

## ТЕХНИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ЗАДАЧИ ПОДДЕРЖАНИЯ СООТВЕТСТВИЯ ВЫРАБАТЫВАЕМОЙ И ПОТРЕБЛЯЕМОЙ ЭНЕРГИИ НА ТЭЦ<sup>1</sup>

*В работе рассматривается задача модернизации автоматического управления процессами горения и парообразования. Выбранный подход к технической реализации обеспечивает экономически выгодное решение.*

*Ключевые слова: автоматизация, горение, парообразование, датчик, механизм, электрическая схема, экономический расчет.*

## TECHNICAL IMPLEMENTATION OF THE TASK OF MAINTAINING CONFORMITY GENERATED AND CONSUMED ENERGY TO THE THERMAL POWER STATION

*The article considers the modernization of automatic control of combustion and steam generation. Selected approach for the technical realization offers a cost-effective solution.*

*Key words: automation, burning, steam generation, sensor, mechanism, electrical scheme, economic calculation.*

### Введение

Уровень автоматизации технологических процессов на теплоэлектростанциях – основной фактор, обеспечивающий надежность и эффективность производства тепловой и электрической энергии [1]. Это обусловило постоянный поиск и внедрение новых методов совершенствования систем управления технологическими процессами на основе достижений науки и практики по использованию технических средств автоматического управления.

Важно отметить, что значительная часть аппаратуры на теплоэлектростанциях морально и физически устарела. Износ влияет на производительность как котлоагрегата, так и другого оборудования, установленного на ТЭЦ, а это, в свою очередь, приводит к снижению общей производительности (коэффициента полезного действия) станции в целом.

Проблемы износа технологического оборудования уже давно решаются с помощью обновления парка устаревших контрольно-измерительных и управляющих средств на основе использования относительно недорогих, но обладающих существенными преимуществами современных аналогов. Данные подходы экономически оправданы и по объему затрат на внедрение, и по показателям эффективности (экономии энергоресурсов), снижению аварийности, обеспечению возможности применения современных подходов к управлению [2].

### Постановка задачи автоматизации

Цель автоматизации – модернизация систем автоматического регулирования процессов горения и парообразования котлоагрегата БКЗ-420-140-7, установленного на Благовещенской ТЭЦ (далее – БТЭЦ).

---

<sup>1</sup> Работа выполнена в рамках государственного задания высшим учебным заведениям «Управление и автоматизация сложных систем в условиях неопределенности».

Основные задачи модернизации: повышение надежности и эффективности работающих систем регулирования; минимальная стоимость внедрения; возможность дальнейшего совершенствования систем управления за счет современных подходов к управлению.

Таким образом, в работе первоначально обсуждается концепция технической организации систем управления, далее в рамках выбранной концепции производится выбор технических средств автоматизации, проектирование принципиальной электрической схемы и расчет затрат на реализацию проекта. Проект создается с учетом требований того, что такие технические решения должны быть в будущем использованы в качестве базы для реализации адаптивного, робастного или нейронечеткого управления, в том числе и в области создания управляющих программ.

### Предварительный анализ и подходы к организации системы

С точки зрения иерархии и организации связей, между элементами существует несколько видов управления: централизованное, распределенное и иерархическое. Детальный анализ преимуществ и недостатков этих подходов к организации работы систем управления котлоагрегатом представлен в работе [3]. Здесь же в отличие от реализованной в [3] концепции рассмотрим альтернативное решение, которое также имеет право на существование.

При проектировании распределенной системы с цифровой обработкой данных могут возникнуть следующие проблемы: дороговизна цифрового кабеля, высокая стоимость устройств, поддерживающих цифровую передачу данных, и несовместимость цифровых протоколов передачи [4]. При проектировании сосредоточенной системы этих проблем нет. Принимая во внимание сказанное выше и то, что в настоящее время на БТЭЦ принята концепция централизованно-сосредоточенного управления, очевидно, что централизованный подход имеет право на существование и в некоторых случаях будет более экономичен. Этот выбор позволяет оставить схему кабельных трасс в цехе такими, какие они есть, кроме того, не требуется дополнительного оборудования для организации интерфейса и его преобразования.

Заметим еще одну особенность, выявленную после детального рассмотрения предложенного в [3] решения. Проектное обследование котлоагрегата показало, что в его конструкции датчики и исполнительные механизмы, относящиеся к одной системе, «разбросаны» по разным частям (см. рис.1 и рис. 2).

