



УДК 004.94 + 510.6 + 62-5

О. В. Дрозд, Д. В. Капулин
*Сибирский федеральный университет,
г. Красноярск, Россия*

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Рассмотрен процесс проектирования системы управления однобарабанным котельным агрегатом ТГМ-96Б с применением SCADA-системы Proficy iFIX. Описаны основные компоненты и принципы работы, представлена структура модели системы управления котельным агрегатом, приведены результаты моделирования. Подробно рассмотрен процесс разработки модели с использованием аппарата нечеткой логики и интеграция с iFIX средствами пакета прикладных программ MATLAB.

Ключевые слова: котельный агрегат, имитационное моделирование, автоматизированная система управления, нечеткая логика.

O. V. Drozd, D. V. Kapulin
Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

MODELING AND ANALYSIS OF AUTOMATED CONTROL AND DISPATCHING SYSTEMS OF TECHNOLOGICAL PROCESSES

The control system designing for drum-boiler unit TGM-96B and its integration in HMI/SCADA Proficy iFIX is considered. The basic components and principles of operation are described, the structure of the control scheme of boiler units are shown, the results of the simulation are also presented. The development process of a fuzzy logic model and its integration in HMI/SCADA iFIX by used MATLAB instruments is considered in detail.

Key words: boiler unit, simulation, automated control system, fuzzy logic.

При проектировании автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП) на этапе тестирования необходимо провести ряд испытаний, направленных на отработку аварийных ситуаций, которые зачастую по требованиям безопасности невозможно смоделировать на реальном объекте. Для решения таких задач целесообразно разработать имитатор автоматизированного рабочего места (АРМ) оператора, который по своим параметрам будет приближен к реальной АСУТП.

В настоящее время известно значительное количество технологических процессов, получение точных и однозначных формулировок законов управления для которых представляет трудноразрешимую проблему [1; 2]. При проектировании систем управления таких процессов незаменимым инструментом является аппарат нечеткой логики [2]. Для изучения свойств системы управления на основе нечеткой логики рекомендуется построение ее имитационной модели с использованием тех или иных программных средств.

В качестве программной системы, позволяющей создавать сложные имитационные модели объектов автоматизации, выбран пакет прикладных программ *MATLAB*, включающий развитый инструмент визуального моделирования *Simulink*, а также приложение для практического использования аппарата нечеткой логики *Fuzzy Logic Toolbox* [3].

Таким образом, задача состоит в том, чтобы разработать имитационную модель АСУТП с использованием аппарата нечеткой логики, поведение которой будет близко к поведению реальной системы. Следует отметить наличие различных подходов для решения подобных задач [4; 5]. Предлагаемый способ состоит в разработке модели системы управления средствами *MATLAB* и входящих в него подсистем *Simulink* и *Fuzzy Logic Toolbox*. Для организации диспетчеризации технологического процесса и разработки автоматизированного рабочего места оператора необходимо обеспечить связь разрабатываемой модели и *SCADA*-системы с помощью протокола *OPC*.

Прикладные среды разработки предусматривают моделирование любого технического объекта, поведение которого можно описать посредством аппарата теории автоматического управления. В рассматриваемом случае в качестве объекта управления выбран котельный агрегат ТГМ-96Б – вертикально-водотрубный, однобарабанный, радиационного типа с естественной циркуляцией, П-образной компоновки [6]. Перечень измеряемых и контролируемых параметров составлен в соответствии с методическими указаниями по объемам технологических измерений ОАО «ФСК ЕЭС» [7]. Значения контролируемых параметров котельного агрегата взяты из [8; 9].

Основные требования, предъявляемые к модели объекта управления:

- 1) значительное количество входных и выходных параметров, необходимое для реализации АРМ оператора достаточной степени сложности;
- 2) доступность структуры модели для ее изучения и модификации;
- 3) простота и очевидность структуры и функционирования модели для операторов, не являющихся специалистами в области теплотехники;
- 4) простота разработки и реализации при сохранении большого числа входных и выходных воздействий.

