


Департамент внутренней и кадровой политики Белгородской области  
Областное государственное автономное  
профессиональное образовательное учреждение  
«Белгородский индустриальный колледж»

Рассмотрено цикловой комиссией  
«Теплотехники и сварочного производства»  
ОГАПОУ «Белгородский индустриальный колледж»  
Протокол заседания № 2 от «12» сентября 2020 г.  
Председатель цикловой комиссии

 / Кобченко А.В./

**Учебно-методическое пособие**  
**для выполнения лабораторных работ**  
**по профессиональному модулю**  
ПМ.02 Ремонт теплотехнического оборудования и систем  
тепло- и топливоснабжения  
МДК 02.01 Технология ремонта теплотехнического оборудования и  
оборудования систем тепло- и топливоснабжения  
**Раздел 1. Автоматическое регулирование теплоэнергетических**  
**процессов и водоподготовка**  
**Тема 1.3. Автоматическое регулирование теплоэнергетических**  
**процессов**  
по специальности СПО  
13.02.02 Теплоснабжение и теплотехническое оборудование

Разработчики: Топоркова А.А., Кобченко А.В.  
Преподаватели специальных дисциплин  
ОГАПОУ «Белгородский индустриальный  
колледж»

Белгород 2020

## СОДЕРЖАНИЕ

Пояснительная записка.....	3
Лабораторная работа №1 «Автоматическое регулирование процесса горения барабанных котлов».....	5
Лабораторная работа №2 «Автоматическое регулирование котлами при параллельной работе на общую паровую магистраль».....	15
Лабораторная работа №3 «Автоматическое регулирование питания барабанного котельного агрегата водой».....	19
Лабораторная работа №4 «Автоматическое регулирование температуры перегрева пара».....	24
Лабораторная работа №5 «Автоматическое регулирование температуры пара вторичного перегрева».....	35
Лабораторная работа №6 «Автоматическое регулирование непрерывной продувки барабанных паровых котлов».....	42
Лабораторная работа №7 «Автоматическое регулирование прямоточных котлов».....	45
Лабораторная работа №8 «Автоматическое регулирование вспомогательного оборудования котельных агрегатов ТЭС».....	50
Лабораторная работа №9 «Автоматические тепловые защиты котельных агрегатов ТЭС».....	56
Лабораторная работа №10 «Автоматическое регулирование паровых барабанных котлов малой мощности».....	62
Лабораторная работа №11 «Автоматическое регулирование водогрейных котлов».....	72
Лабораторная работа №12 «Автоматическое регулирование вспомогательного оборудования».....	76
Лабораторная работа №13 «Автоматическое регулирование процессов в тепловых сетях».....	80
Лабораторная работа №14 «Автоматическое регулирование котлов малой производительности».....	87
Лабораторная работа №15 «Автоматическое регулирование процессов водоподготовки».....	97
Список используемых источников.....	103

## **ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА**

Эффективной формой организации учебного процесса в учебном заведении, которая основывается на самостоятельной работе обучающихся, являются лабораторные занятия.

Лабораторное занятие – это форма учебного урока, при которой обучающийся под руководством преподавателя проводит естественные или имитационные эксперименты или опыты с целью подтверждения отдельных теоретических положений определенной учебной дисциплины, приобретает практические навыки работы с лабораторным оборудованием, вычислительной техникой, измерительной аппаратурой, методикой экспериментальных исследований и т.д.

Основными задачами лабораторных занятий являются:

- углубление и уточнение знаний, полученных на лекциях и в процессе самостоятельной работы;
- формирование интеллектуальных умений и навыков планирования, анализа и обобщения;
- овладение техникой;
- накопления первичного опыта организации производства и овладение техникой управления им подобное.

Лабораторные работы не только закрепляют теоретические знания, но и позволяют обучающимся глубоко изучать механизм применения этих знаний, овладевать важным для специалиста умением интеллектуального проникновения в те естественно-технические или производственные процессы, которые исследуют на лабораторном занятии. Под влиянием этой формы урока у студентов часто возникают новые идеи научного и технического характера, которые используются в курсовых, квалификационных, дипломных работах. Лабораторные работы в значительной степени обеспечивают отработку умений и навыков принятия практических решений в реальных условиях производства.

Данное учебное методическое пособие предназначено для выполнения лабораторных работ по теме «Автоматическое регулирование теплоэнергетических процессов» профессионального модуля ПМ.02 «Ремонт теплотехнического оборудования и систем тепло- и топливоснабжения» междисциплинарного курса МДК 02.01 «Технология ремонта теплотехнического оборудования и систем тепло- и топливоснабжения».

Представленный материал сформирован на основе рабочей программы профессионального модуля ПМ.02 «Ремонт теплотехнического оборудования и систем тепло- и топливоснабжения», составленной с учетом требований Федерального государственного образовательного стандарта (ФГОС) по специальности среднего профессионального образования 13.02.02 «Теплоснабжение и теплотехническое оборудование» и профессионального стандарта № 792 «Слесарь по ремонту оборудования котельных», утвержденного Министерством труда и социальной защиты РФ (приказ от 20 января 2016 № 40667).

Междисциплинарный курс МДК 02.01 по профессиональному модулю ПМ.02 входит в профессиональный цикл специальных дисциплин и изучается обучающимися в VI - VIII семестрах согласно учебному плану по специальности СПО 13.02.02 «Теплоснабжение и теплотехническое оборудование».

Данное учебное пособие для выполнения лабораторных работ по теме «Автоматическое регулирование теплоэнергетических процессов» может быть использовано для индивидуальной работы обучающихся на занятиях под руководством преподавателя или для их самостоятельной работы. Широкое использование лабораторных работ в учебном процессе призвано научить студентов пользоваться знаниями, а также получить практические навыки в рамках конкретной специальности.

## **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1**

**Тема:** *«Автоматическое регулирование процесса горения барабанных котлов».*

**Цель работы:** Изучить способы автоматического регулирования процесса горения барабанных котлов.

**Содержание отчета:**

1. Конспект общих сведений данной работы.
2. Краткое описание схемы регулирования процесса горения паровых барабанных котлов.
3. Краткое описание регулирования процесса горения на котлах с шахтно-мельничными топками и на котлах с шахтно-мельничными топками.

### ***Общие сведения***

Функции приведения нагрузки котла к заданному значению, функции обеспечения соответствия между подачами топлива и воздуха, стабилизации разрежения в топке возлагаются на регуляторы топлива, воздуха и тяги, комплекс которых называется *«регуляторами процесса горения»*.

*Регулирование подачи топлива.* В каждый момент времени в топке котла должно сгорать столько топлива, чтобы количество пара, вырабатываемого котельным агрегатом, соответствовало количеству потребляемого пара, т. е. внешней нагрузке котельного агрегата. Показателем такого соответствия является давление пара при выходе из котла.