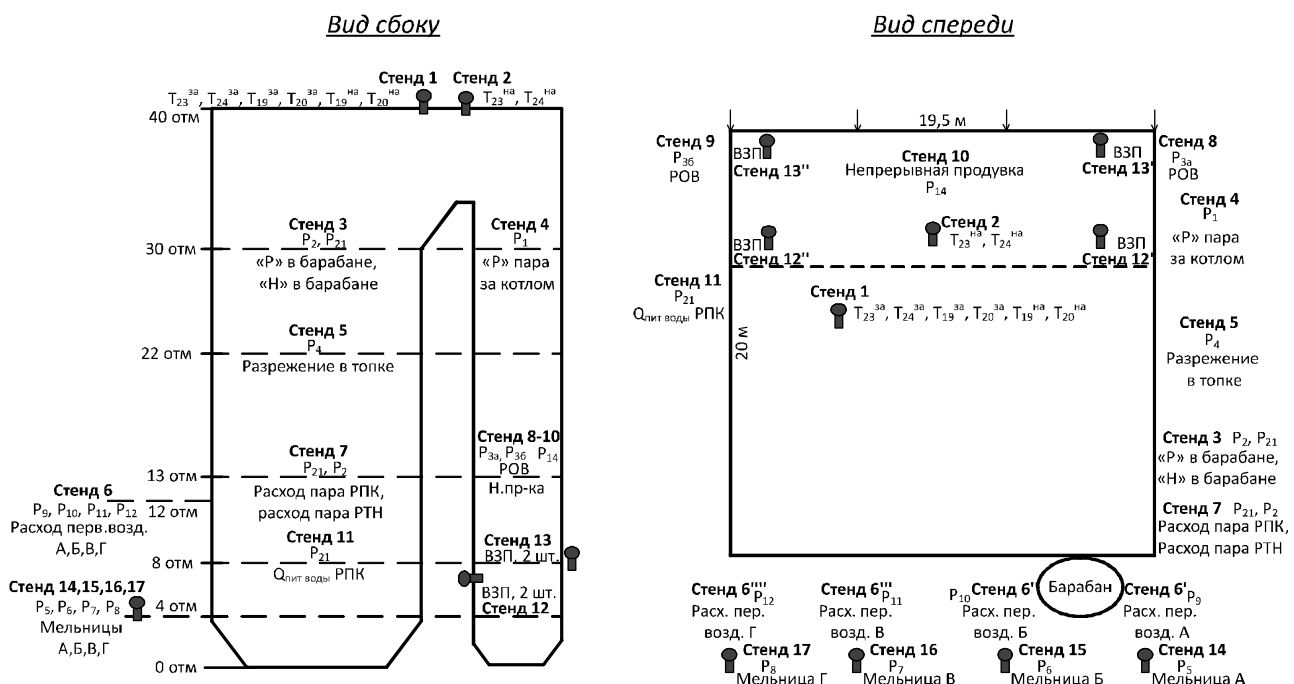


Рис. 1. Схема расположения датчиков по отметкам на котле БКЗ-420-140-7 (БТЭЦ).

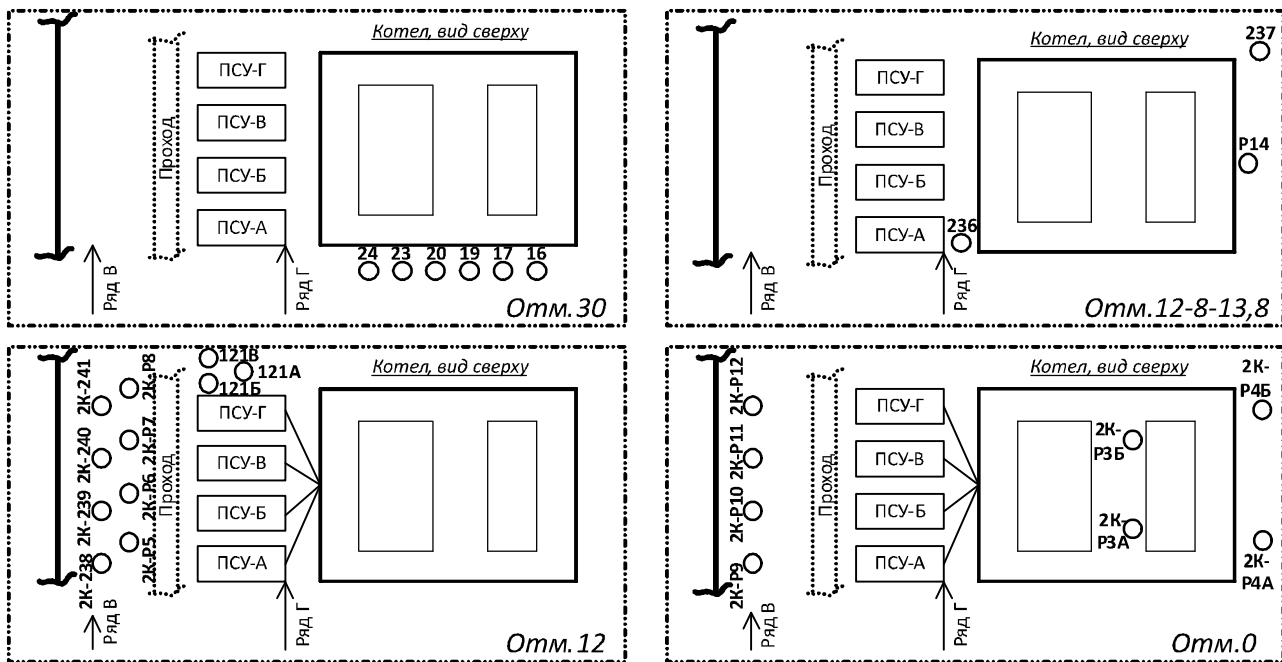


Рис.2. Схема расположения исполнительных механизмов по отметкам на котле БКЗ-420-140-7 (БТЭЦ).

