрещается эксплуатация подогревателей высокого давления (ПВД) при отсутствии или неисправности элементов их защит и регуляторов уровня.

При наличии группового, аварийного обвода ПВД запрещается эксплуатация всей группы при отсутствии или неисправности элементов их защит и регуляторов уровня хотя бы на одном из ПВД, а также при отключении по пару любого ПВД.

Отключение защиты ПВД производится по наряду с разрешения НСС. Отключение производит дежурный приборист цеха ТАИ, с записью в оперативном журнале цеха и станции и с уведомлением руководства цеха.

### 7.3. Схема подогревателей низкого давления (ПНД)

Общий вид мнемосхемы "схема ПНД" турбины представлен на рис. 8. Включает 23 параметра контроля и 35 органов управления. Описание подогревателей низкого давления турбины приведено выше.

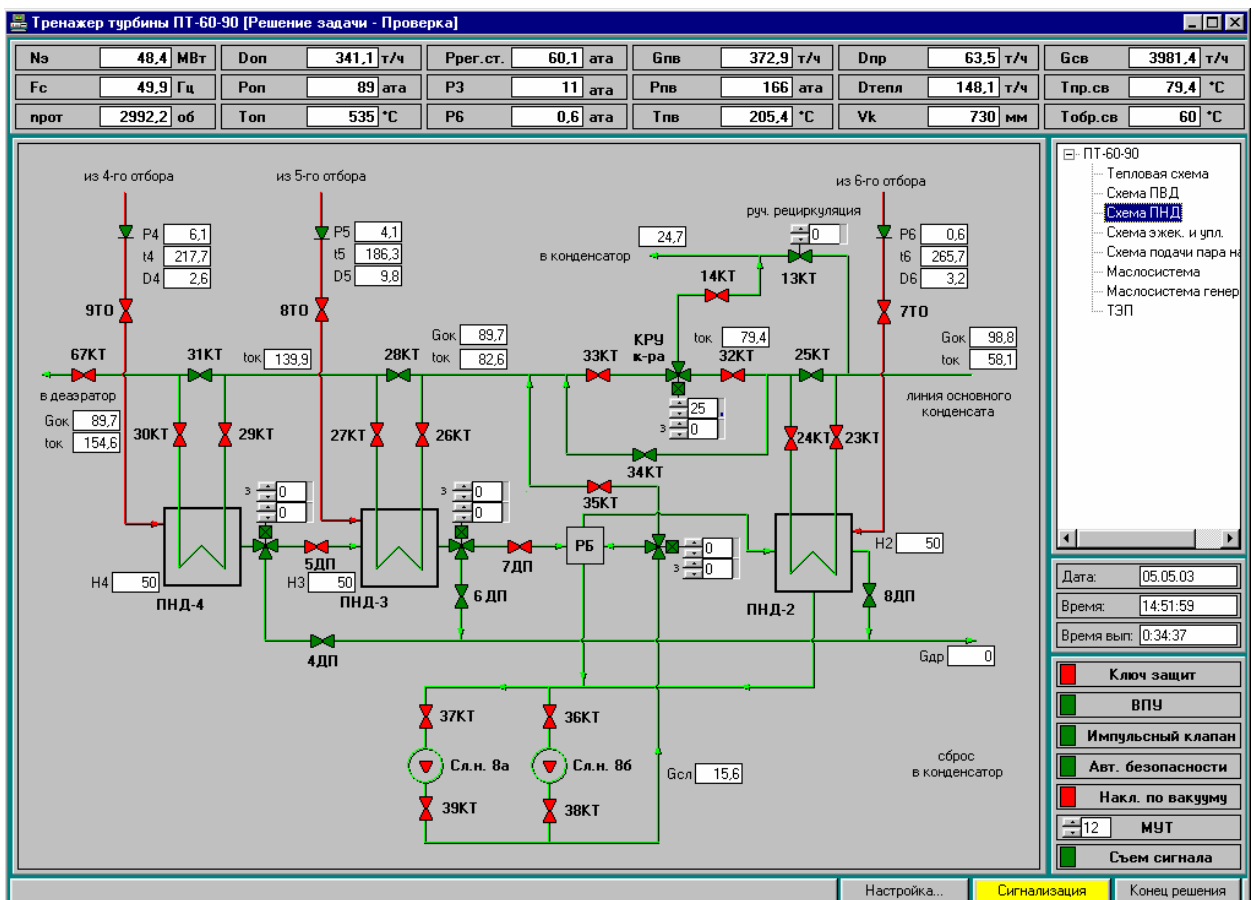


Рис. 8. Мнемосхема подогревателей низкого давления

Схема ПНД включает три последовательно по ходу основного конденсата включенных подогревателя низкого давления (ПНД-2, ПНД-3 и ПНД-4). С ПНД 4 и ПНД-3 конденсат греющего пара сливается каскадно, а затем в расширительный бак (РБ). Из РБ конденсат вместе с конденсатом греющего пара из ПНД-2 подается в сливные насосы, которыми дренаж подается в линию основного конденсата. Для регулирования уровня конденсата в конденсатор на линии основного конденсата установлен трехходовой кран (КРУ конденсатора).

### 7.4. Схема эжектирующих установок и охладителей уплотнений

Мнемосхема парового тракта котла представлена на рис. 9.

Данная функциональная группа насчитывает 19 параметров отображения информации и 35 органов управления.

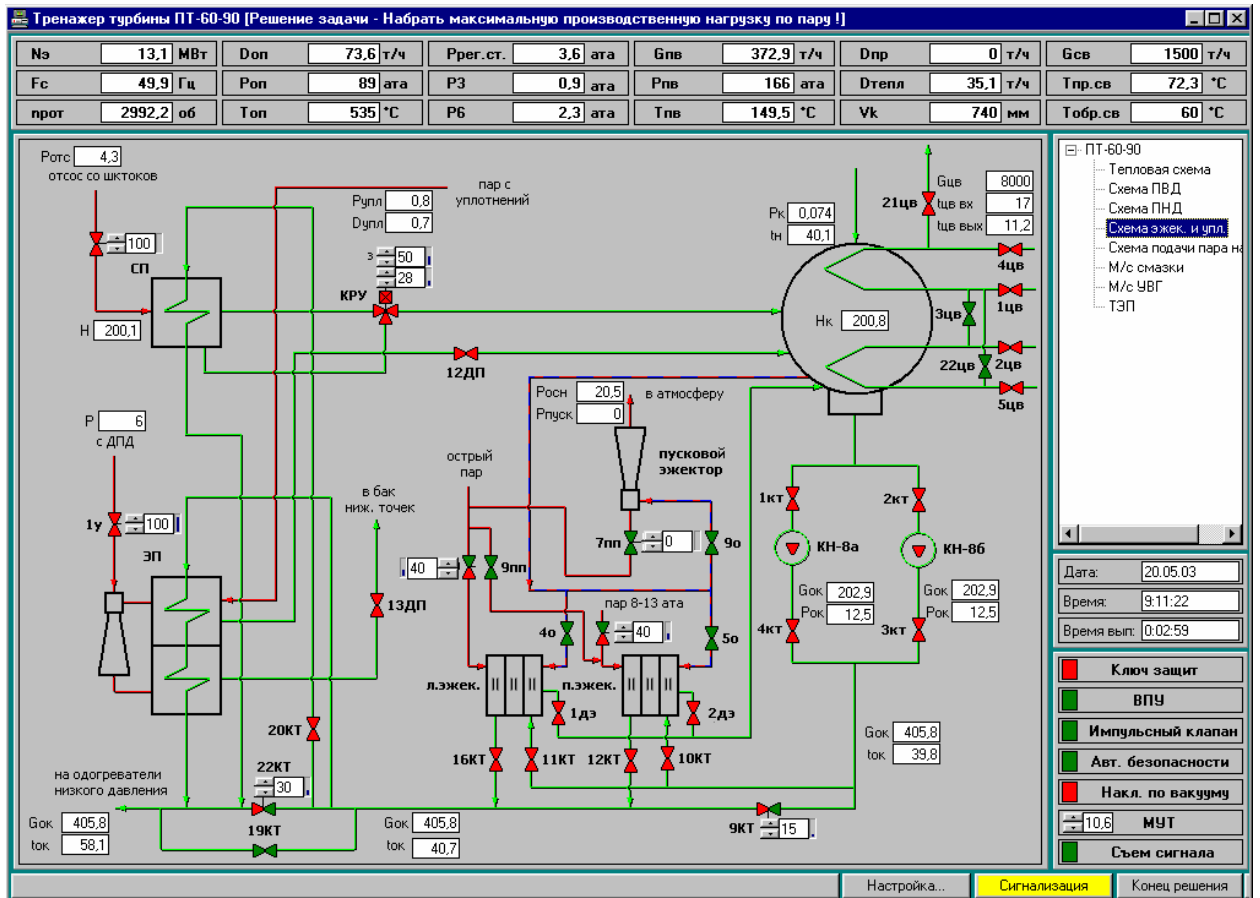


Рис. 9. Мнемосхема эжектирующих установок

Данная мнемосхема включает в себя конденсационное устройство, основной и пусковой эжектор, охладители пара со штоков и уплотнений.