Если при сгорании топлива выделяется больше тепла, чем это необходимо для производства потребляемого количества пара, то излишнее тепло аккумулируется в котле, что приводит к росту давления.

Наоборот, если топливо подается в недостаточном количестве, то потребность в паре покрывается частично за счет тепла, аккумулированного в котловой воде, а давление пара при этом падает. Таким образом, подача топлива должна производиться так, чтобы обеспечить постоянное давление пара при выходе из котла.

*Регулирование подачи воздуха.* Подача воздуха в топку должна обеспечить наиболее экономичный режим горения топлива. Для этого требуется поддерживать соответствие между количеством и качеством подаваемого топлива, с одной стороны, и количеством воздуха, необходимого для горения, с другой. Показателем этого соответствия является коэффициент избытка воздуха в топке  $\alpha_t$ , который контролируется по данным газового анализа.

Оптимальное значение избытка воздуха зависит от вида топлива, способа его сжигания, конструкции топочного устройства, нагрузки котельного агрегата. В конкретных условиях оптимальное значение  $\alpha_t$  при различных нагрузках определяется на основании испытаний котельного агрегата.

Значение  $\alpha_t$  можно оценить по содержанию свободного кислорода  $O_2$  в дымовых газах, покидающих топочную камеру:

$$\alpha_m = 21 / (21 - O_2)$$

Содержание  $O_2$  определяют в поворотной камере газохода за пароперегревателем в %. Оптимальное значение  $O_2$  при номинальной нагрузке при сжигании пылевидного топлива – 3-5 %, при сжигании мазута и газа - 0,2-2 %, при этом  $\alpha_t = 1,2 - 1,3$ .

Значительное увеличение избытка воздуха против оптимального приводит к росту потерь тепла с уходящими газами  $q_2$ , а чрезмерное снижение избытка воздуха увеличивает потери с химической неполнотой сгорания  $q_3$ .

*Регулирование тяги.* Регулирование тяги должно обеспечивать полное удаление продуктов сгорания.

В статических (равновесных) режимах производительность дымососов должна в каждый момент времени соответствовать производительности дутьевых вентиляторов. Показателем этого соответствия служит разрежение в топочной камере.

Допускать в топке котельного агрегата избыточное давление нельзя, за исключением котлоагрегатов, работающих под наддувом, т. к. это вызывает выбивание газов и пламени из топки.

С другой стороны, при значительном разрежении в топке возрастают присосы воздуха, снижающие экономичность работы котла за счет потерь с уходящими газами –  $q_2$  и увеличения расхода электроэнергии на работу дымососов.

Разрежение в различных зонах топочного пространства котельного агрегата по высоте топочной камеры неодинаково. Вследствие явления самотяги разрежение в верхней части топки бывает обычно примерно на 0,1 кПа больше, чем в нижней. Поэтому поддерживают необходимое минимальное разрежение в верхней части топочной камеры.

### ***Схемы регулирования процесса горения паровых барабанных котлов***

В связи с большим конструктивным разнообразием топочных устройств и систем подачи топлива для котлов, работающих на разных видах топлива, существенно различаются и схемы регулирования процесса горения, обеспечивающие заданную тепловую нагрузку котельного агрегата.

Наиболее распространенными являются системы регулирования процесса горения для котлов с пылепитателями, шахтно-мельничными топками и для котлов, работающих на жидком и газообразном топливе.

В первых простейших схемах регулирования процесса горения в качестве критерия тепловой нагрузки было использовано положение органа, регулирующего подачу топлива,  $h_T$  (рис. 1.1, а).

Этот импульс являлся обратной связью для регулятора топлива, к которому поступал задающий сигнал от регулятора давления при выходе из котла или от главного (корректирующего) регулятора, действующего по давлению в магистрали, при параллельной работе нескольких котлов на общий паропровод.

Сигнал по положению регулировочного органа подачи топлива, в качестве задающего, подавался на регулятор воздуха, к которому поступал также сигнал обратной связи по расходу воздуха ( $V$ ).

Разрежение в топке ( $S_T$ ) поддерживалось независимым регулятором тяги. Такая схема регулирования процесса горения, когда расход воздуха приводится в соответствие с расходом топлива, носит название «топливо-воздух».

Недостатком описанной выше схемы регулирования процесса горения в первую очередь является непредставительность принятого метода оценки фактической тепловой нагрузки котла, в первую очередь для котлов, сжигающих твердое топливо, из-за возможного изменения качества топлива, нестабильности характеристик пылепитателей и т.д.

Эти факторы приводили к резкому нарушению экономичности топочного процесса и отклонению действительной нагрузки от заданной. Недостатки схемы привели к отказу от схемы «топливо-воздух» с использованием сигнала по положению регулировочного органа подачи топлива для котлов, сжигающих угольную пыль.