Приоритетным является первое требование, так как основной задачей выступает создание автоматизированного рабочего места, уровень сложности которого будет достаточно высок для подготовки операторов котельных агрегатов.

Математическая модель барабанного котельного агрегата [10] описывает котел при докритических параметрах пара. Методика получения основана на линейном приближении и позволяет получить математическую модель котла, хорошо приближающуюся к реальному объекту. Модель дает возможность получать значения таких параметров, как расход питательной воды; количество пара в единицу времени; расход воды, пара, пароводяной смеси на различных участках циркуляционного контура котла; давление в различных участках пароводяного тракта. Модель включает в себя 27 передаточных функций для циркуляционного контура, пять передаточных функций, определяющих движение среды в циркуляционном контуре котла.

Несмотря на то, что представленная выше модель хорошо приближена к реальному объекту, она не удовлетворяет поставленным требованиям (прежде всего, пунктам 2–4).

При создании имитационной модели для ускорения процесса проектирования и моделирования зависимости между входными и выходными параметрами были приняты линейными. В дальнейшем возможна доработка модели посредством снятия заложенных в нее ограничений и раскрытия упрощений.

Общая структура имитационной модели представлена на рис. 1. Модель котлоагрегата состоит из подсистем:

- *Fuel* (параметры подачи топлива);
- *Feedwater giving* (параметры подачи питательной воды);
- *Air supply in a copper* (параметры подачи воздуха в котел);
- *Purge and condensate expense* (расход воды на непрерывную продувку и расход собственного конденсата);
- *Path of combustion gases* (параметры тракта дымовых газов);
- *Temperature of surfaces of a copper + condensate* (температура поверхностей котла, температура собственного конденсата);
- *Water + steam* (параметры воды, пароводяной смеси, насыщенного и перегретого пара).