Конденсатор турбины типа 50-КЦС-4 с поверхностью охлаждения  $3000 \text{ м}^2$ , образованной из 5800 трубок длиной 6650 мм и  $d = 25 \times 1 \text{ мм}$ , выполненных из латуни Л-68. Конденсатор горловиной приварен к выхлопному патрубку и опирается на пружинные опоры, рассчитанные на вес конденсатора с рабочим объемом конденсата и охлаждающей воды.

Конденсатор – цельносварной, двухходовой, трубки завальцованы с обеих сторон в трубных досках и, кроме того, поддерживаются промежуточными трубными перегородками.

Отсос неконденсирующихся газов из парового пространства конденсатора производится с боков корпуса конденсатора, куда газы поступают через специально выделенные пучки трубок. Конденсатор по воде разделен на две половины, что допускает отключение одного из конденсаторов на работающей турбине.

Расчетный расход охлаждающей воды через конденсатор составляет  $8000 \text{ м}^3/\text{час}$ , гидравлическое сопротивление при чистых трубках  $0,36 \text{ кг}/\text{см}^2$ .

Воздухоотделяющее устройство, состоящее из 2-х основных эжекторов: пускового и хозяйственного.

Один из основных эжекторов типа ЭП-3-600-4 должен обеспечить нормальный отсос воздуха из конденсатора. Эжекторы левой группы рассчитаны на давление рабочего пара 12-16 кг/см, питающийся от паропроводов 90 ата. Производительность эжектора 70 кг/ч, расход пара на эжектор 600 кг/ч.

У эжектора правой группы расточены сопла для питания паром 6 ата из линии отбора пара на деаэраторы.

Пусковой эжектор типа ЭП-1-600-3 предназначен для быстрого отсоса больших количеств воздуха из парового пространства и подъема вакуума до 500-600 мм.рт.ст. перед пуском турбины.

Хозяйственный эжектор типа ЭП-1-600-2 служит для отсоса воздуха из сливных циркуляционных водоводов. Расход пара составляет 600 кг/ч.

### 3.5.3. Два конденсатных насоса типа 8КСД 5 ХЗ.

Производительность	120 м <sup>3</sup> /час
Напор	12,5 кг/см
Скорость вращения	1460 об/мин
Мощность на валу насоса	100 кВт.

Насос центробежный, спирального типа, трехступенчатый, горизонтальный.

Из установленных двух конденсатных насосов откачку конденсата из конденсатора при нагрузке 160 т/час обеспечивает один конденсатный насос, а второй насос является резервным.

Из промежуточных камер уплотнений производится отвод прошедшего через уплотнения пара в предвключенный подогреватель типа ПН-100-2 т/г 7 и Бо-90 т/г 8,9. Кроме того, выполнен отвод пара из уплотнений ЦВД и 1 отбора в 3 отбор.

Отсосы пара от штоков клапанов турбины организованы следующим образом: пар из первых камер уплотнений штоков стопорного и регулирующих клапанов отводится в деаэраторы 6 ата, а из вторых камер отсасывается в охладитель типа ПО-50.

## 7.5. Мнемосхема подачи пара на уплотнения

Данная мнемосхема представлена на рис. 10. В настоящее время эта мнемосхема насчитывает 11 информационных полей и 11 органов управления.

Пар от уравнительной по пару деаэраторов 6 ата (или коллектора подачи пара из уплотнения) подводится в коллектор уплотнений, а из него в концевые уплотнения турбины. Давление в камерах концевых уплотнений цилиндров поддерживается регулятором в пределах 1-1,2 ата.

Подача пара на заднее уплотнение ЦНД турбины №8 осуществляется по отдельной линии.

Из крайних камер уплотнений паровоздушная смесь отсасывается эжектором в горизонтальный эжектирующий пароохладитель типа ПО-50.

Рабочей средой эжектора является пар, поступающий из уравнительной деаэраторов ДПД, работающих под давлением 6 ата. В подогревателе поддерживается давление 0,95-0,97 ата.

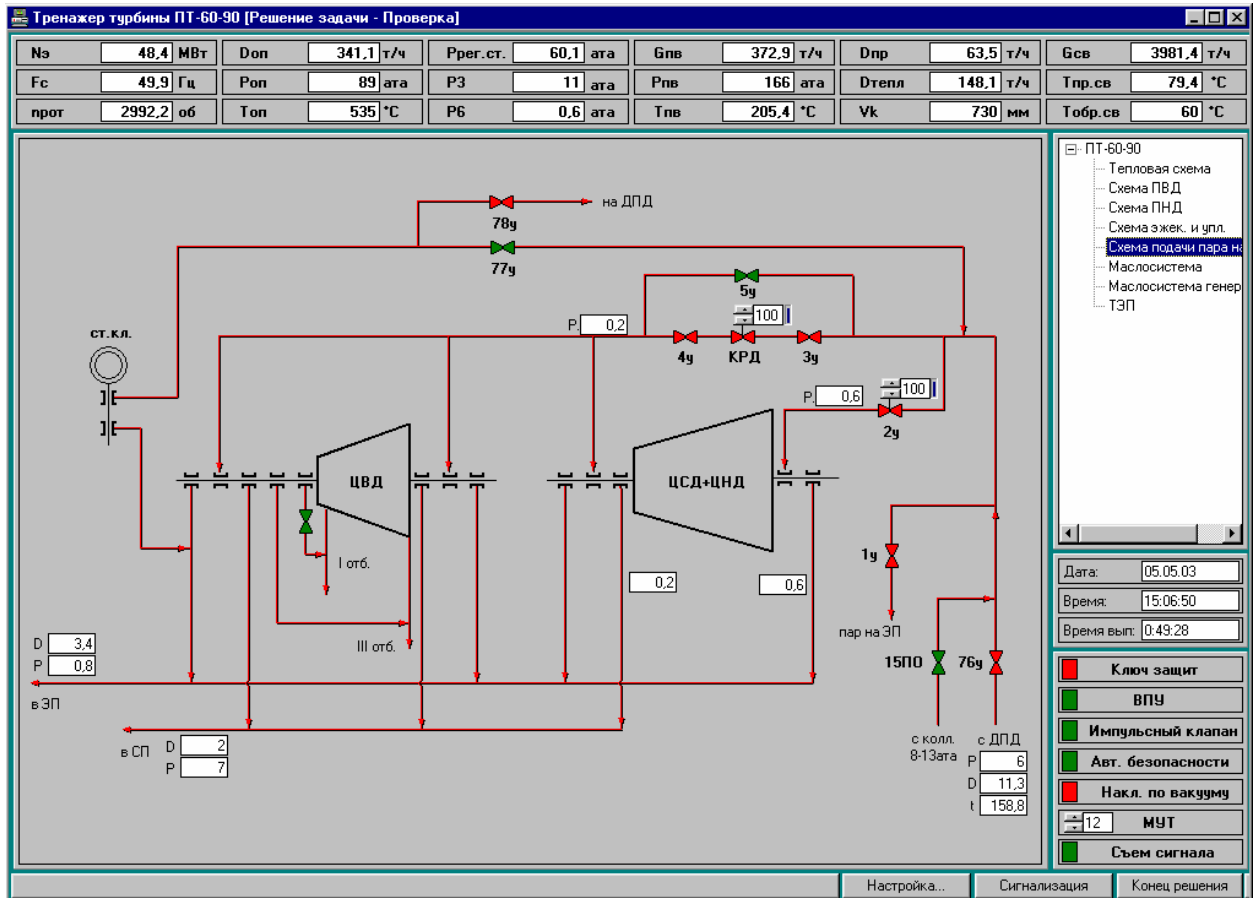


Рис. 10. Мнемосхема подачи пара на уплотнения

## 7.6. Мнемосхема системы маслоснабжения турбины

Данная мнемосхема представлена на рис. 11. В настоящее время эта мнемосхема насчитывает 13 информационных полей и 51 орган управления.