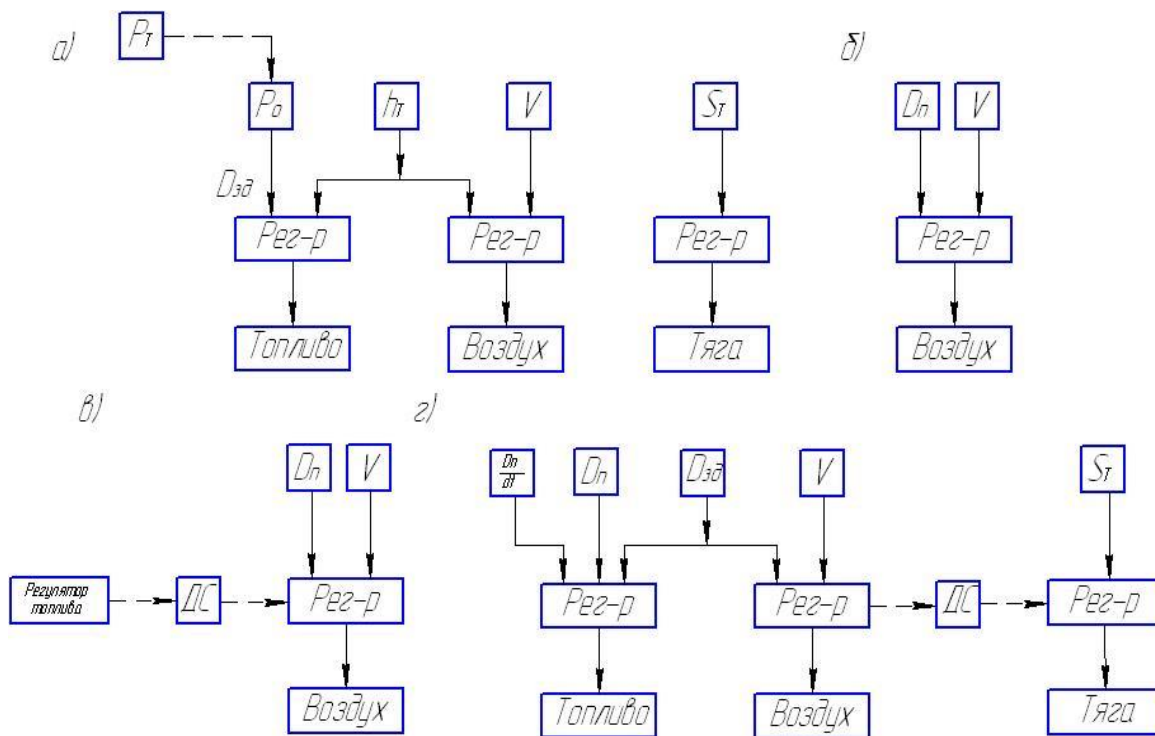


Рис. 1.1 - Структурные схемы регулирования процесса горения:



$P_T$  – давление в общем паропроводе,  $P_0$  – давление первичного пара,  $D_{зд}$  – задание,  $h_{мон}$  – положение регулировочного органа подачи топлива,  $D_n$  – расход первичного пара,  $V$  – расход воздуха,  $S_T$  – разрежение в топке котла,  $\frac{dp}{dt}$  – скорость изменения давления пара, ДС – динамическая связь.

Схему «топливо-воздух» сменила схема, организованная по принципу «пар-воздух» (рис. 1.1, б), где задающим сигналом регулятору воздуха служит расход пара при выходе из котла ( $D_n$ ).

При постоянстве температуры питательной воды, теплосодержания пара, КПД котлоагрегата и при сжигании односортового топлива расход пара в статике практически однозначно задает теоретически необходимый для горения расход воздуха.

Поэтому при установившихся режимах схема «пар-воздух» обеспечивает удовлетворительную точность поддержания заданного коэффициента избытка воздуха, определяющего фактора экономичности топочного процесса.

Однако в переходных режимах, связанных с изменением аккумулированного в котле тепла, расход пара не согласуется с фактической тепловой нагрузкой котла, и оптимальное соотношение между подачами топлива и воздуха нарушается.

Полезным усовершенствованием схемы «пар-воздух» является использование динамической связи (исчезающего импульса) от регулятора топлива к регулятору воздуха (рис 1.1, в).

Динамическая связь действует только в переходных режимах и не оказывает остаточного воздействия на измерительную схему регулятора воздуха.

Общей проблемой создания оптимальной схемы регулирования горения для котлов, работающих на твердом топливе, является измерение расхода топлива. Неоднородность состава твердого топлива делает возможным изменение тепловыделения при постоянной подаче топлива.

Поэтому для котлоагрегатов, работающих на твердом топливе, в схемах регулирования процесса горения целесообразно использовать сигнал, связанный с тепловыделением в топке. Таким сигналом является сигнал по «теплу» - тепловой нагрузке.

*Тепловой нагрузкой котла* называют расход пара, который был бы получен, если бы воспринятое поверхностями нагрева котельного агрегата тепло было израсходовано на парообразование, а не аккумулировалось частично водой, паром и металлом парообразующей части котла.

Экономичность топочного процесса в переходных режимах зависит от согласованности в изменениях подачи топлива и воздуха, поэтому определяется не только схемой регулирования расхода топлива, но и схемой регулирования подачи воздуха.

Предпочтение в АСР процессов горения на котлах получила комбинация регулятора топлива, действующего по теплу, с регулятором воздуха, выполненным по схеме «заданная нагрузка-воздух» (рис. 1.1, г).

Разработка и внедрение в АСР котла быстродействующего газоанализатора, непрерывно измеряющего содержание  $O_2$  в дымовых газах, привела к созданию схем регулирования, основанных на непосредственном контроле экономичности топочного процесса.

В этом случае регулятор воздуха работает от сигнала по содержанию  $O_2$  в дымовых газах, а кроме того, воспринимает сигнал динамической связи, исчезающий в статике, от регулятора топлива для улучшения качества переходных процессов.

Регулирование подачи топлива на мощных котлах, работающих на пылевидном топливе, осуществляется с помощью пылепитателей.

*Способ регулирования скорости электродвигателей пылепитателей основан* на одновременном изменении тока возбуждения электродвигателей постоянного тока при помощи специального устройства – плоского контролера.

Станция группового регулирования скорости электродвигателей питателей пыли предназначена для группового автоматического или ручного дистанционного регулирования скорости электродвигателей постоянного тока питателей угольной пыли или сырого угля.

Современная система регулирования электродвигателей пылепитателей дает возможность управлять одновременно до 48 пылепитателями и осуществлять бесступенчатое изменение скорости приводных электродвигателей в пределах от 300 до 1500 об/мин.

### ***Регулирование процесса горения на котлах с шахтно-мельничными топками***

*Особенности котельного агрегата с шахтно-мельничными топками как объекта регулирования:*

а) изменение выноса пыли из мельниц в топку после изменения подачи топлива происходит со значительным запаздыванием;

б) изменение воздушного режима для первичного воздуха оказывает интенсивное, хотя и временное, влияние на вынос топлива;

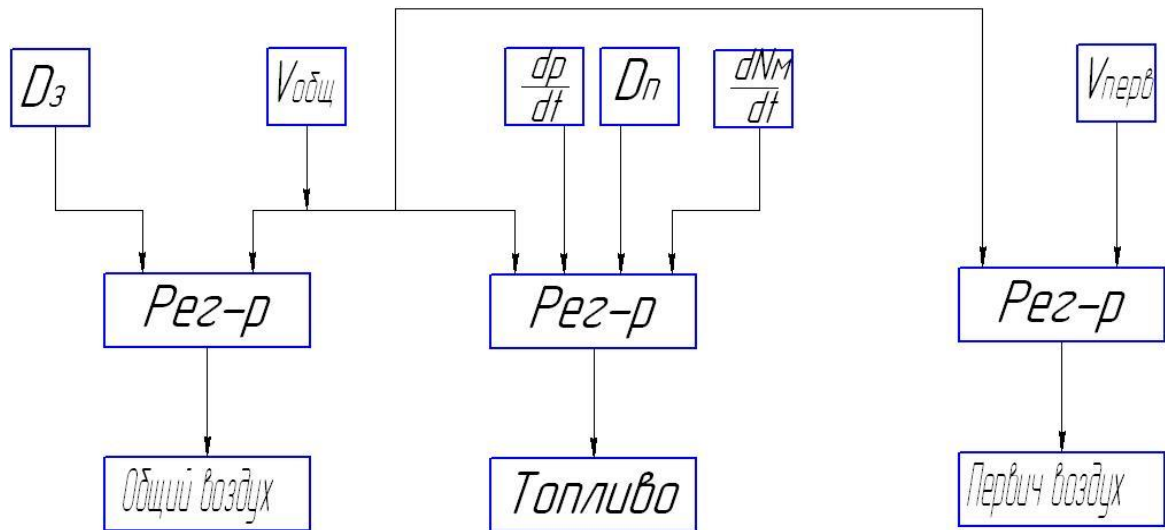
в) наряду с приведением общего воздуха в соответствие с тепловой нагрузкой необходимо для этих котлов обеспечить оптимальное соотношение между первичным и общим воздухом.