На рис. 1 и 2 под отметками понимают уровни установок стендов с измерительными элементами; отметки привязаны к определенной высоте в метрах от основания. При проектировании распределенной системы, когда необходимо создать локальные системы, такое расположение элементов системы осложняет задачу. При создании сосредоточенного управления расположение датчиков и механизмов не имеет большого значения.

В целом на БТЭЦ выделяют группу систем регулирования параметров паровых котлов, автоматических систем защиты, систем регулирования выбросов вредных веществ и систем регулирования вспомогательных процессов и установок. Самая многочисленная и ответственная группа – автоматизированные системы регулирования технологических процессов котлоагрегата [5, 6]. Эти локальные системы выполняют одну главную задачу ТЭЦ – поддержание непрерывного соответствия между количеством вырабатываемой и потребляемой энергии. Среди всех локальных систем можно выделить главный регулятор, регулятор тепловой нагрузки и регулятор загрузки мельницы, так как стабильность и правильность функционирования этих систем является главной задачей котла в целом. Эти системы называют еще системами автоматического регулирования (далее САР) давления перегретого пара в магистрали, САР тепловой нагрузки котла и САР загрузки мельниц. Их модернизации и посвящена настоящая работа.

### Технологические участки, подлежащие автоматизации

САР давления пара в магистрали. Регулирование давления пара осуществляется с помощью главного регулятора. Главный регулятор, контролируя давления пара в паровой магистрали, выдает сигнал регуляторам тепловой нагрузки котлов, а те в свою очередь формируют сигналы, поступающие на регуляторы загрузки мельниц, управляющие подачей угля в мельницы [7].

Существующие способы и схемы автоматического управления основаны на принципах регулирования по отклонению и возмущению или же комбинации того и другого метода и определяются: заданным режимом работы котла и схемой подсоединения паропровода перегретого пара к потребителю.

БТЭЦ имеет неблочную структуру, и на станции для регулирования тепловой нагрузки и давления пара применяется схема с общим паропроводом. Принципиальная схема регулирования для данного случая, модернизированная относительно представленной в [5, 6], показана на рис. 3.

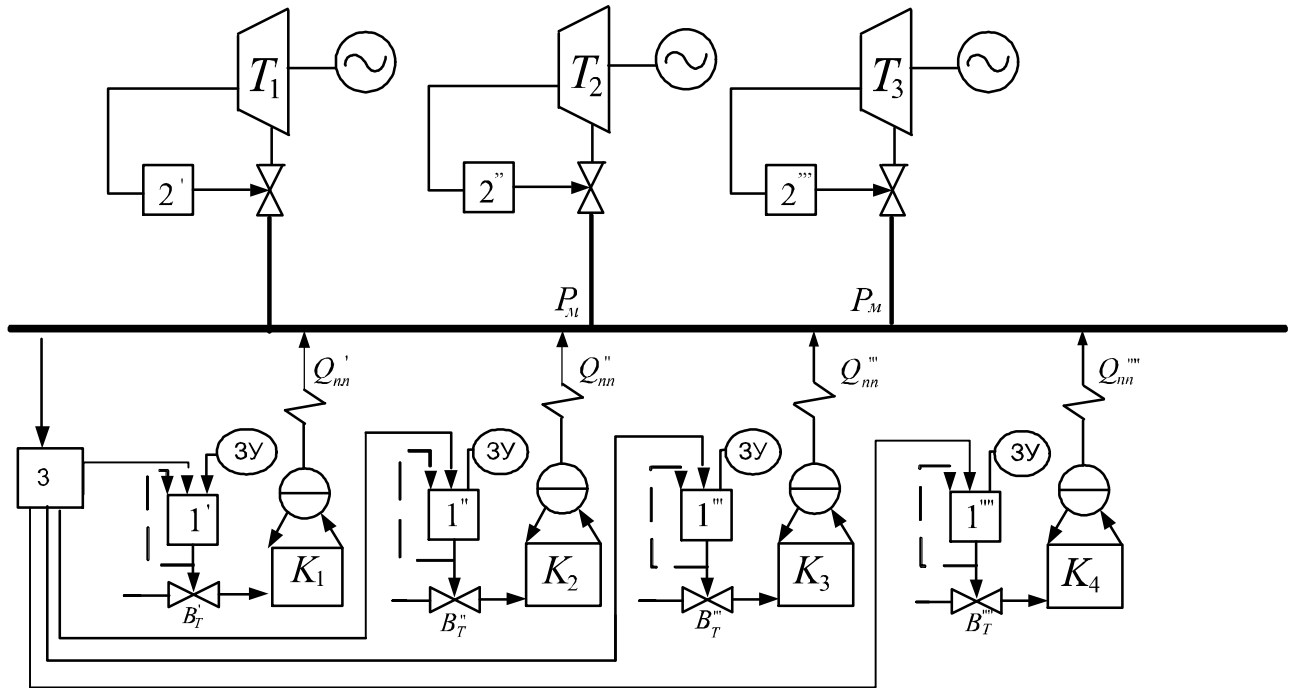


Рис. 3. Принципиальная схема регулирования давления пара в общем паропроводе с главным регулятором для БТЭЦ:

1', 1'', 1''', 1'''' – регуляторы подачи топлива; 2', 2'', 2''', 2'''' – регуляторы частоты вращения турбин; 3 – главный регулятор;  $Q_n', Q_n'', Q_n''', Q_n''''$  – расход перегретого пара;  $B_T', B_T'', B_T''', B_T''''$  – расход топлива;  $K_1, K_2, K_3, K_4$  – котлы;  $T_1, T_2, T_3$  – турбины;  $P_M$  – давление в магистрали; ЗУ – задающее устройство.