Паровая турбина типа ПТ-60/90/13 (ст.№8) с двумя регулирующими отборами пара снабжена гидравлической (безрычажной) системой связанного автономного регулирования, которое обеспечивает необходимое воздействие на регулирующие органы турбины (регулирующие клапана ЦВД, регулирующие клапаны ЧСД и поворотную диафрагму ЧНД) при изменении тепловой и электрической нагрузки турбины. Каждый из регуляторов - регулятор скорости, регулятор давления отбора 10-16 ата и регулятор давления отбора



1,2-2,5 ата – действуют одновременно на все регулирующие органы турбины, причем передаточные связи между регуляторами и сервомоторами регулирующих органов выполнены таким образом, что изменение любого регулирующего параметра почти не вызывает изменений остальных двух параметров.

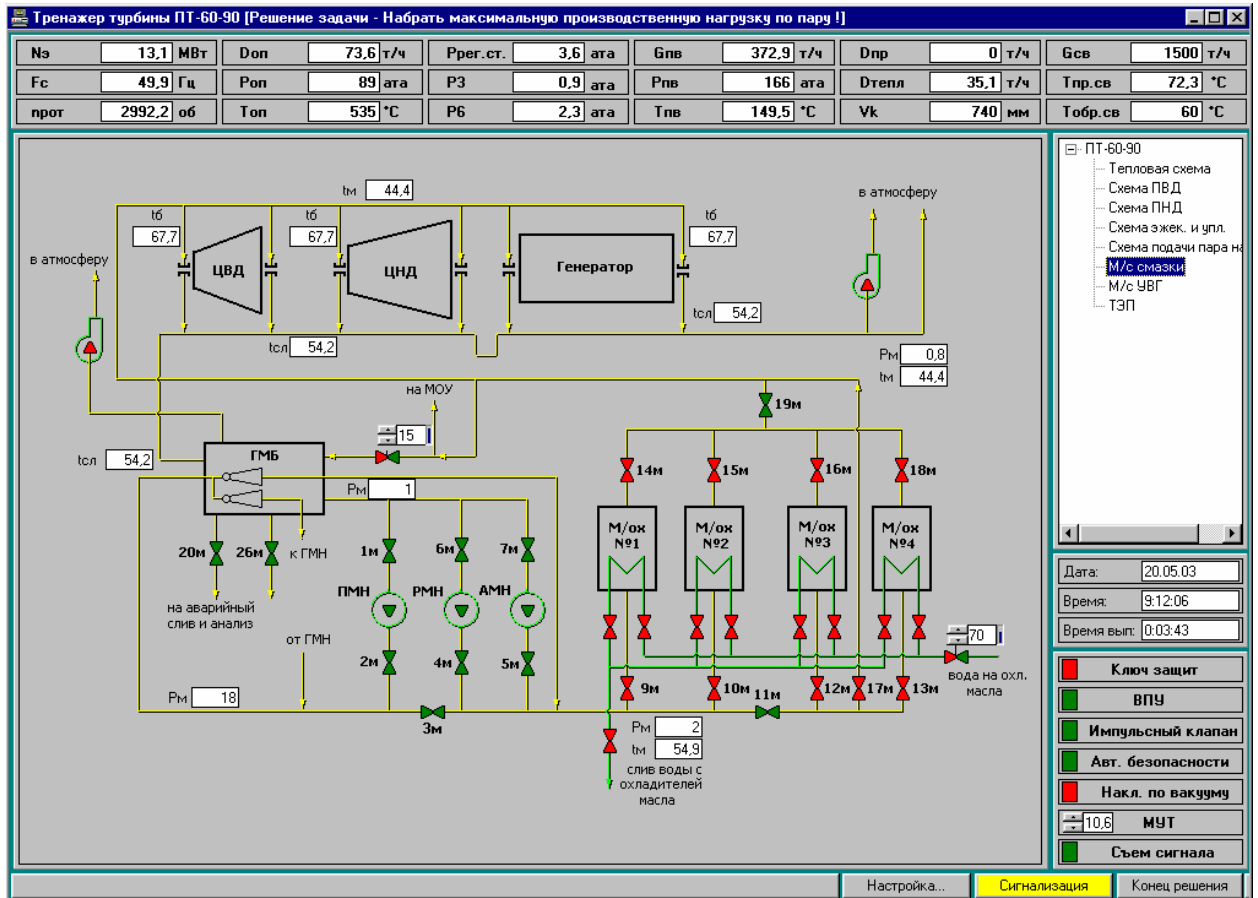


Рис. 11. Мнемосхема маслоснабжения турбины

Неравномерность регулирования числа оборотов выполнена равной примерно, 4%, неравномерность регулирования давления в отборах (изменение давления при изменении нагрузки от нуля до номинальной) равно, примерно, 1,2 кг/см – для отбора 1,2-2,5 ата.

Для предохранения турбогенератора от чрезмерного повышения числа оборотов турбина снабжена системой защиты, которая прекращает подачу пара при повышении числа оборотов 11-12% сверх нормального.

Кроме того, предусмотрена защита турбины от чрезвычайного осевого сдвига ротора и аварийного падения вакуума, для чего установлены реле осевого сдвига роторов высокого давления и низкого давления на вакуум-реле.

Реле осевого сдвига роторов воздействует через электромагнитный выключатель на систему защиты турбины при осевом сдвиге ротора более, чем на 1,7 мм.

Вакуум-реле при падении вакуума до 600 мм.рт.ст. подает предупредительный сигнал и отключает турбину (через электромагнитный выключатель системы защиты) с одновременной подачей аварийного сигнала при падении вакуума до 519 мм.рт.ст, и повышении температуры выхлопа до 53°C.

Все управление турбины при пуске, а также при работе под нагрузкой на конденсационном режиме осуществляется при помощи блока золотников регулятора скорости. Блок золотников регулятора снабжен маховиком ручного воздействия и электромотором для дистанционного управления турбиной со щита.

При работе турбины с включенными регуляторами давления управление турбиной осуществляется за счёт воздействия на блок золотников регулятора скорости и регуляторов давления.

Система регулирования и автоматизации турбоустановки предусматривает автоматическое регулирование подачи и отсоса пара лабиринтовых уплотнений, автоматическое поддержание уровня в конденсаторе турбины и автоматическое управление рециркуляцией конденсата при работе с пониженным расходом пара в конденсаторе.

Масляная система включает в себя:

1. Масляный бак с сетками для очистки масла, оборудованный поплавковым указателем уровня масла в чистом отсеке. Емкость масляного бака заполнена до верхнего уровня, составляет 14 т., в вместе с заполненными маслоохладителями и маслопроводами около 16 т. Верхний допустимый уровень масла в баке составляет 250 мм, а нижний - 100 по указателю уровня.

2. Четыре маслоохладителя типа МП-65 поверхностного охлаждения по  $65 \text{ м}^2$ . Допускается отключение одного маслоохладителя при работе турбины. Охлаждающей водой для маслоохладителей служит вода из напорных циркуляционных водоводов.

3. Главный масляный насос центробежного типа производительностью  $150 \text{ м}^3/\text{час}$ , приводимый во вращение непосредственно от вала турбины.

При номинальной скорости вращения насос подает масло в систему регулирования с давлением 20 ата и в систему смазки с давлением 0,8 ата измеренным после маслоохладителя.

4. Пусковой масляный насос типа АЯП-150 производительностью  $100 \text{ м}^3/\text{час}$  при 1000 об/мин и  $150 \text{ м}^3/\text{час}$  при 1500 об/мин.