Регуляторы первичного воздуха устанавливаются по одному на каждую мельницу. Каждый из регуляторов первичного воздуха измеряет расход первичного воздуха на свою мельницу и поддерживает его с помощью регулировочных органов (поворотных заслонок) в соответствии с заданием.

Для котлов с шахтно-мельничными топками успешно зарекомендовала себя схема регулирования процесса горения, организованная по принципу «воздух-топливо» (рис. 1.2), в которой использован сигнал по средней мощности моторов шахтных мельниц, посылаемый на регулятор топлива.

Такой сигнал, быстро реагирующий на изменения в подаче топлива, обеспечивает высокое быстродействие регулятора топлива без участия регуляторов первичного воздуха.

Это позволяет выполнить регуляторы первичного воздуха независимыми от регулятора топлива и возложить на них функции поддержания заданного соотношения между расходами общего и первичного воздуха.



**Рис. 1.2 - Структурная схема регулирования процесса горения:**

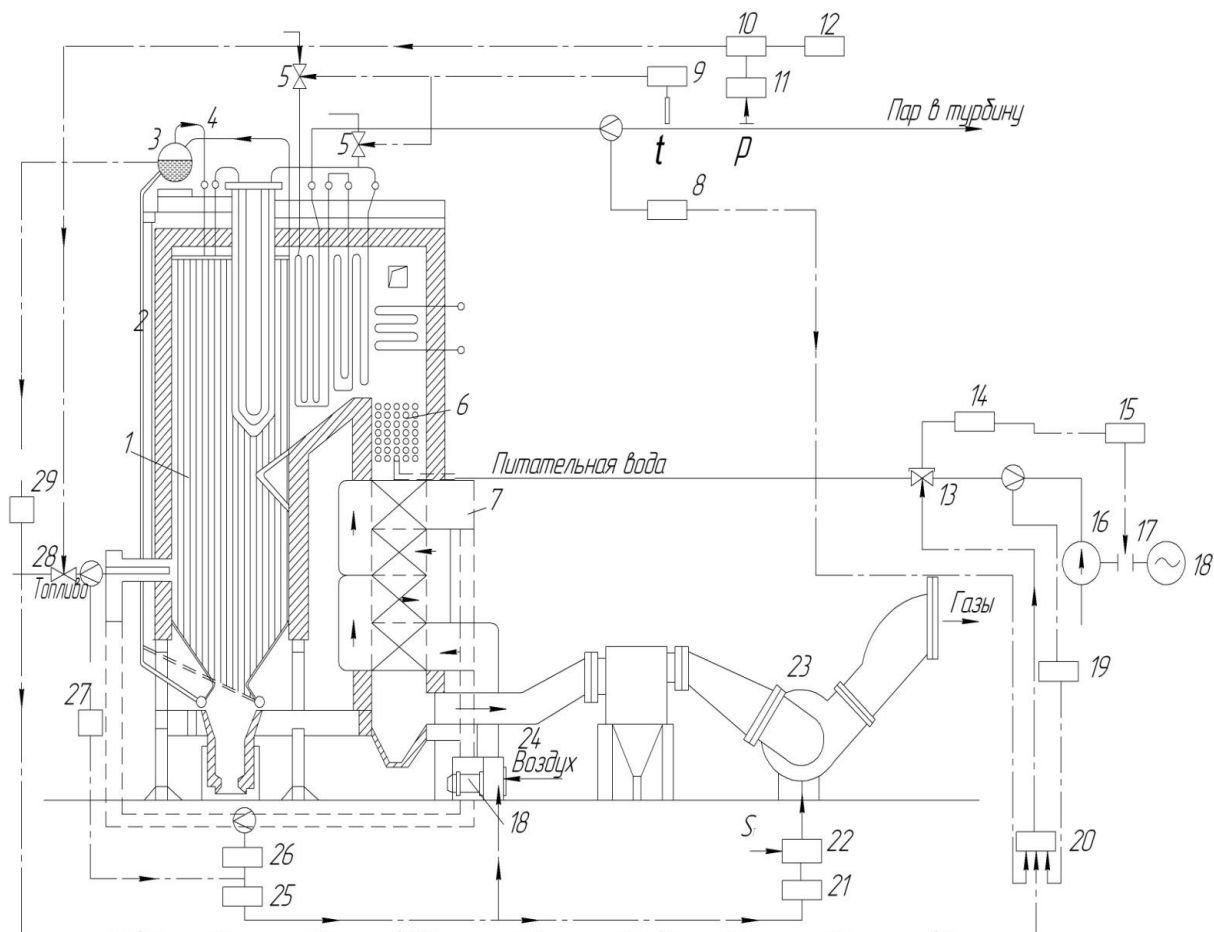
$V_{общ}$  – расход общего воздуха,  $V_{перв}$  – расход первичного воздуха,  $\frac{dNm}{dt}$  –

*скорость изменения мощности моторов мельниц.*

Схема регулятора тяги существенно не изменилась. Импульс динамической связи от регулятора общего воздуха обеспечивает одновременность в изменениях воздуха и тяги, повышая точность поддержания разрежения при переменной нагрузке котла.

***Регулирование процесса горения на котлах, работающих на жидком и газообразном топливе***

Для котлов, сжигающих жидкое и газообразное топливо, регулирование процесса горения организуется по принципу «топливо-воздух» (рис. 1.3).



**Рис. 1.3 - Принципиальная схема регулирования барабанного котла:**

1 - экранные поверхности топки, 2 - опускные экраны, 3 - барабан,  
 4 - пароперегреватель, 5 - впрыск воды, 6 - экономайзер,  
 7 - воздухоподогреватель, 8 - датчик расхода пара, 9 - регулятор температуры, 10 - регулятор давления, 11 - датчик давления, 12 - задатчик, 13 - питательный клапан, 14 - дифференциальный манометр, 15 - регулятор производительности, 16 - питательный насос, 17 - гидромуфта, 18 - электродвигатель, 19 - датчик расхода питательной воды, 20 - регулятор питания, 21 - устройство динамической связи, 22 - регулятор разрежения, 23 - дымосос, 24 - дутьевой вентилятор, 25 - регулятор экономичности процесса горения, 26 - датчик расхода воздуха, 27 - датчик расхода топлива, 28 - регулировочный орган подачи топлива, 29 - датчик уровня в барабане.