Заметим, что на БТЭЦ реализована схема, где главный регулятор функционирует только для одного котла, находящегося в регулирующем режиме (любого из четырех), все другие работающие агрегаты находятся в базовом режиме, для них сигнал тепловой нагрузки формируется соответствующими локальными САР (см. ниже).

САР тепловой нагрузки. Регулирование паропроизводительности котельного агрегата в соответствии с потребляемой нагрузкой производится путем воздействия на подачу в топку топлива и воздуха, необходимого для горения.

На БТЭЦ для регулирования параметров котлоагрегата применяется регулятор тепловой нагрузки [8]. Упрощенная система регулирования тепловой нагрузки представлена на рис. 4, где пунктиром показан сигнал, формирующийся от главного регулятора и имеющий место, если данный котел находится в регулирующем режиме; во всех других случаях этого сигнала нет.

САР загрузки мельниц. Схема регулирования загрузки мельниц (относящаяся к системе пылеприготовления – СПП) может быть показана с помощью обобщенной схемы регулирования [5] на рис. 5. Здесь КР является ранее рассмотренным главным регулятором, а РС – соответственно регулятором тепловой нагрузки. Перечеркивание линий, идущих от КР к другим котлоагрегатам, отражает оговоренную выше особенность функционирования главного регулятора – работа только на одном (любом из четырех) котле. В такой схеме необходимо обеспечить устойчивую работу автоматических регуляторов загрузки мельниц – РЗМ (отсутствие автоколебаний) и ограничивать частоту их включения; устойчивую работу автоматических регуляторов первичного воздуха; поддержание в регулирующем режиме работу котла давления пара перед турбиной или в главной паровой магистрали; под-

держанию в базовом режиме работы котла расхода пара с него, с отклонением не более  $\pm 3\%$  заданного [7, 8].

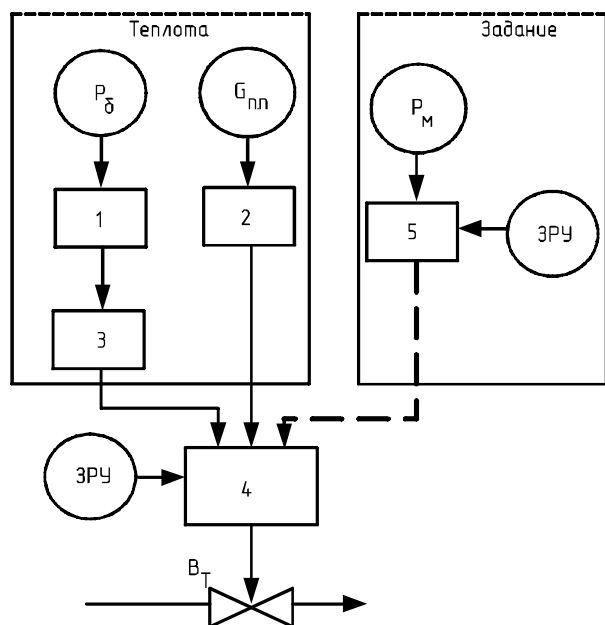


Рис. 4. САР тепловой нагрузки:

1 – датчик давления пара; 2 – датчик расхода пара; 3 – дифференциатор; 4 – регулятор тепловой нагрузки; 5 – главный регулятор.

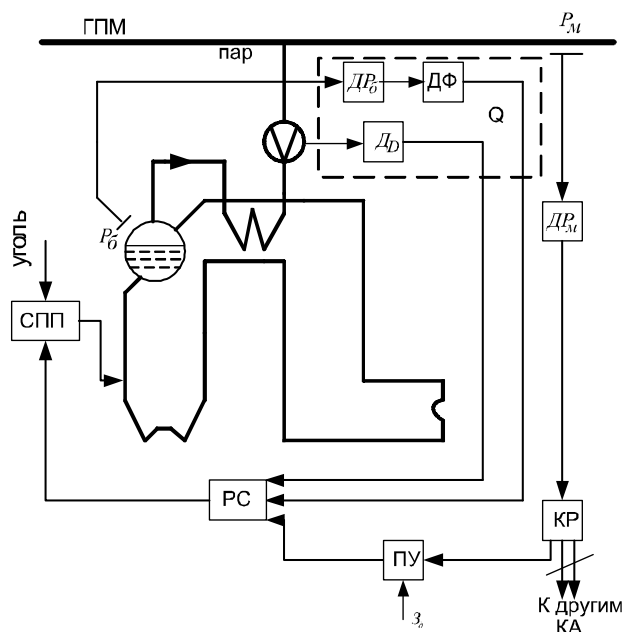


Рис. 5. Обобщенная схема:

$ДР_м$  – датчик давления в главной паровой магистрали (ГПМ);  $ДФ$  – дифференциатор;  $Д_р$  – датчик давления по расходу пара;  $ДР_б$  – датчик давления пара в барабане ( $P_б$ ); СПП – система пылеприготовления; РС – регулятор стабилизирующий; ПУ – переключатель управления;  $Z_3$  – сигнал задания; КР – корректирующий регулятор; КА – котлоагрегат.