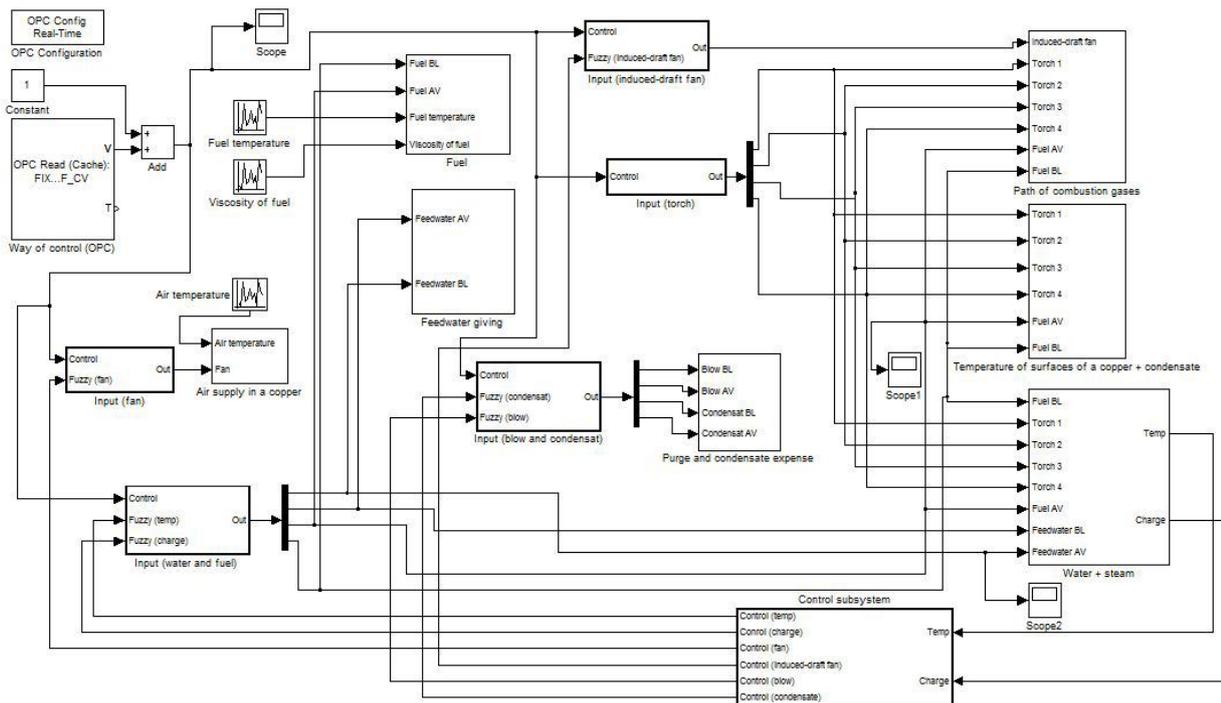


Рис. 1. Общий вид имитационной модели котельного агрегата ТГМ-96Б в среде *Simulink*

По своей структуре все подсистемы модели однотипные, рассмотрим одну из них – подсистему «*Purge and condensate expense*» (рис. 2). Элемент *Gain* (усилитель) задает коэффициент k зависимости выходных величин от входных. В данном случае – зависимость расхода воды на непрерывную продувку (0–55 т/ч) от степени открытия регулировочного клапана на линии непрерывной продувки (0–100 условных единиц) и зависимость расхода собственного конденсата на впрыски (0–55 т/ч) от степени открытия

регулирующего клапана на линии впрыска собственного конденсата (0–100 условных единиц). Элемент *Transfer FCN* (блок передаточной функции) предназначен для имитации переходных процессов при изменении входных величин. Цепочка блоков *Logical Operator – Product* позволяет реализовать выдачу выходных параметров только при открытой встроенной задвижке в соответствующем тракте.

Формула расчета коэффициентов зависимости выходных величин от входных вели-

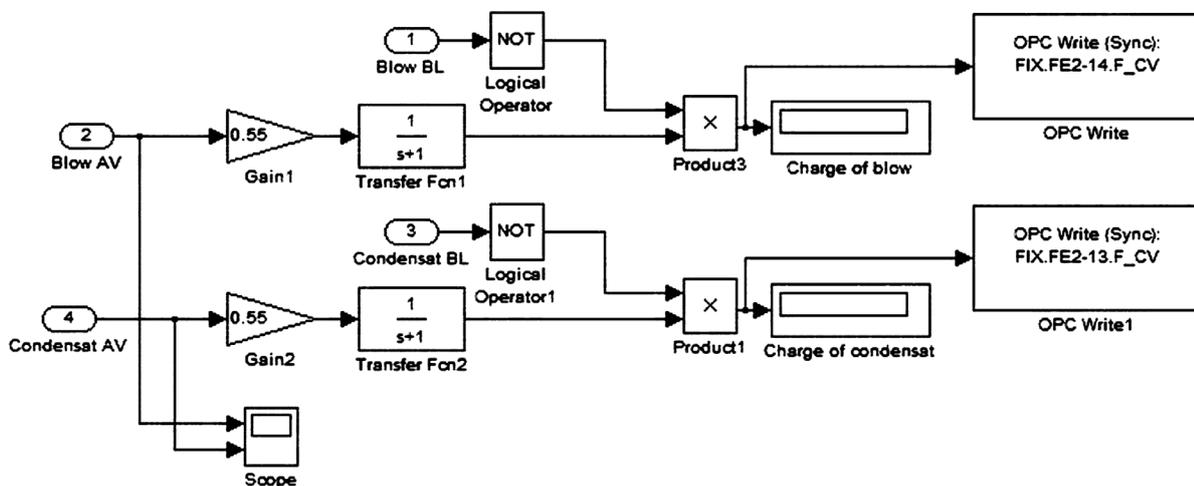


Рис. 2. Структура подсистемы «*Purge and condensate expense*»

чин приведена ниже (пример для подсистемы «Purge and condensate expense»).