Регулятор нагрузки (давления) (10) воздействуя на регулировочный орган подачи топлива (28) устанавливает соответствующий режим расход топлива.

Регулятор экономичности (регулятор воздуха) (25) сравнивает расход топлива и воздуха и, воздействуя на поворотные направляющие аппараты или дроссельные заслонки дутьевых вентиляторов (24), приводит расход воздуха в соответствие с подачей топлива.

Для оптимизации процесса горения при режимах, отличных от номинальных, регулятор экономичности получает дополнительный импульс по количеству свободного кислорода  $O_2$  в уходящих из котла дымовых газах.

Заданное разрежение в верхней части топки (для котлоагрегатов, работающих без наддува) поддерживается регулятором разрежения (22), воздействующих на поворотные направляющие аппараты или дроссельные заслонки дымососов (23).

Для улучшения качества процесса регулирования к регулятору разрежения (22) подводится исчезающий в статике импульс от регулятора экономичности (25) через устройство динамической связи.

Регулятор разрежения, получая опережающий сигнал от регулятора экономичности, через устройство динамической связи переводит дымососы на новый режим работы до того, как изменится разрежение в топке. Этим обеспечивается более точное поддержание заданного разрежения.

#### ***Контрольные вопросы:***

1. Что называется регуляторами процесса горения?
2. В чем заключается процесс регулирования подачи топлива?
3. В чем заключается процесс регулирования подачи воздуха?
4. В чем заключается процесс регулирования тяги?
5. Что называется тепловой нагрузкой котла?
6. Процесс горения на котлах с шахтно-мельничными топками.
7. Процесс горения на котлах, работающих на жидком и газообразном топливе.

## **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2**

**Тема:** *«Автоматическое регулирование котлами при параллельной работе на общую паровую магистраль».*

**Цель работы:** Изучить способы автоматического регулирования котлами при параллельной работе на общую паровую магистраль.

**Содержание отчета:**

1. Конспект общих сведений данной работы.
2. Краткое описание схемы регулирования котлами при параллельной работе на общую паровую магистраль.

### **Общие сведения**

При работе котлов ТЭС на общий паропровод некоторые из них могут быть оставлены для работы в базовой нагрузке при постоянной подаче топлива, а другие составляют группу, участвующую в регулировании нагрузки электростанции. Регулятор давления пара, поддерживая давление в общей паровой магистрали, должен одновременно управлять нагрузкой всех котлов, составляющих эту группу, выполняя функцию главного регулятора.

Известно, что при постоянной расчетной нагрузке котел работает более экономично, чем при нерасчетном режиме. Из этих соображений желательно было бы большую часть котлов оставить в базовом режиме.

Однако чем больше котлов не участвует в регулировании нагрузки, тем больше становятся колебания паропроизводительности на остальных регулирующих котлах и тем меньше экономические показатели их работы. Поэтому выбор числа и типа регулирующих котлов, а также распределение между ними нагрузки производится с учетом их режимных характеристик, показывающих изменение КПД в зависимости от паропроизводительности в диапазоне регулирования (рис. 2.1).

В качестве регулирующих стремятся использовать котлы, у которых КПД малоизменяется с изменением нагрузки.



**Рис. 2.1 - Режимные характеристики котлов**

На основании приводимых характеристик трех котлов следует, что целесообразно котел 1 перевести в базовый режим при нагрузке 75-90 %, а котлы 2 и 3 использовать в качестве регулирующих, причем установить котлу 2 нагрузку выше чем котлу 3.

Таким образом, регулирование давления пара в общей паровой магистрали при параллельной работе котлов должно обеспечить одновременное управление нагрузкой нескольких котлов и дать возможность изменять участие каждого из них в покрытии общей электрической нагрузки станции.

***Схема регулирования котлами при параллельной работе на общую паровую магистраль***

Для стабилизации режима отдельных котлов не только при внешних, но и при внутренних возмущениях применяется схема, предусматривающая установку регулятора тепловой нагрузки на каждом из котлов, работающих на общий паропровод и общего для них корректирующего регулятора давления. Рассмотрим одну из типовых схем регулирования котлами ТЭС при их параллельной работе на общую паровую магистраль (рис. 2.2).

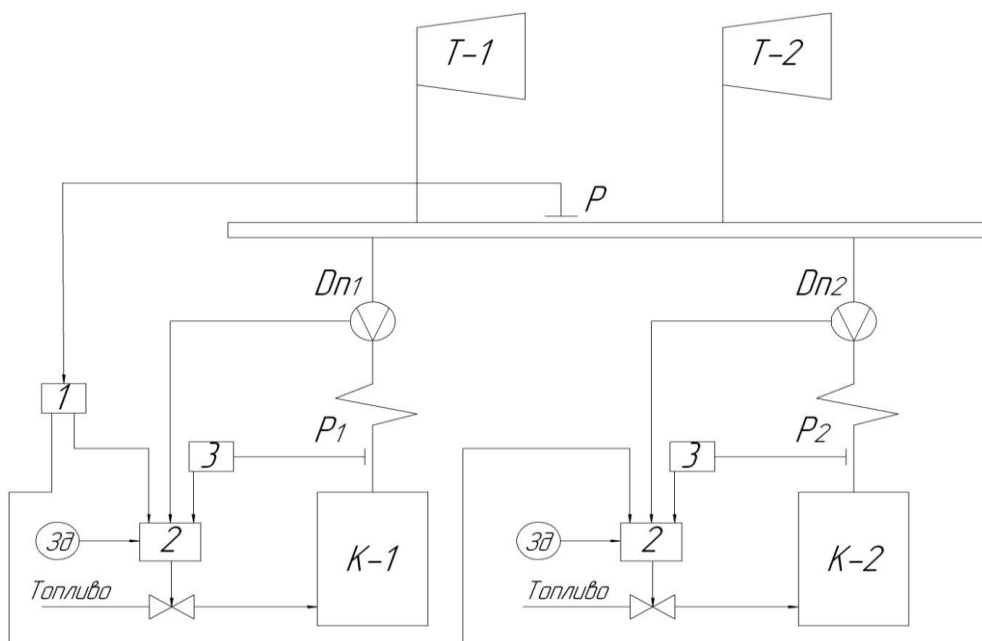
Регулятор давления (1) не управляет подачей топлива, а лишь корректирует задание регуляторам тепловой нагрузки (2) всех регулирующих котлов. Каждый из этих регуляторов, управляя подачей топлива,



поддерживает тепловую нагрузку своего котла в соответствии с заданием корректирующего регулятора. Регуляторы (2) имеют задатчики, позволяющие устанавливать желательное распределение нагрузок между котлами.