Двигатель 1500 об/мин соединяется с насосом при испытании маслопроводов на плотность, системы регулирования.

Приводимый этим двигателем насос развивает давление свыше  $40 \text{ кг/см}^2$ , что обеспечивает возможность гидравлического испытания всех маслопроводов системы.

5. Резервный масляный насос типа 4 НДВ производительностью 90 т/час при напоре 2 ата, приводимый двигателем переменного тока мощностью 14 кВт с числом оборотов 1500.

6. Аварийный масляный насос типа 4 НДВ производительностью 90 т/час при напоре 2 ата, приводимый двигателем постоянного тока мощностью 14 кВт с числом оборотов 1500.

7. Масляный инжектор, установленный в масляном баке и обеспечивающий маслом при давлении 1 ати всасывание главного масляного насоса и систему смазки с давлением 0,8-0,9 ати после маслоохладителей. В инжектор подается масло с давлением 20 ати от главного или пускового масляного насоса.

8. Сливной клапан, предназначенный для поддержания давления в системе смазки за маслоохладителями.

9. Для вытеснения воздуха из узлов и маслопроводов системы регулиро-

вания предусмотрена линия с обратным клапаном для подачи масла от аварийного или резервного масляных насосов.

### 7.7. Мнемосхема системы уплотнений вала генератора

Данная мнемосхема представлена на рис. 12. В настоящее время эта мнемосхема насчитывает 20 информационных полей и 30 органов управления.

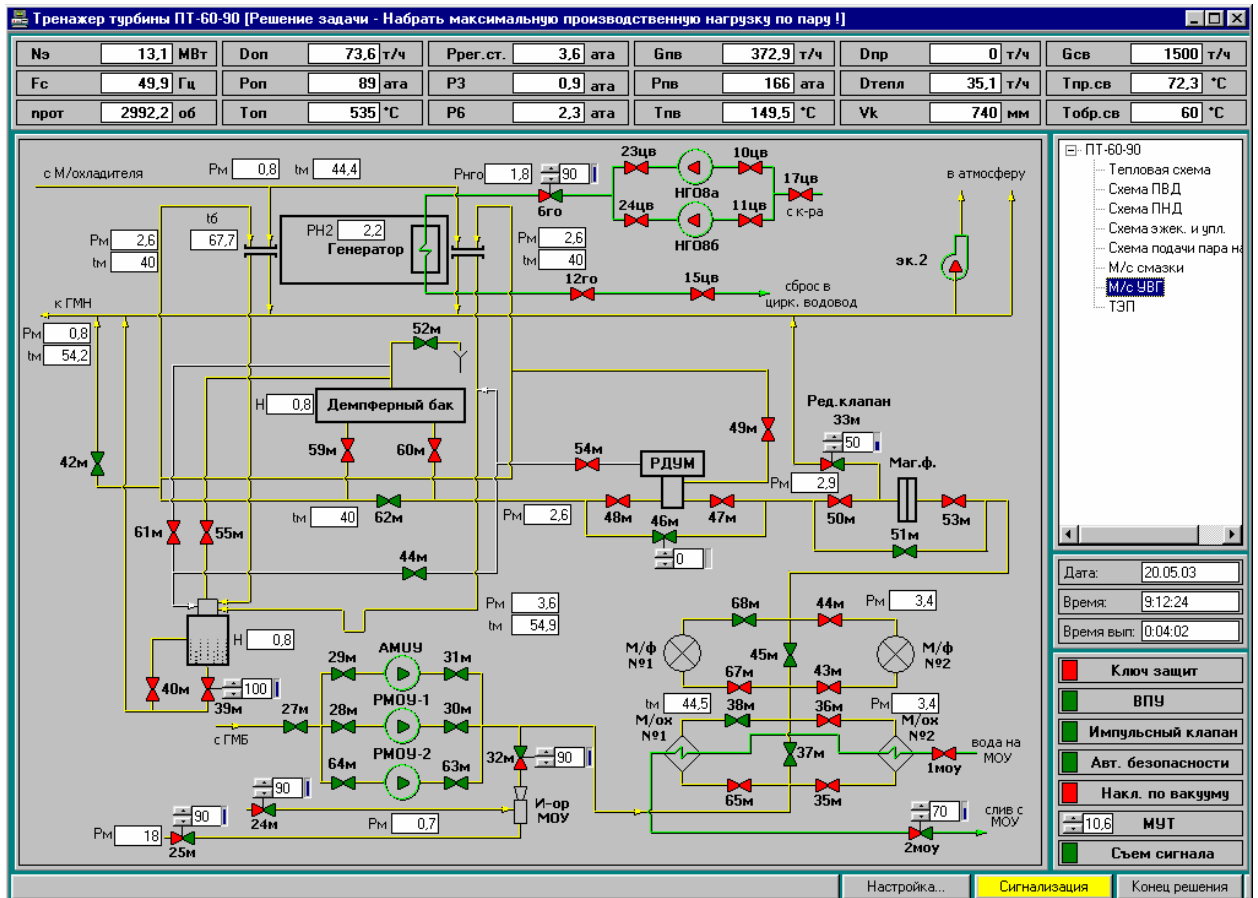


Рис. 12. Мнемосхема системы уплотнения вала генератора

### 7.8. Мнемосхема технико-экономические показатели турбоустановки

Общий вид функциональной группы технико-экономических показателей работы котла представлен на рис. 13. Данная мнемосхема содержит 20 информационных параметров, численные значения которых продублированы динамическими графиками (трендами) изменения по времени регистрируемых характеристик. Значения переменных сгруппированы по пяти трендам и

представлены в процентной зависимости от номинальных значений. Хронология представления данных на графиках составляет 15 мин. Тренды позволяют пользователю отслеживать темп и характер изменения контролируемых характеристик с их одновременным качественным и количественным сопоставлением.