Рассмотренные системы взаимосвязаны. Выходной сигнал с главного регулятора (ГР) является входным сигналом для регулятора тепловой нагрузки (РТН), а выходной сигнал с РТН, в свою очередь, – входным для регулятора загрузки мельницы (РЗМ).

### Выбор технических средств автоматизации

Основными критериями выбора технических средств автоматизации при модернизации системы послужили их соответствие условиям эксплуатации, высокая надежность и малая стоимость.

САР давления пара в магистрали. Для измерения давления перегретого пара в магистрали необходимо использовать датчик избыточного давления, диапазон измерений которого равен 16-100 МПа, допустимое рабочее давление 25 МПа. При выборе оборудования следует придерживаться нескольких требований: соответствие оборудования (датчика) необходимым техническим характеристикам, минимальная допустимая погрешность измерений оборудования (датчика), высокий класс защиты по климатическому исполнению, приемлемая стоимость. Для выбора качественного и недорогого оборудования были рассмотрены продукты различных фирм-производителей как отечественных, так и иностранных, сравнительный анализ которых представлен в табл. 1.

Таблица 1

### Сравнительные характеристики датчиков давления пара

Наименование параметра / Тип датчика	Метран-150TG5	Корунд-ДИ-001 модели 123	Siemens серии DSIII Sitrans
Диапазон измерений, МПа	0-60МПа	25-60МПа	1.6-16Мпа
Предельное давление, МПа	40МПа	25МПа	25Мпа
Стоимость, рубли (без НДС)	26 082,50	5 235,00	43 017,026

САР тепловой нагрузки. Здесь в наличии два датчика – расхода перегретого пара в магистрали и давления пара в барабане. Датчик расхода предназначен для измерения разности давлений, верхний предел измерений 40-250 кПа, предельно допустимое рабочее давление 25 МПа. В качестве датчика расхода может быть использован один из датчиков, представленных в табл. 2.

Таблица 2

**Сравнительные характеристики датчиков расхода**

Наименование параметра / Тип датчика	Yokogawa EE- JA110A-H	АИР-30 CD9	Метран-150 CD3
Диапазон измерений, кПа	0-250 кПа	0-250 кПа	0-250 кПа
Допустимое рабочее давление, МПа	25 МПа	25 МПа	25 МПа
Цена, рубли (без НДС)	21000,00	25938,00	29780,00

Как показывает практика применения датчиков АИР-30 на БТЭЦ, их использование нецелесообразно по причине их малой надежности и большого количества отказов. Датчик разности давления Yokogawa EEJA110A-H, как и датчик Корунд-ДИ, не имеет ЖКИ, поэтому делаем выбор в пользу датчика Метран-150 CD.

Кроме датчика разности давления, в системе используется и датчик избыточного давления, необходимый для измерения давления пара в барабане. Верхний предел измерений 100 МПа, минимальный верхний предел – 4 МПа.

Выберем один из датчиков, представленных в табл. 3, для измерения избыточного давления пара в барабане.

В данной ситуации датчик Метран-150 TG имеет более низкую стоимость по сравнению с аналогами. Кроме того, при выборе этого датчика мы обеспечиваем единство измерений, что немало важно.

Таблица 3

**Сравнительные характеристики датчиков избыточного давления**

Наименование параметра / Тип датчика	Метран-150TG5	АИР-30 TV	Siemens P 7MF1563
Диапазон измерений, МПа	0-60 МПа	0,04-60 Мпа	0-40 Мпа
Предельное давление, Мпа	40 МПа	25 МПа	40 Мпа
Стоимость, рубли (без НДС)	26082,50	26950,00	43017,026

Блоки управления. Для управления ГР, РТН и РЗМ используются блоки управления. Для проектируемой системы в качестве блока управления выбран БУ-21, предназначенный для ручного переключения управления нагрузкой релейного регулирующего блока с автоматического «А» на ручное «Р» или внешнее «В», а также для коммутации цепей ручного управления.

Блоки питания. Для питания датчиков системы необходимо выбрать блок питания. Одним из вариантов является Метран-604-01, предназначенный для преобразования сетевого напряжения 220В в стабилизированное напряжение 24 или 36В (табл. 4).

Таблица 4

**Технические характеристики блока питания**

Тип и исполнение	Метран-604-036-50-01
Выходное напряжение, В	36
Потребляемая мощность, ВА	13
Стоимость, руб.	5771

Для подключения блоков управления БУ-21 также необходимо использовать блок питания, выходное напряжение которого должно быть равно 24В. Соблюдая условие единства средств, воспользуемся блоком питания Метран-604-024. В отличие от вышеприведенного блока выходное напряжение данного блока – 24 В.