Тепловая нагрузка измеряется по сумме расхода пара и скорости изменения давления пара в барабане котла, сигнал которой поступает от дифференцирующего устройства (3).

При изменении нагрузки турбин корректирующий регулятор (1) меняет задание всем регуляторам тепловой нагрузки, которые в свою очередь, уменьшая или увеличивая подачу топлива, изменяют нагрузку своих котлов в соответствии с новым значением командного задания.



**Рис. 2.2 - Принципиальная схема каскадного регулирования давления пара с главным корректирующим регулятором:**

*1 – главный (корректирующий) регулятор, 2 – регулятор тепловой нагрузки, 3 – дифференцирующее устройство, Зд – задатчик.*

При внутренних возмущениях, например, при уменьшении подачи топлива на один из котлов и снижении его паропроизводительности регулятор тепловой нагрузки (2) этого котла увеличит подачу топлива только в свой котел и восстановит его нагрузку вновь до значения, заданного корректирующим регулятором давления.

При внутренних возмущениях тепловая нагрузка меняется быстрее, чем давление пара. Поэтому регулятор тепловой нагрузки (2) воспримет нарушения и восстановит подачу топлива прежде, чем это нарушение успеет существенно сказаться на давлении пара в общей паровой магистрали.

Таким образом, внутреннее возмущение на одном из котлов будет устранено при данной схеме регулирования до того, как оно успеет оказать значительное влияние на режимы остальных, параллельно работающих котлов.

Эта схема позволяет перевести часть котлов в базовый режим работы. При этом регулятор тепловой нагрузки останется в работе, но для него задатчиком устанавливается постоянное задание, не зависящее от работы главного (корректирующего) регулятора давления. В этом случае постоянство нагрузки этого котла автоматически поддерживается его регулятором тепловой нагрузки.

***Контрольные вопросы:***

1. Для чего служит регулятор давления пара?
2. Что должно обеспечить регулирование давления пара в общей паровой магистрали при параллельной работе котлов?
3. Какая схема применяется для стабилизации режима отдельных котлов не только при внешних, но и при внутренних возмущениях?
4. Для чего служат задатчики?

### **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3**

**Тема:** *«Автоматическое регулирование питания барабанного котельного агрегата водой».*

**Цель работы:** Изучить способы автоматического регулирования питания барабанного котельного агрегата водой.

**Содержание отчета:**

1. Конспект общих сведений данной работы.
2. Краткое описание схемы автоматического регулирования питания котельного агрегата.

#### **Общие сведения**

*Автоматизация питания барабанных котлоагрегатов* предусматривает автоматическое управление питанием водой как при условиях нормального протекания эксплуатационных режимов работы котла, так и при режимах пуска и останова котельного агрегата.

В свою очередь нормальные эксплуатационные режимы работы могут протекать при *постоянном* и *переменном* (скользящем) давлении свежего пара.

Показателем соответствия материального баланса между паром и водой – расхода свежего пара и расхода питательной воды служит уровень в барабане котла.

*Отклонение уровня воды в барабане от среднего значения* характеризует наличие небаланса между притоком питательной воды и расходом пара. Отклонение происходит также вследствие изменения паросодержания пара в пароводяной смеси подъемных труб за счет колебаний давления пара в барабане котла или изменений тепловосприятости испарительных поверхностей нагрева.

Так, при увеличении расхода пара в первый момент после возмущения уровень воды в барабане возрастает в результате резкого уменьшения давления пара, что в свою очередь приводит к увеличению паросодержания в

подъемных трубах циркуляционного контура и росту уровня. Это явление называется *набуханием уровня*.

При изменении нагрузки котла и, как следствие, изменении его паропроизводительности средний уровень воды должен поддерживаться постоянным.

Максимально допустимые отклонения уровня воды в барабане составляют  $\pm 100$  мм от среднего значения, установленного заводом-изготовителем. При этом средний уровень не обязательно должен совпадать с геометрической осью барабана.

*Снижение уровня ниже видимой части водомерного стекла*, установленного на барабане котельного агрегата, считается «*упуском*» воды, а превышение его верхней видимой части – «*перепиткой*». Расстояние между этими критическими отметками составляет 400 мм.

*Снижение уровня ниже места присоединения опускных труб циркуляционного контура* может привести к нарушению питания и охлаждению водой подъемных труб, нарушению их прочности в местах стыковки с корпусом барабана, а в наиболее тяжелых случаях и пережогу.

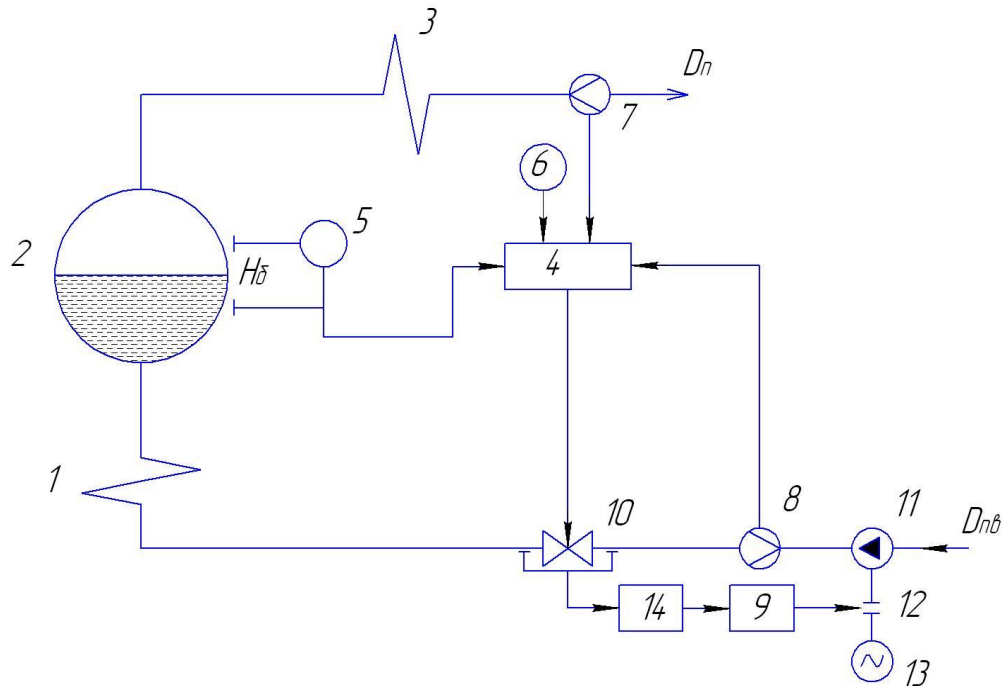
*Чрезмерное повышение уровня* может привести к ухудшению действия внутрибарабанных сепарационных устройств, заносу солями пароперегревателя, а также забросу частиц воды в турбину, что может явиться причиной тяжелых механических повреждений лопаток ее ротора.