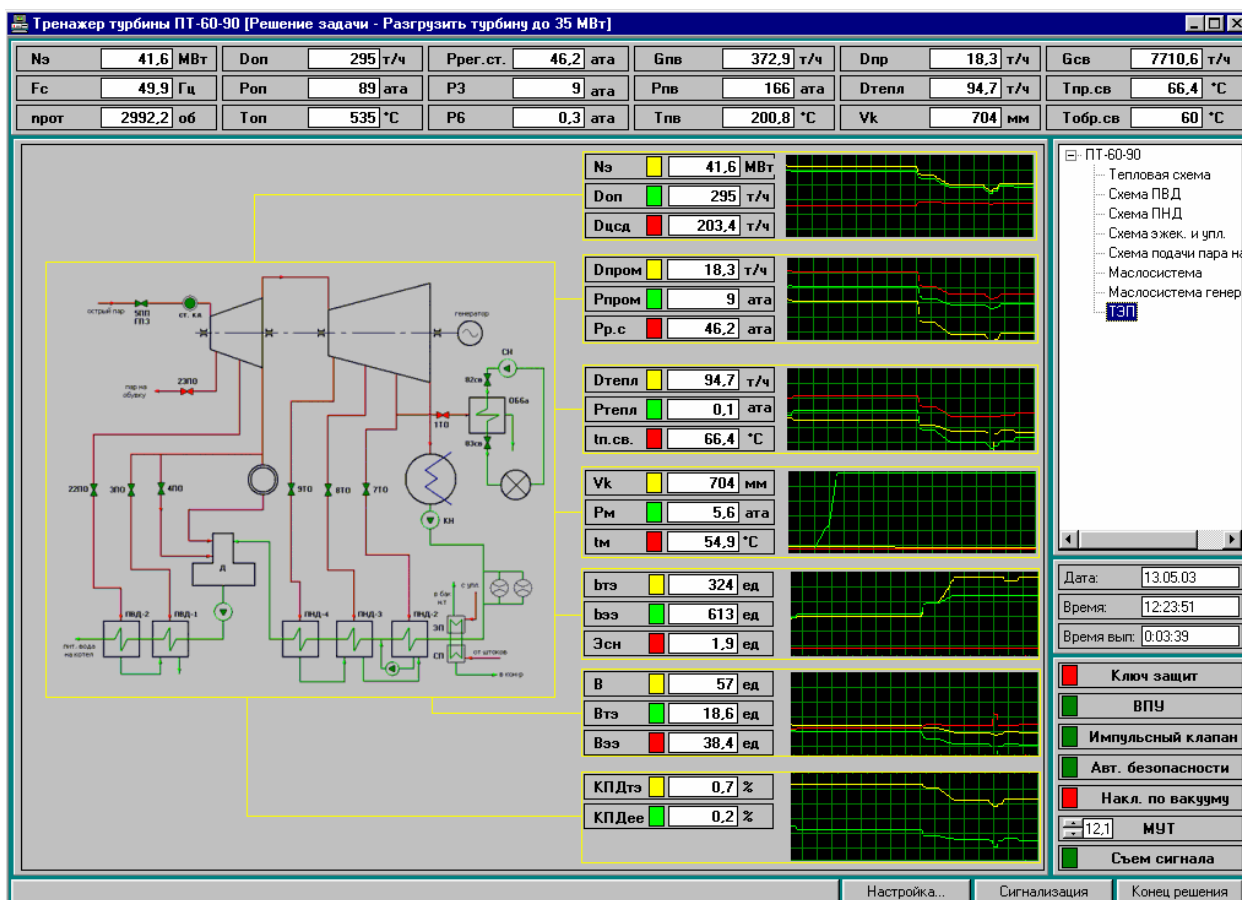


Рис. 13. Мнемосхема технико-экономических показателей работы котла

## 8. Экспертная оценка результатов решения (протокол)

Результат тестирования оформляется в виде протокола и появляется на экране после нажатия кнопки "**Конец решения**" при условии, если предварительно отмечалась опция "**Сохранение протокола**" или если в качестве цели указывался "**Экзамен**". Формирование протокола осуществляется путем считывания информации из базы данных файла с именем *протокол pt60.db* из папки *Protokol*. Анализ результатов осуществляется в автоматическом режиме с сохранением их в файле *\*.txt* расположенном в папке *Отчет*. Имя файла-протокола сформировано следующим образом: сначала указывается имя

пользователя, а затем имя файла-задания (\*.zdn). Например, *Иванов\_tr0006.txt* или *Петров\_ta0012.txt*. Структура протокола представлена на рис. 12.

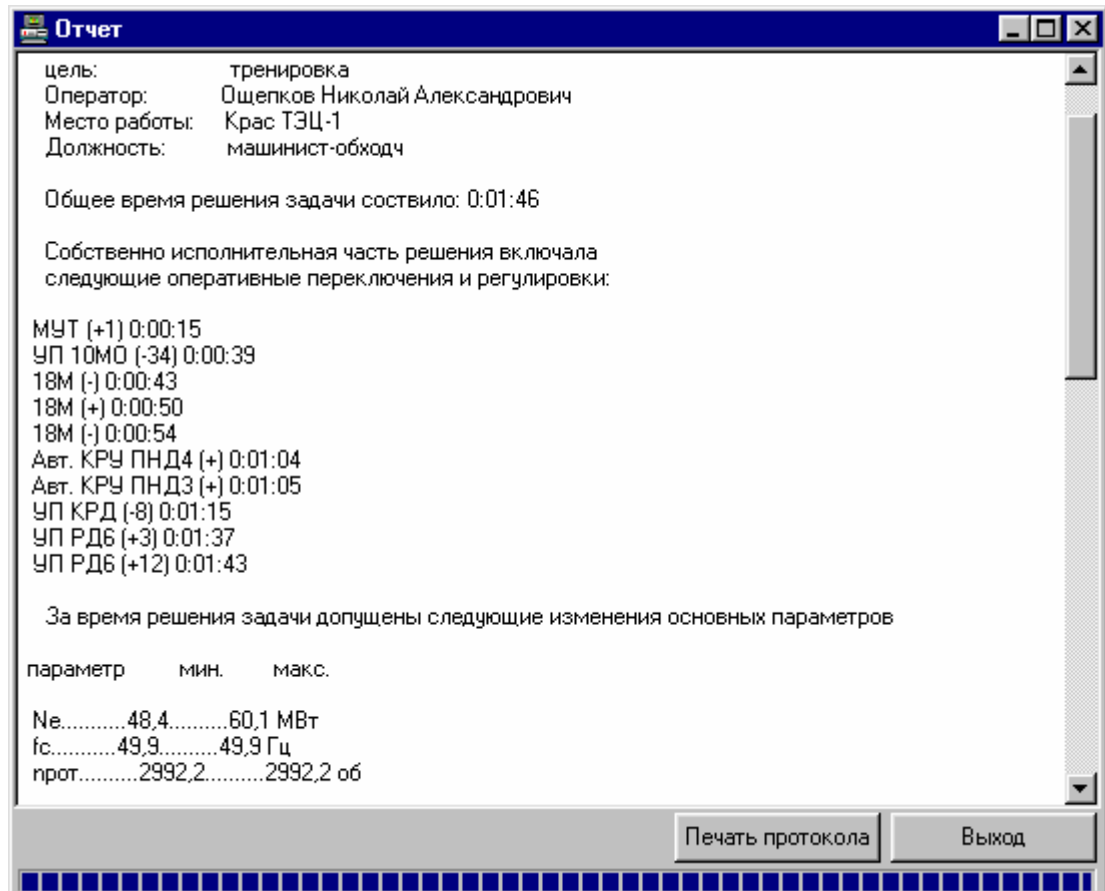


Рис. 14. Общий вид протокола решения задач на тренажере

В протоколе указывается формулировка поставленной задачи с указанием имени файла исходных данных, Ф.И.О. оператора решавшего задачу, место и должность работы.

Собственно результаты исполнительной части решения включают:

- общее время решения задачи;
- список оперативных переключений и управляющих воздействий;
- максимальные и минимальные значения основных параметров за период решения задачи;
- фиксированные значения основных параметров на момент окончания решения;

- сообщения о сработавшей сигнализации с указанием количества, характера и продолжительности нарушения режима;
- оценка решения с указанием количества набранных условных штрафных баллов;
- список замечаний, на основании которых выполнялось начисление штрафных баллов.

Имеется возможность выполнить распечатку содержимого протокола решения оперативной задачи посредством нажатия, расположенной в окне кнопки "Печать протокола".

## 9. Анализ результатов решения

В процессе решения задачи на изложенном выше компьютерном тренажере вся модельная информация с определенной частотой сохраняется в файле базы данных (\*.dbf) на жестком диске в каталоге *DBS*. В дальнейшем в случае необходимости все решения, которые принимались оператором в соответствии со значениями текущих параметров, могут быть подвергнуты тщательному разбору или анализу. Данная возможность реализована в самостоятельной программной утилите *Analizator\_pt60.exe*.

Процесс работы с этой утилитой сводится к следующему. При загрузке программы первоначально появляется меню выбора необходимой базы данных (см. рис. 15).

Файл базы данных представлен в списке так, чтобы имелась возможность определить фамилию оператора, шифр решенной им задачи и номер попытки, например: *Иванов\_tr0006\_1.dbf* , *Петров\_ta0012\_8.dbf* и т.д. После чего происходит загрузка рабочей формы анализатора по интерфейсу дружественному с интерфейсом компьютерного тренажера (см. рис. 16).