Задающее токовое устройство. ЗУ 05 предназначено для применения в схемах автоматического регулирования различных технологических процессов в качестве выносного токового задатчика, как вспомогательный блок к регулирующим приборам. На выходе устройства формируется сигнал  $\pm 5\text{мА}$ .

Контроллер. Исходя из необходимости создания сосредоточенной системы управления, выберем контроллер, который бы соответствовал следующим требованиям: простота наращивания функциональных возможностей системы; большой объем памяти данных; поддержка различных функций регулирования.

Данным требованиям удовлетворяют модульные контроллеры, сравнительный анализ некоторых из них представлен в табл. 5.

Таблица 5

#### Сравнительный анализ контроллеров

Характеристики	OMRON CS1G-CPU43-E	KP-500
Максимальное количество дискретных вх/вых	960...5120	до 5890/9424
Память программ	10К...250К шагов	60/960/ числ./дискр. значений
Спец. функции	Дублирование, ЦПУ со встроенным регулятором	Программный пакет КОНТРАСТ
Связь	Ethernet, Controller Link, DeviceNet, PROFIBUS-DP, CAN	МАГИСТР, I-7000, MODBUS, Ethernet
Цена (контроллера) без НДС, рубли	От 45 000	От 48 000

Принимая во внимание высокую стоимость вспомогательных модулей KP-500, выгоднее выбрать контроллер фирмы OMRON.

Модули контроллера. Для обеспечения полнофункциональной работы проектируемой системы нужно подобрать необходимые функциональные модули контроллера, – например, блок питания, модуль ведущего устройства, базовые модули, интерфейсные модули, модули аналогового ввода, модули дискретного ввода, модуль подачи и распределения питания входов/выходов, торцевой модуль.

Модуль центрального процессора. В качестве модуля центрального процесса, как уже было отмечено, был выбран модуль CS1G-CPU43-E. Окончательно выбранная модель стоимостью 56 498,40 руб. обладает следующими характеристиками: память данными 32К слов, потребляемый ток 0,95А (при 5В), без поддержки расширения памяти данных.

Блок питания для контроллера. Для контроллера выбираем блок питания C200HW-PA204S со следующими характеристиками: напряжение питания от 100 до 120В или от 200 до 240В переменного тока, частота 50-60Гц; потребляемая мощность – не более 120ВА; выходная мощность – 4,6А при 5В постоянного тока.

Модуль ведущего устройства. Модуль ведущего устройства CS1W-DRM21-V1 предназначен для связи удаленного модуля ввода/вывода и центрального процессора контроллера. Данный модуль является Master-модулем. К одному Master-модулю можно подключить не более 5 Slave-модулей.

Базовый модуль. Базовый модуль CS1W-AD041-V1 в проектируемой системе необходим для подключения задающих устройств, выдающих аналоговый сигнал.

Все рассмотренные выше модули входят в состав центральной панели контроллера. В состав панели расширения, также подключаемой к системе, входят: интерфейсные модули, модули аналогового ввода, модули дискретного ввода, модуль подачи и распределения питания входов/выходов, торцевой модуль.

*Интерфейсный модуль.* В качестве интерфейсного выбран модуль GRT1-DRT, имеющий: сетевой разъем DeviceNet; режим ввода/вывода 11...25В, 22мА; максимальное количество подключаемых модулей 64, по 1024 входов и выходов.

*Модуль подачи и распределения питания вводов/выводов.* Для данной системы был использован модуль GRT1-PD2G, с электронной защитой от перегрузки, распределяющий питание между группами модулей входов/выходов.

*Модуль аналогового ввода.* Модули аналогового ввода GRT1-AD2 необходимы для подключения датчиков давления, которые расположены «по месту» (на котле). Таких модулей для проектируемой системы нужно два.

*Модуль дискретного ввода.* Модуль дискретного ввода GRT1-ID4 необходим для питания блоков управления, с помощью которых оператор осуществляет ручное управление системой (регуляторами).

*Торцевой модуль.* Является конечным модулем панели расширения SmartSlice, необходим для перехода с данного модуля на другой модуль удаленной системы ввода/вывода. В качестве торцевого модуля был выбран GRT1-END.

Полученная таким образом система может быть представлена в виде структурной схемы (рис. 6). Полная электрическая схема – на рис. 7.