Снабжение барабана водой осуществляется по одной, реже двум ниткам трубопроводов питательной воды, одна из которых служит резервной.

### ***Схема автоматического регулирования питания котельного агрегата***

В АСР питания котла водой реализован принцип *комбинированного регулирования по возмущению* – при изменении расхода пара или питательной воды и отклонению – при изменении уровня воды в барабане котла.

Регулятор питания должен обеспечить постоянство среднего уровня воды независимо от нагрузки котла и возмущающих воздействий (рис. 3.1).



**Рис. 3.1 - Принципиальная схема регулирования питания барабана котла:**

1 - экономайзер, 2 - барабан котла, 3 - пароперегреватель, 4 - регулятор питания, 5 - датчик уровня, 6 - задатчик, 7 - датчик расхода пара, 8 - датчик расхода питательной воды, 9 - регулятор производительности, 10 - питательный клапан, 11 - питательный насос, 12 - гидромуфта, 13 - электродвигатель, 14 – дифференциальный манометр.

В АСР питания используют для этих целей трехимпульсный регулятор питания. *Сигналы по возмущению:* расход свежего пара  $D_n$ , расход питательной воды  $D_{пв}$ .

*Сигнал по отклонению:* уровень в барабане котельного агрегата  $H_b$ .

*Сигнал по расходу* питательной воды используется как выключающий для снятия в статике сигнала по расходу пара.

Регулятор питания перемещает регулировочный орган на линии питательной воды при появлении сигнала небаланса между расходами питательной воды и перегретого пара.

Помимо этого он воздействует на положение клапана при отклонении уровня воды в барабане котельного агрегата от заданного значения.

Использование сигналов  $D_n$  и  $D_{пв}$  обеспечивают быстроедействие АСР питания, сигнал  $H_6$  – заданную точность поддержания уровня в барабане.

В схеме измерительного блока регулятора питания датчики  $D_n$ ,  $D_{пв}$  и  $H_6$  включены таким образом, что при понижении уровня воды в барабане котлоагрегата, увеличении расхода пара, уменьшении расхода питательной воды, они действуют в одном направлении – в сторону открытия питательного клапана, а при повышении уровня, уменьшении расхода пара и увеличении расхода питательной воды в сторону закрытия питательного клапана.

В качестве регулировочных органов питания используются *шиберные клапаны* и *клапаны золотникового типа*.

При полном сбросе нагрузки на котле вследствие повышения давления пара в барабане возможно срабатывание *предохранительных клапанов*. Количество пара, проходящее через эти клапаны не учитывается датчиком расхода пара. Регулятор питания при этом становится двухимпульсным и будет поддерживать заниженный уровень в барабане в соответствии с неравномерностью регулятора по уровню. Поэтому необходимо выбирать минимально возможную величину неравномерности по уровню, обеспечивающую приемлемые динамические качества АСР питания.

При скользящем (переменном) начальном давлении пара перед турбиной для котла, работающего с ней в блоке, по всему пароводяному тракту отсутствуют дросселирование рабочего тела, а уменьшение давления производится снижением скорости вращения питательного насоса, при этом сокращается мощность, затрачиваемая на его привод.

Изменение числа оборотов питательного насоса, (11) связанного гидромуфтой (12) с электродвигателем (13), достигается воздействием регулятора производительности (9) по сигналу перепада давления на питательном клапане (10) от дифманометра (14).

***Контрольные вопросы:***

1. Что предусматривает автоматизация питания барабанных котлоагрегатов?
2. Что характеризует отклонение уровня воды в барабане от среднего значения и от чего оно происходит?
3. Какое явление называется набуханием уровня?
4. Что считается «упуском» и «перепиткой» воды?
5. К чему может привести чрезмерное снижение и повышение уровня воды?
6. В чем заключается принцип комбинированного регулирования по возмущению?

## **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4**

**Тема:** *«Автоматическое регулирование температуры перегрева пара».*

**Цель работы:** Изучить способы автоматического регулирования температуры перегрева пара.

**Содержание отчета:**

1. Конспект общих сведений данной работы.
2. Краткое описание статических и динамических характеристик пароперегревателя.
3. Методы регулирования температуры перегрева пара.

### ***Общие сведения***

*Автоматическое регулирование перегрева пара* должно обеспечить поддержание температуры перегретого пара в заданных пределах вне зависимости от нагрузки котельного агрегата.

Для обеспечения надежной и экономичной работы котла и турбины отклонение температуры перегрева от номинального значения на котлах среднего и высокого давлений не должно превышать 10 °С. При наличии автоматического регулирования эти отклонения могут быть снижены до температуры 5 °С.

*Необходимость достаточно точного поддержания температуры перегрева вызвана следующими причинами:*

- металл труб котельного агрегата находится в особенно тяжелых условиях работы;
- повышение температуры выше допустимых значений может привести к аварии вследствие появления ползучести металла, повышенных тепловых расширений и ряда других причин;
- надежность работы турбины при повышении температуры пара ограничивается предельными тепловыми расширениями ее элементов;
- понижение температуры перегретого пара снижает экономичность работы котла и ТЭС в целом, кроме того, значительное понижение



температуры пара перед турбоагрегатом приводит к недопустимому повышению влажности в последних ступенях турбины и эрозии лопаток, следствием чего оказывается увеличение удельного расхода пара, а в некоторых случаях и аварийный останов турбоагрегата.

Из условий прочности металла труб пароперегревателя, паропровода и турбины важно не только обеспечить поддержание температуры в заданных пределах, но и не допустить резких ее изменений.

### ***Характеристики котла как объекта регулирования температуры перегрева пара***

Для барабанного парового котла температура перегрева пара в установившемся режиме зависит от распределения общего восприятия тепла между испарительными поверхностями нагрева и пароперегревателями.

Распределение это меняется как с изменением нагрузки котла, так и при прочих различных отклонениях эксплуатационного режима - шлакования топки, загрязнения поверхностей нагрева, изменения температуры питательной воды, избытка воздуха, угрубления топины помола пыли, нарушения работы сепарационных устройств.