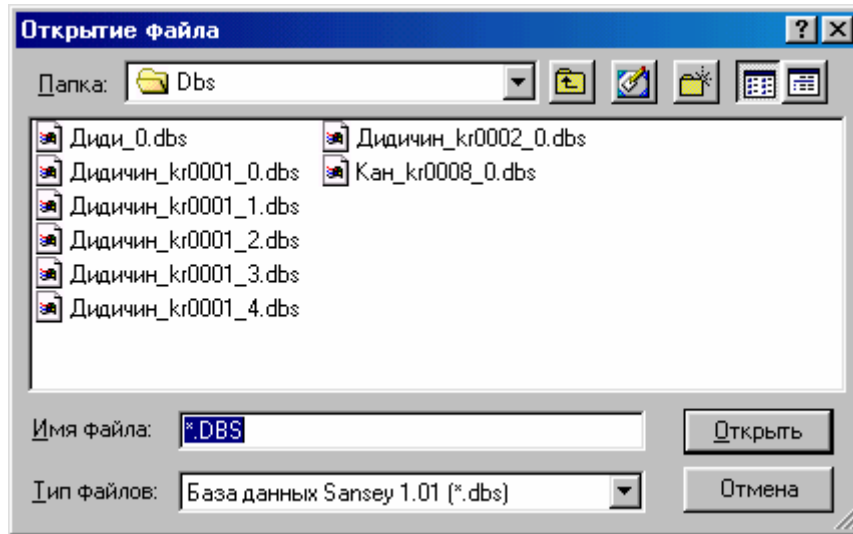


Рис. 15. Меню выбора базы данных с результатами решения задачи

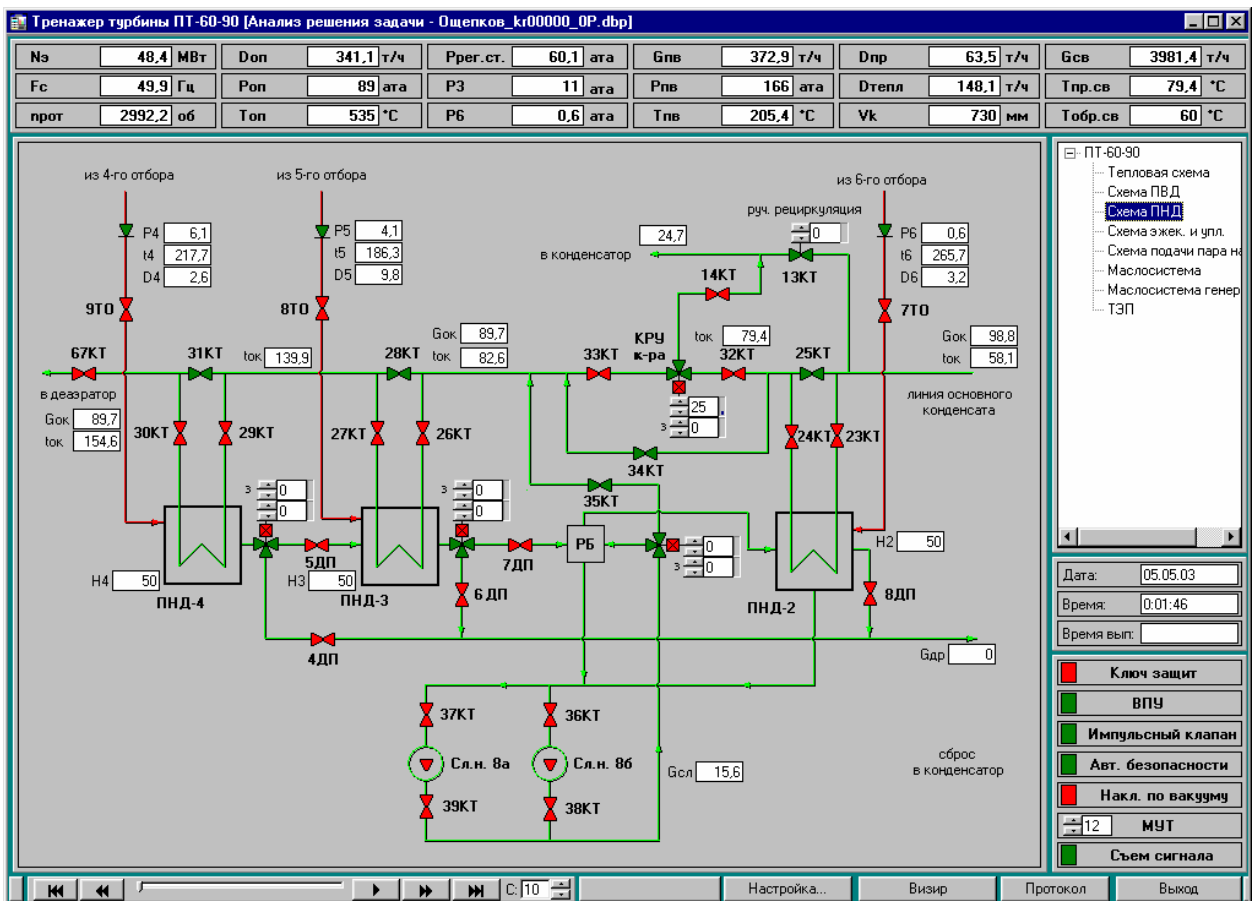


Рис. 16. Вид программы, предназначенной для анализа результатов решения



Данная программа обеспечивает все без исключения функциональные возможности основного имитационного тренажера, но при этом дополнительно позволяет «проигрывать» результаты решения с одновременным их анализом. «Проигрыватель» ситуаций оформлен в виде традиционных кнопок, позволяющих включать режим *«воспроизведение»*, *«прокрутку на шаг вперед и на шаг назад»*, *«возврат в начало и конец файла»*, *«принудительный останов»*. Мониторинг и контроль событий происходящих при проигрывании оперативной ситуации из базы данных осуществляется непосредственно на функциональных мнемосхемах тренажера или через меню *«Визир»* внешний вид, которого представлен на рис. 17.

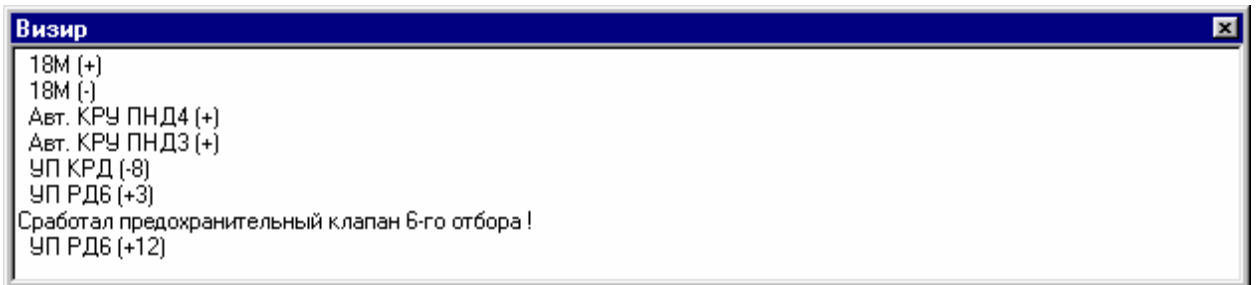


Рис. 17. Вид окна регистрации событий

В данном окне фиксируются события связанные с регистрацией переключений между функциональными группами с указанием ФГО и временем переключения, а также набора действий и переключений в процессе решения задачи.

При проигрывании ситуаций в данной программе реализованы индикатор положения решения по времени (в виде бегунка) и возможность изменения (ускорение и замедление) скорости проигрывания.

## 10. Редактор режимных и аварийных задач

Данный редактор предназначен для автоматизированной разработки исходных режимных и аварийных задач в формате присущему изложенному выше имитационному тренажеру.

Редактор позволяет выполнять редактирования исходных данных либо посредством шаблона, либо путем редактирования существующих оперативных задач. Выбор способа организации работы осуществляется в окне представленному на рис. 18. Если выбирается первый способ, то происходит загрузка файла-шаблона исходных данных с возможностью выбора типа задачи (режимная или аварийная) (см. рис. 19). К числу основных шаблонов относятся: растопка котла из холодного состояния, номинальный режим работы, частичная нагрузка (50% от номинала) и т.д. Если выбирается второй способ, то происходит загрузка существующих файлов с исходными данными (\*.zdn), которые в последствии можно подвергнуть коррекции.

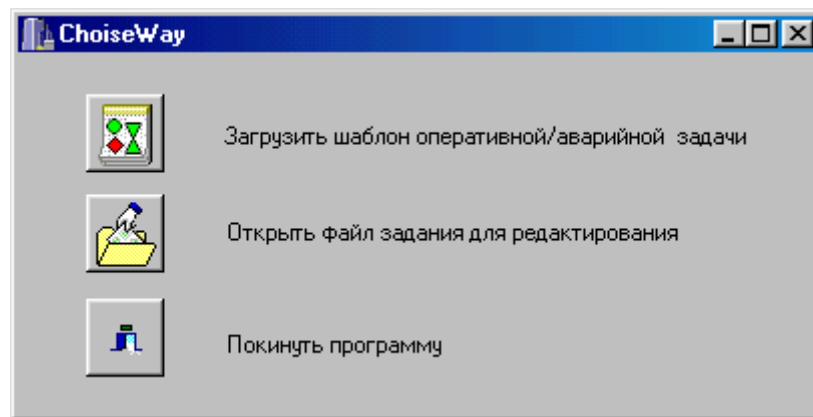


Рис. 18. Окно выбора способа редактирования оперативной задачи

Окно выбора задачи для редактирования по второму способу представлено на рис. 20. В этом случае также имеется возможность выбора режимной или оперативной задачи.