Расход на непрерывную продувку:

$$k_1 = \frac{-(y_1 - y_2) - (x_1 y_2 - x_2 y_1)}{x_2 - x_1} = \frac{-(0 - 55) - (0 \cdot 55 - 100 \cdot 0)}{100 - 0} = \frac{55}{100} = 0,55. \quad (1)$$

Расход на собственный конденсат:

$$k_2 = \frac{-(y_1 - y_2) - (x_1 y_2 - x_2 y_1)}{x_2 - x_1} = \frac{-(0 - 55) - (0 \cdot 55 - 100 \cdot 0)}{100 - 0} = \frac{55}{100} = 0,55. \quad (2)$$

В формулах 1, 2 приняты следующие обозначения:

x_1, x_2 – соответственно минимальное и максимальное значения степени открытия управляющего органа (задвижки или клапана);

y_1, y_2 – соответственно минимальное и максимальное значения параметра, для вычисления которого ведется определение коэффициента.

Роль системы управления выполняет подсистема «Control subsystem». Структура модели системы управления представлена на рис. 3.

Библиотека *Fuzzy Logic Toolbox* содержит блок *fuzzy*-регулятора. Сформируем модель одноконтурной системы автоматического регулирования с использованием данного блока. Входным сигналом будет разность между текущим значением давления перегретого пара и значением, установленным оператором. Выходной сигнал будет являться управляющим воздействием на регулирующий клапан подачи питательной воды (РПК).

В *Fuzzy Logic Toolbox* можно строить нечеткие системы двух типов – Мамдани и Сугэно. Остановимся на системе типа Мамдани. Лингвистические правила для данной системы управления приведены в табл. 1. В таблице использованы общепринятые сокращения для значений основных термов лингвистических переменных в системах нечеткого вывода [3]. По своей структуре и параметрам обе системы нечеткого вывода (контроль по расходу перегретого пара и контроль по температуре перегретого пара) идентичны.

Таблица 1

Лингвистические правила системы управления

Входной сигнал	Выходной сигнал
<i>NB</i>	<i>PB</i>
<i>NM</i>	<i>PB</i>
<i>NS</i>	<i>PS</i>
<i>ZN</i>	<i>ZP</i>
<i>Z</i>	<i>Z</i>
<i>ZP</i>	<i>Z</i>
<i>PS</i>	<i>Z</i>
<i>PM</i>	<i>Z</i>
<i>PB</i>	<i>Z</i>

Термы входной переменной (9 термов типа *gaussmf* – симметричная гауссовская функция принадлежности) представлены на рис. 4, термы выходной переменной (5 термов типа *trimf* – треугольная функция принадлежности) – на рис. 5.

Список правил, сформированный на основе табл. 1 в редакторе правил (*Rule Editor*) пакета *Fuzzy Logic Toolbox*, приведен на рис. 6.

Для обеспечения работы *Simulink* с *OPC*-сервером *SCADA*-системы в модель добавлены объекты *OPC Configuration*, *OPC Read* и *OPC Write*. Эти объекты находятся в разделе

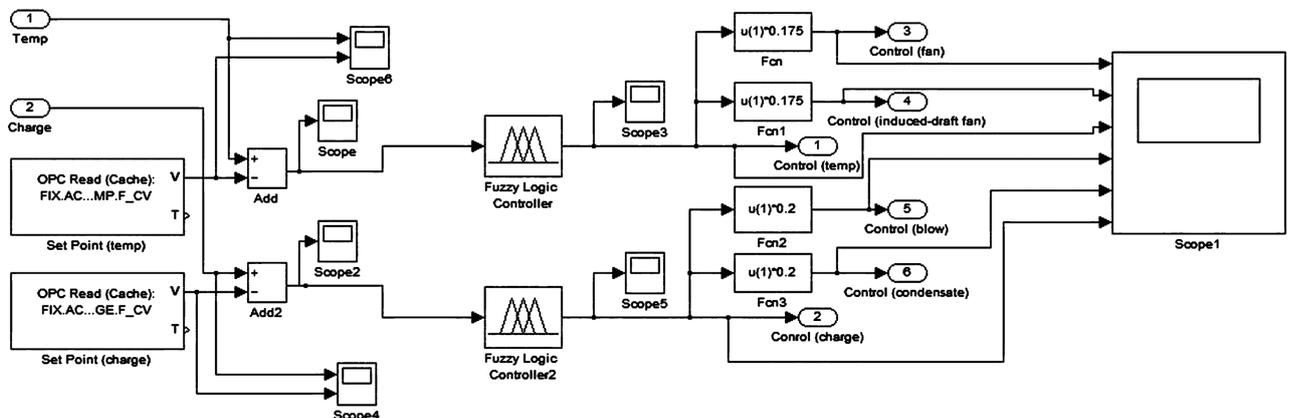


Рис. 3. Структура имитационной модели системы управления котельным агрегатом ТГМ-96Б в среде *Simulink*