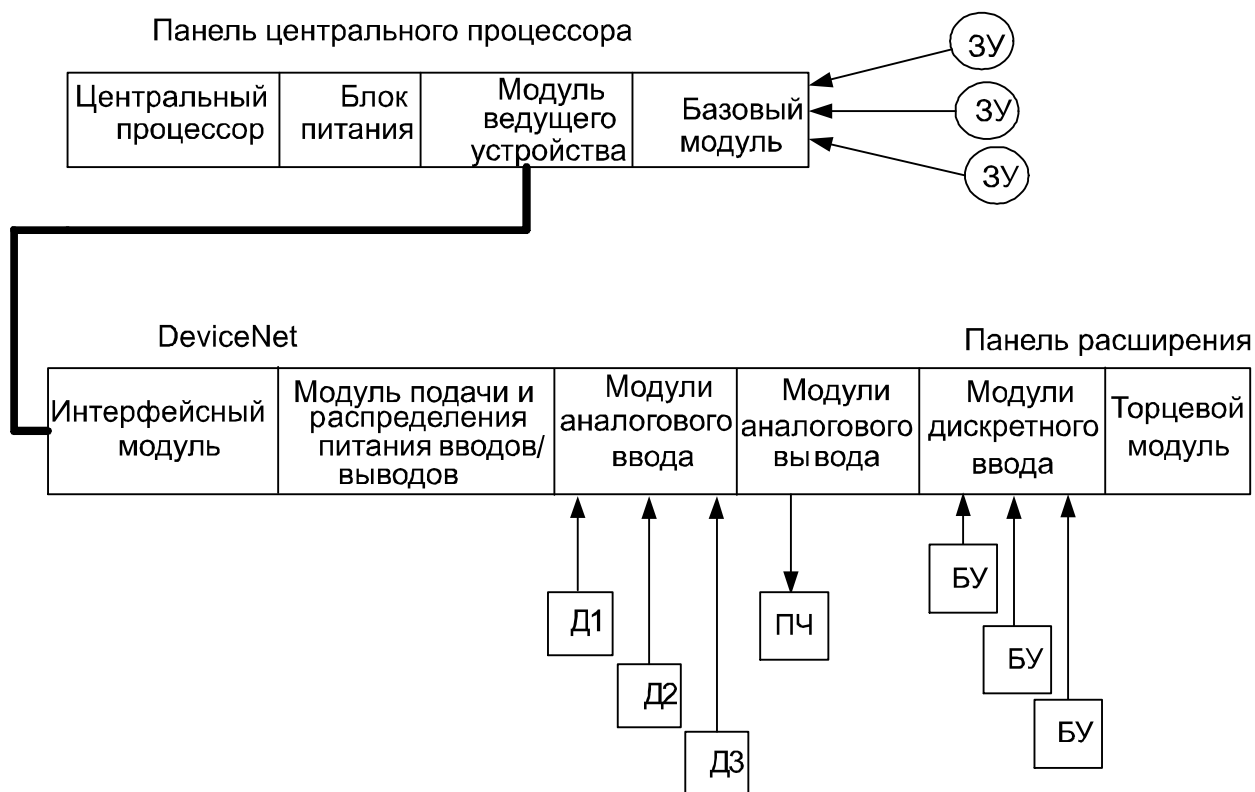


Рис.6. Структурная схема системы:

ЗУ – задающее устройство; БУ – блоки управления; Д1,Д2,Д3 – датчики избыточного и разности давлений; ПЧ – преобразователь частоты.

### Локальные сметные расчеты

Локальные сметные расчеты составляются в случаях, когда объемы работ и размеры затрат окончательно не определены, или в случаях, когда объемы работ, характер и методы их выполнения не могут быть достаточно точно определены при проектировании и уточняются в процессе. В табл.6 представлены затраты на оборудование для САР давления перегретого пара в магистрали, САР тепловой нагрузки и САР расхода топлива.