После выбора задачи для редактирования происходит загрузка исходных данных непосредственно в редакторе. Рабочее окно редактора, также как и окно программы для анализа результатов решения задачи представляет собой интерфейс имитационного тренажера с полной возможностью его управления и отображения управляющих воздействий и режимной информации.

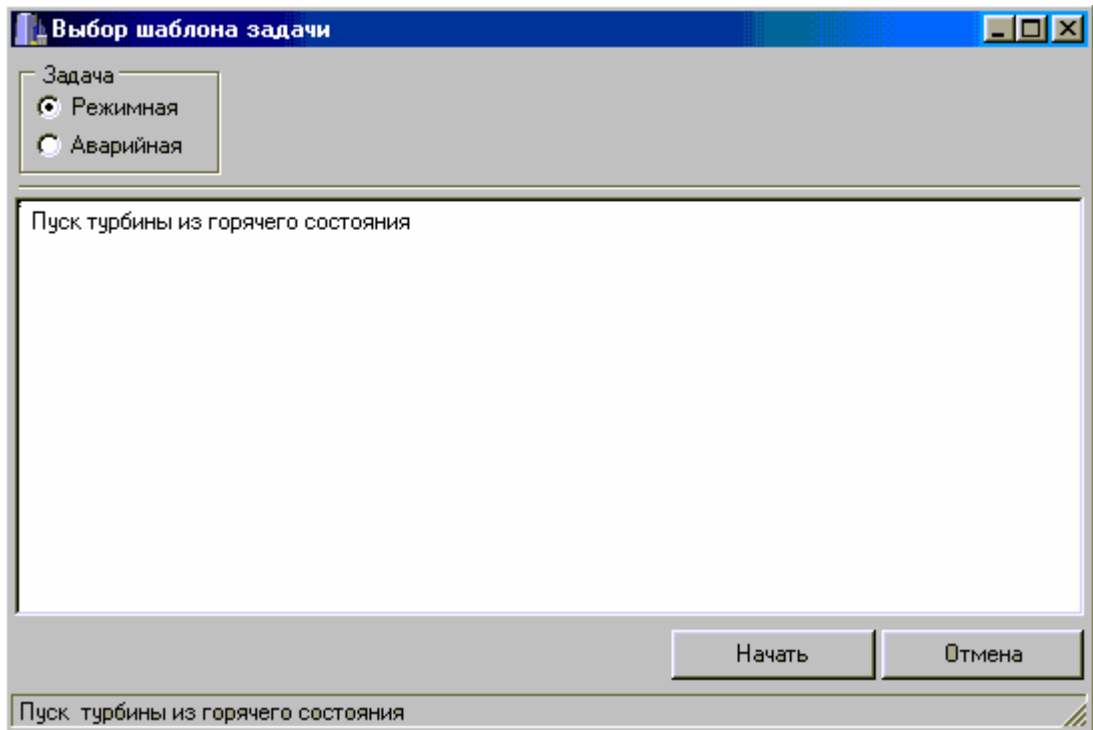


Рис. 19. Окно выбора шаблона оперативной задачи

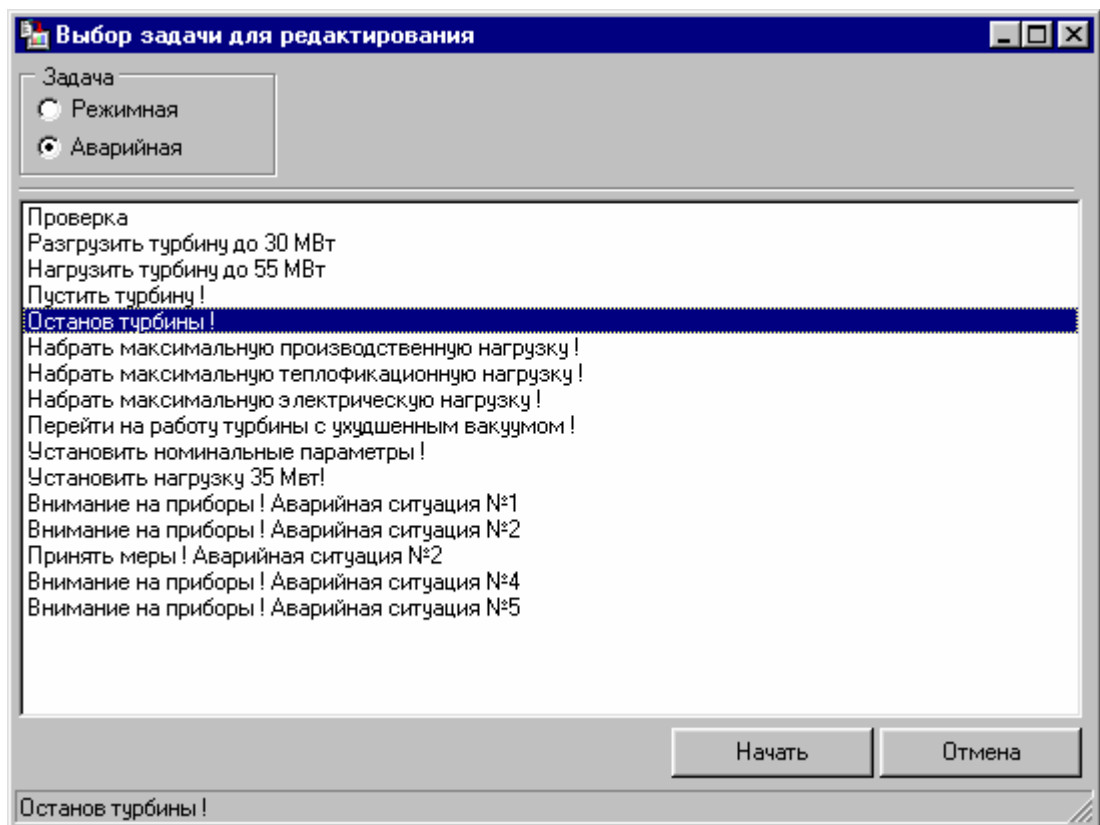


Рис. 20. Окно выбора существующих задач для редактирования

Вид окна редактирования представлен на рис. 21. В этом окне также как и в тренажерном окне имеется возможность изменения настроек интерфейса программы и вывода сигнализационных сообщений. Дополнительно на нижней панели находятся кнопки «Обновить», «Воспроизведение» и «Сохранить как...». Кнопка «Воспроизведение» позволяет в режиме реального времени запустить математическую модель тренажера и увидеть результат изменения исходных данных. Непосредственно сами изменения исходных данных осуществляются посредством оперативных переключений и редактировании их значений в соответствующих окнах на функциональных группах. Результат изменения исходных данных можно проследить, нажав на кнопку «Обновить». Происходит пересчет всех режимных параметров паротурбинной установки с указанием новых значений, что в свою очередь позволяет итеративным подбором сформулировать постановку новой оперативной задачи.