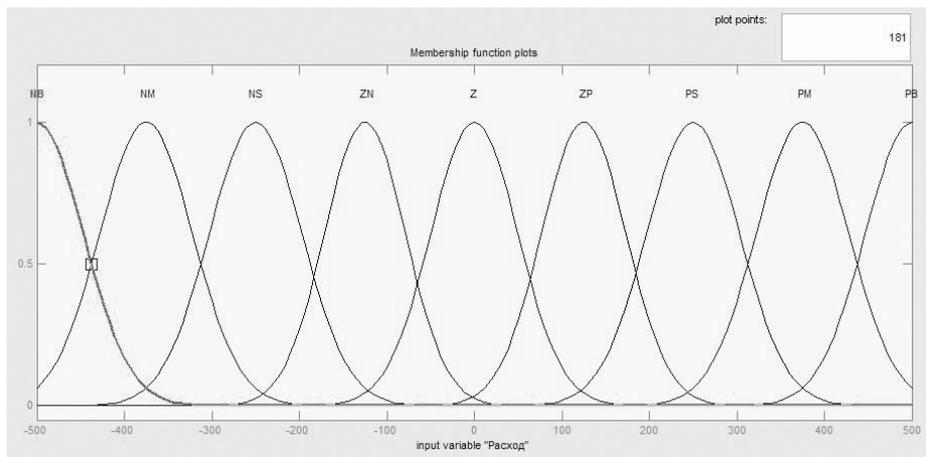


Рис. 4. Термы входной переменной системы управления

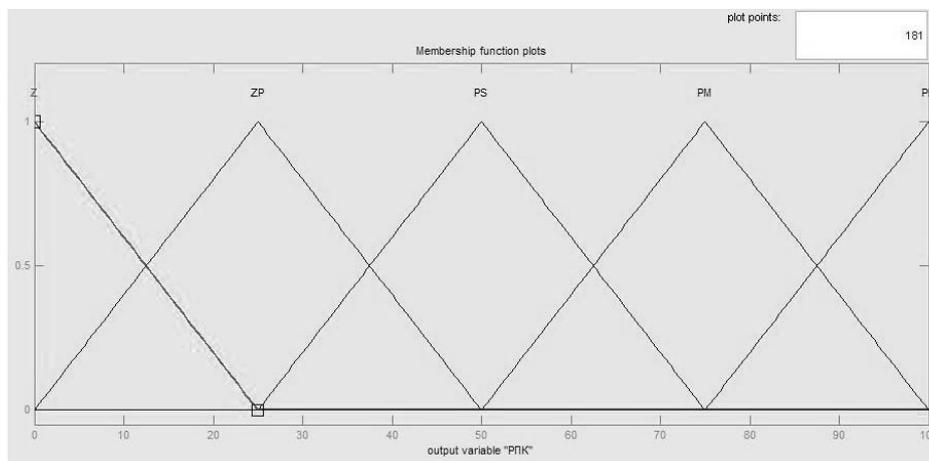


Рис. 5. Термы выходной переменной системы управления

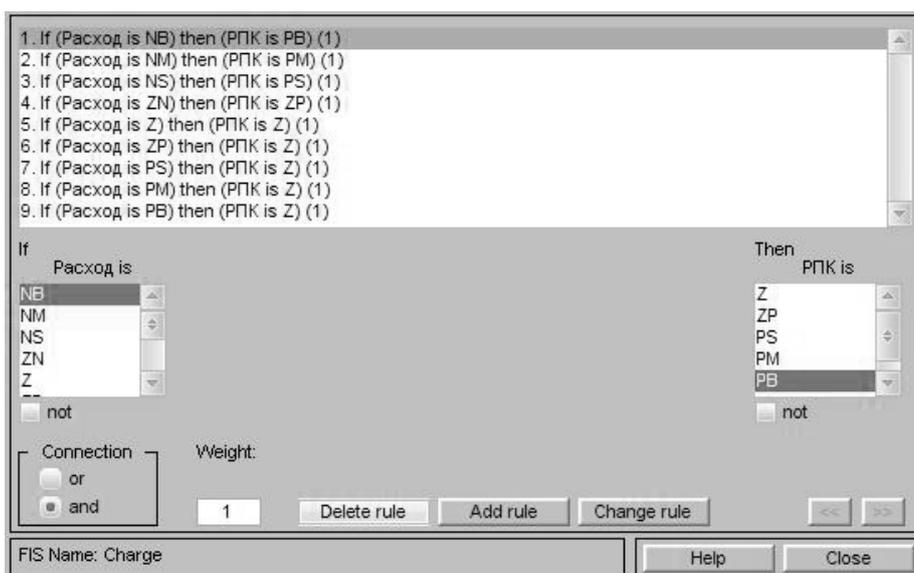


Рис. 6. Лингвистические правила системы управления в редакторе правил (Rule Editor) пакета Fuzzy Logic Toolbox

OPC Toolbox среды Simulink и служат для конфигурирования связи с OPC-сервером, чтения и записи данных соответственно.

Система диспетчеризации технологического процесса разработана с использованием SCADA-системы iFIX. На рис. 7 представлен интерфейс автоматизированного рабочего места оператора, при этом были заданы через некоторые интервалы времени значения расхода перегретого пара: 250 т/ч, 130 т/ч.

Итак, в статье рассмотрен процесс создания имитационной модели системы управления однобарабанным энергетическим котельным агрегатом ТГМ-96Б с использованием аппарата нечеткой логики. Модель котельного агрегата реализована в MATLAB R2010a, средства диспетчеризации и мониторинга технологических процессов – в SCADA-системе Proficy iFIX 5.1. Связь модели и SCADA-системы осуществлена с использованием OPC-технологии. Разработанный комплекс может быть использован в качестве обучающего примера построения имитационных моделей сложных объектов, интерфейса автоматизированных рабочих мест оператора, обеспечения связи между отдельными компонентами системы управления при изучении свойств систем управления, основанных на аппарате нечеткой логики. Подобные программ-

ные комплексы также позволяют осуществлять подготовку операторского персонала в условиях, максимально приближенных к реальным. Такой подход обеспечивает значительное снижение количества аварийных ситуаций, а в случае их возникновения – минимизирует экономические и техногенные последствия таких ситуаций.

Библиографические ссылки

1. Побединский В. В., Берстнев А. В., Шуняев С. Н. Моделирование рабочих процессов роторного окорочного станка в среде MATLAB. URL: http://symposium.forest.ru/article/2006/3_equipment/berstnev_03.htm (дата обращения: 13.02.2013).
2. Штовба С. Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB. М. : Горячая линия-Телеком, 2007. 288 с.
3. Леоненков А. В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. СПб. : БХВ-Петербург, 2005. 736 с.
4. Макаренко В. М., Азябин С. В., Goverдовский А. Д. Современные нейроконтроллеры: обзор решений и анализ возможностей для применения в интеллектуальных системах // Молодежный научно-технический вестник. 2012. № 10. URL: <http://sntbul.bmstu.ru/doc/482380.html> (дата обращения 14.02.2013).
5. Клепиков В. Б., Сергеев С. А., Махотило К. В., Обруч И. В. Применение методов нейронных сетей и генетических алгоритмов в решении задач управ-