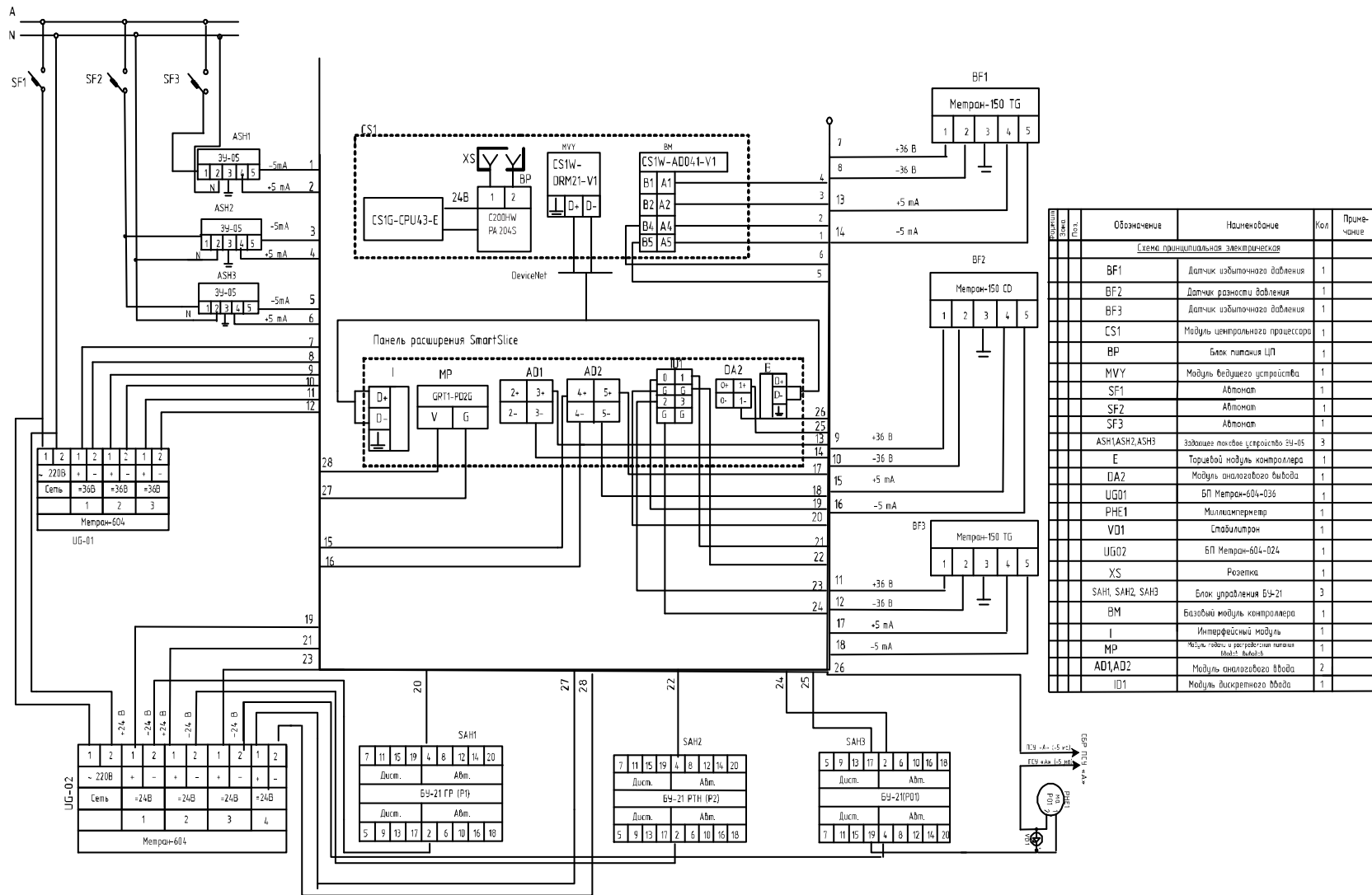


Рис. 7. Принципиальная электрическая схема системы.

## Расчеты затрат на внедрение системы

Элементы системы	Кол-во, шт.	Цена, руб. (без НДС)	Стоимость, руб. (с НДС)
Датчик избыточного давления Метран-150-TG4	2	26 082,50	61 554,70
Датчик разности давления Метран-150-CD3	1	29 780	35 140,40
Задающее токовое устройство ЗУ-05	3	1890	6 690,60
Блок питания Метран-604-036	1	5771	6 809,78
Блок питания Метран-604-024	1	5771	6 809,78
Блок управления БУ-21	3	3304	11 696,16
Модуль ЦП OMRON CS1G-CPU43-E	1	56 498,40	56 498,40
Блок питания C200HW - PA204S	1	13 434,30	13 434,30
Модуль ведущего устройства CS1W-DRM21-V1	1	36 108	36 108
Базовый модуль CS1W-AD041-V1	1	38 232	38 232
Интерфейсный модуль GRT1-DRT	1	12 690,90	12 690,90
Модуль питания GRT1-PD2G	1	1 922,22	1 922,22
Модуль аналогового ввода GRT1-AD2	2	10 301,40	20 602,80
Модуль дискретного ввода GRT1-ID4	1	2 442,60	2 442,60
Торцевой модуль GRT1-END	1	1 146,96	1 146,96
Итого:			311 779,60

## Заключение

Таким образом, за счет модернизации систем управления процессом горения и парообразования было достигнуто оптимальное решение. Так, была получена экономия при покупке оборудования и обеспечена возможность улучшения качества регулирования за счет возможности использования современных подходов к управлению – таких как адаптивный и нейро-нечеткий.

1. Аракелян, Э.К. Методические положения оценки технико-экономической эффективности модернизации АСУ ТП электростанций / Э.К. Аракелян, М.А. Панько, А.Ш. Асланян // Теплоэнергетика. – 2010. – № 10 – С.45-49.

2. Соколов, М. Автоматизированная система управления водогрейными котлами КВГМ-100 тепловой станции / М. Соколов, Л. Цветков // Современные технологии автоматизации. – 2002. – Вып. 1. – С.16-19.

3. Теличенко, Д.А. Современные подходы при реализации АСУ ТП для объектов теплоэнергетики / Д.А. Теличенко, А.А. Милосердова // Вестник Амурского гос. ун-та. – 2012. – Вып. 59. – С. 89-99.

4. Свидерский, А.Г. Применение распределенных систем управления и интеграция АСУ ТП энергооборудования // Теплоэнергетика. – 2011. – № 10. – С. 4-10.

5. Плетнев, Г.П. Автоматическое управление и защита теплоэнергетических установок электростанций. – М.: Изд. дом МЭИ, 2007. – 352 с.

6. Клюев, А.С. Наладка систем автоматического регулирования барабанных паровых котлов / А.С. Клюев, А.Т. Лебедев, С.И. Новиков. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 280 с.

7. Еремин, Е.Л. Автоматизированная система регулирования расхода топлива ТЭЦ / Е.Л. Еремин, Д.А. Теличенко // Информатика и системы управления. – 2011. – №2(28) – С. 157-168.

8. Косицын, В.Ю. Система управления тепловой нагрузкой котла / В.Ю. Косицын, А.Н. Рыбалев, Д.А. Теличенко // Теплоэнергетика. – 2013. – № 2 – С. 54-60.