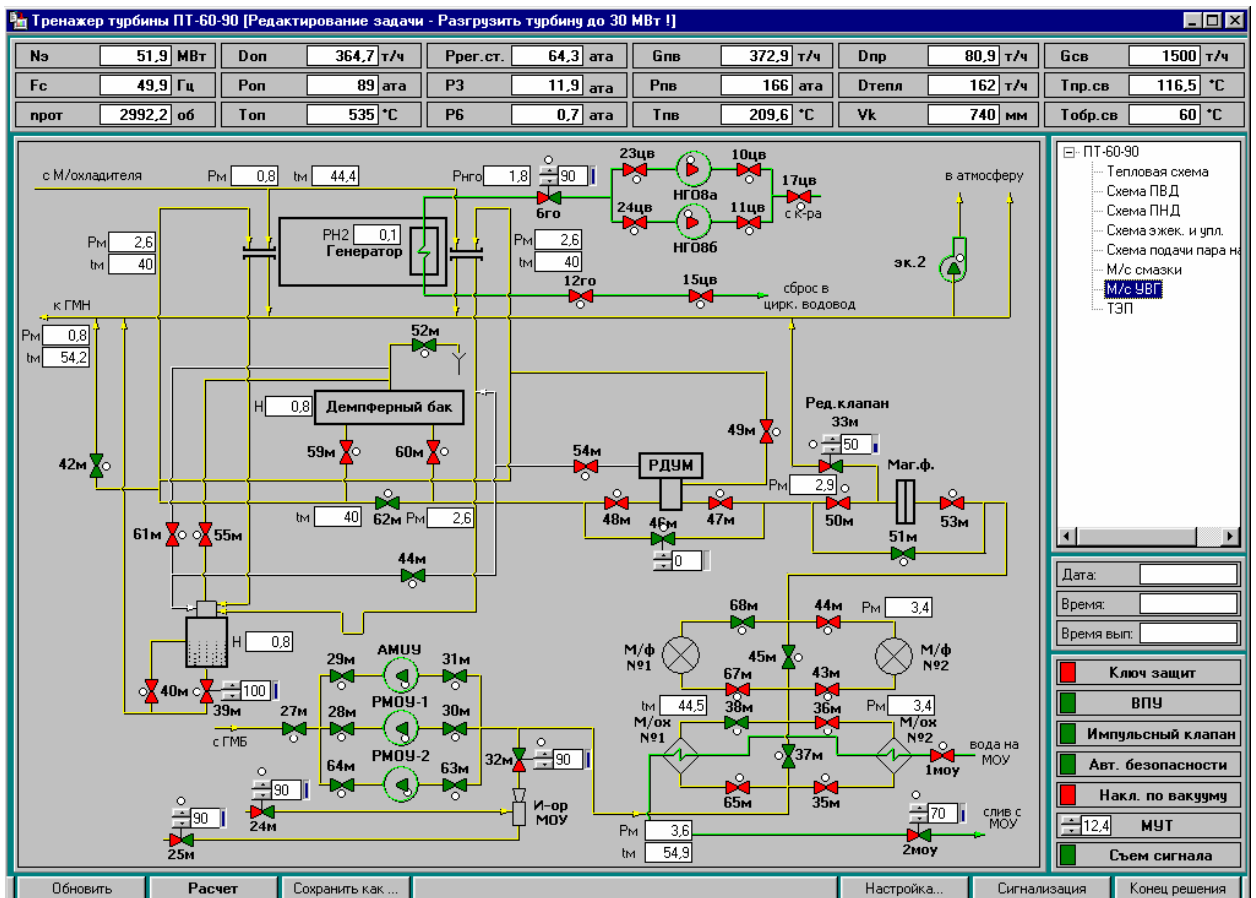


Рис. 21. Вид рабочего окна редактора оперативных задач

Фиксация набора исходных и текущих параметров осуществляется посредством нажатия кнопки «*Сохранить как...*». При этом появляется окно (см. рис. 22), позволяющее сформулировать заголовок файла-задания (\*.zdn) с указанием его основных свойств, в частности: номер и тип (режимная или аварийная) задачи, ее наименование и описание, автора задачи и структурное подразделение. После чего, при нажатии кнопки «*Принять*» появляется стандартное окно (см. рис. 23) сохранения файла в каталог *Zdn* с указанием имени будущего файла.

Нажатием правой кнопки мыши на органах управления в любой функциональной группе можно вызвать меню свойств органа управления и подвергнуть их редактированию (процент открытия, состояние и т.д.).

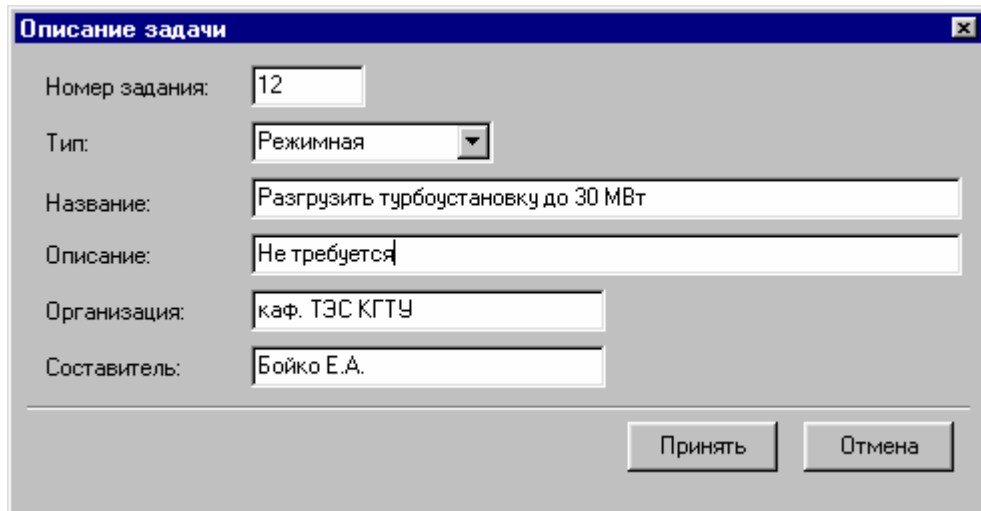


Рис. 22. Вид окна, в котором задается описание задачи

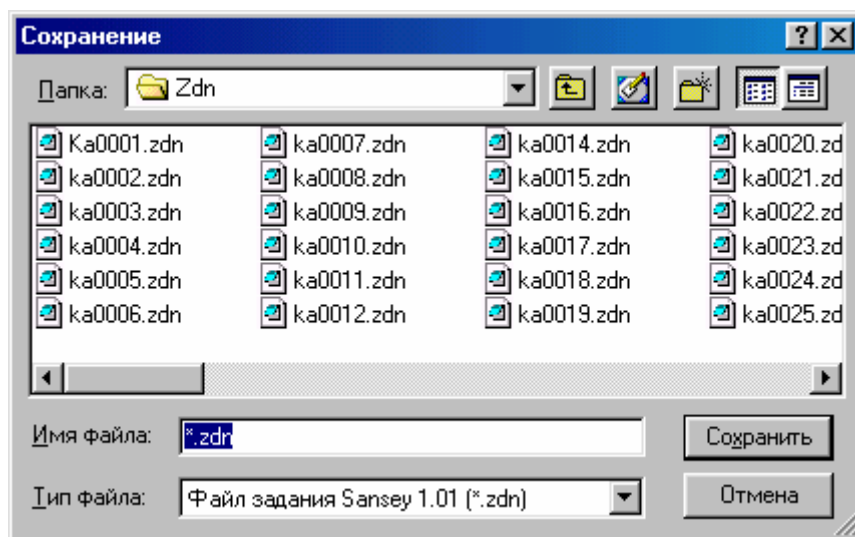


Рис. 23. Окно сохранения файла с исходными данными

## РАЗРАБОТАЛИ:

Наименование организации, предприятия	Должность исполнителя	Фамилия, имя, отчество	Подпись	Дата
Красноярский государственный технический университет (КГТУ)	Научный руководитель, доц. каф. ТЭС, к.т.н.	Бойко Е.А.		
КГТУ	Ответственный исполнитель, инженер-программист	Дидичин Д.Г.		
КГТУ	инженер-программист	Шишмарев П.В.		

## СОГЛАСОВАНО:

Наименование Организации, предприятия	Должность исполнителя	Фамилия, имя, Отчество	Подпись	Дата
Красноярская ТЭЦ-1	Начальник турбинного цеха	Титюшкин В.А.		
Красноярская ТЭЦ-1	Зам. начальника турбинного цеха	Акулич Н.С.		
Красноярская ТЭЦ-1	Начальник ОАСУ	Лаврентьев С.О.		
Красноярская ТЭЦ-1	Ведущий инженер-программист ОАСУ	Кириллова Е.В.		
Красноярская ТЭЦ-1	Мастер производственного обучения	Вольнев В.Н.		