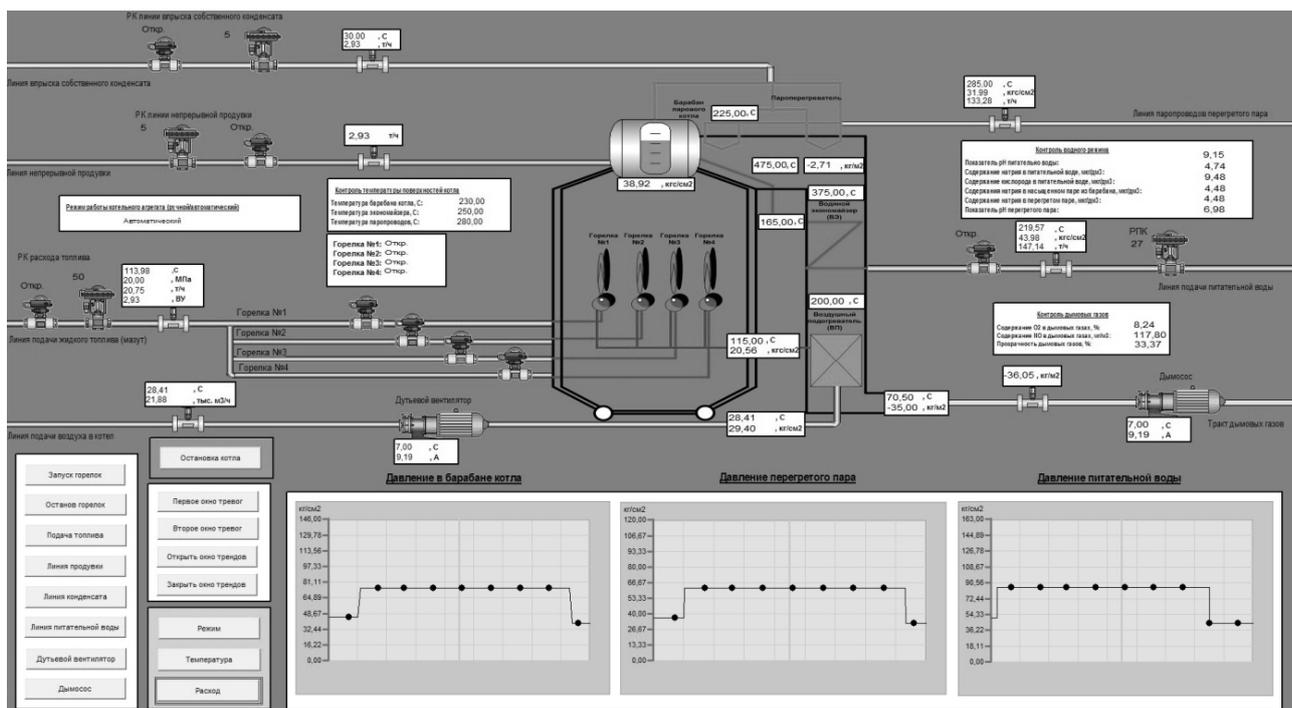


Рис. 7. Интерфейс рабочего места оператора

- ления электроприводами // Электротехника. 1999. № 5. С. 2–6.
6. Бойко Е. А., Охорзина Т. И. Котельные установки и парогенераторы : справ. пособие. Красноярск : КГТУ, 2003. 223 с.
7. СО 34.35.101-2003. Методические указания по объему технологических измерений, сигнализации, автоматического регулирования на тепловых электростанциях. Взамен РД 34.35.101-88 ; дата введ. 01.09.2004. М. : СПО ОРГРЭС, 2004.
8. Волошенко А. В., Медведев В. В., Озерова И. П. Принципиальные схемы паровых котлов и топливо-
подач : учеб. пособие. Томск : Изд-во Том. политехн. ун-та, 2011. 100 с.
9. РД 34.26.706. Типовая энергетическая характеристика котла ТГМ-96Б при сжигании мазута. М., СОЮЗТЕХЭНЕРГО, 1981.
10. Рушинский В. М. Математическая модель барабанного котлоагрегата // Труды Центрального научно-исследовательского института комплексной автоматизации. Вып. 16. М. : Энергия, 1967. С. 32–64.

*Статья поступила в редакцию
29.05.2013 г.*