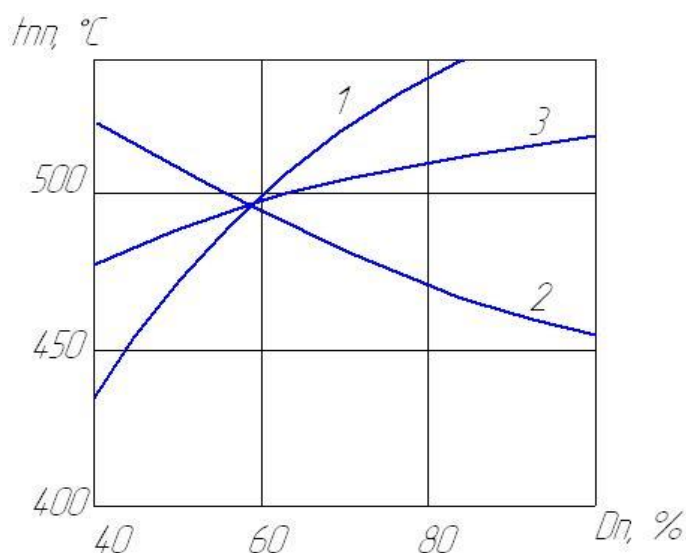
Зависимость отклонения температуры перегрева пара от каждого из этих факторов в установившихся режимах характеризует статические свойства котельного агрегата, а законы изменения температуры во времени при различных возмущениях – динамические свойства.

*Статические характеристики котла.* Величина и направление отклонения температуры перегрева пара с изменением нагрузки котла определяется конструкцией пароперегревателя и местом расположения его по газовому тракту.

Для чисто конвективного пароперегревателя температура перегрева резко возрастает с увеличением нагрузки (кривая 1) (рис. 4.1). Это объясняется тем, что при увеличении нагрузки возрастают объем, скорость и температура продуктов сгорания в газоходах котла и, следовательно, доля тепла, воспринятого конвективными поверхностями нагрева.

Тепловосприятие радиационных поверхностей нагрева растет не пропорционально нагрузке (кривая 2), с повышением нагрузки оно изменяется незначительно и при увеличении расхода пара температура его снижается.

Пароперегреватель современного парового котла, расположенный непосредственно за фестом, воспринимает тепло за счет конвекции и частично за счет радиации. Поэтому рост температуры перегрева пара с увеличением нагрузки значительно сокращается по сравнению с характеристикой чисто конвективного пароперегревателя и не превышает 20-30 °С при полном диапазоне изменений нагрузок (кривая 3), т.е. характеристика пароперегревателя способствует поддержанию постоянной температуры, но обеспечить ее не может.



**Рис. 4.1 - Статические характеристики пароперегревателя**

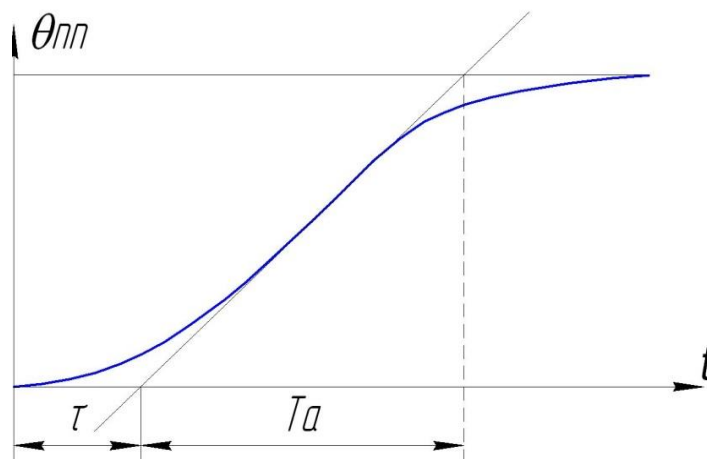
*Динамические свойства пароперегревателя.* Динамические свойства пароперегревателя определяются размерами его поверхностей нагрева, режимами работы и видом возмущения на пароперегреватель.

Нормальными для АСР температуры перегрева пара являются режимы изменения нагрузок от 60 до 100 % для пылеугольных котлов и 30-100 % для газомазутных котлоагрегатов.

*Возможные нарушения эксплуатационных режимов, вызывающие отклонение температуры перегрева, сводятся к трем основным типам возмущения на пароперегреватель:*

1. Изменение теплосодержания пара на входе в пароперегреватель за счет изменения его температуры или влажности;
2. Изменение тепловосприятости пароперегревателя за счет изменения температуры или количества греющих газов;
3. Изменение расхода пара через пароперегреватель.

*Особенностью динамических характеристик пароперегревателя при любых возмущениях является наличие запаздывания изменения температуры пара при выходе из пароперегревателя после поступления возмущающего воздействия (рис. 4.2).*



**Рис. 4.2 - Динамическая характеристика пароперегревателя**

Наиболее значительно запаздывание при возмущении теплосодержанием пара на входе в пароперегреватель. В зависимости от типа котла емкостное запаздывание может колебаться от 27 до 85 с.

Запаздывание объясняется тем, что при снижении температуры пара первые порции охлажденного пара, поступающего в пароперегреватель, нагреваются не только за счет переданного от газов тепла, но и частично за счет тепла, аккумулированного металлом труб пароперегревателя.

Время запаздывания  $\tau$  и время разгона  $T_a$  тем больше, чем больше толщина стенки и длина труб пароперегревателя.

При других видах возмущений время запаздывания на порядок меньше и динамические характеристики пароперегревателя близки по своему виду и характеру изменения температуры перегрева пара.

*Автоматическая система регулирования температуры перегрева пара* предназначена для поддержания заданного температурного режима в паровом тракте котла. С этой целью весь паровой тракт котельного агрегата разбивается на ряд участков. На выходе каждого из них должно поддерживаться заданное значение температуры, определенное заводом-изготовителем или наладочной организацией.

*АСР температуры перегрева пара должна гарантировать в регулировочном диапазоне работы котельного агрегата:*

- устойчивую работу автоматических регуляторов (отсутствие автоколебаний);
- ограниченную частоту включения регуляторов, которая при постоянной нагрузке не должна превышать шесть включений в минуту;
- поддержание заданного значения температуры перегрева пара при выходе из котла при номинальной нагрузке с максимальным отклонением менее 1 % номинального значения температуры;
- максимальное отклонение температуры при переходных режимах – 8 °С – для температуры свежего пара, 10 °С – для температуры пара промежуточного перегрева.

### ***Методы регулирования температуры перегрева пара***

*Существуют три метода регулирования температуры перегрева пара:* смешивания, поверхностного охлаждения и изменения теплового воздействия на пароперегреватель.

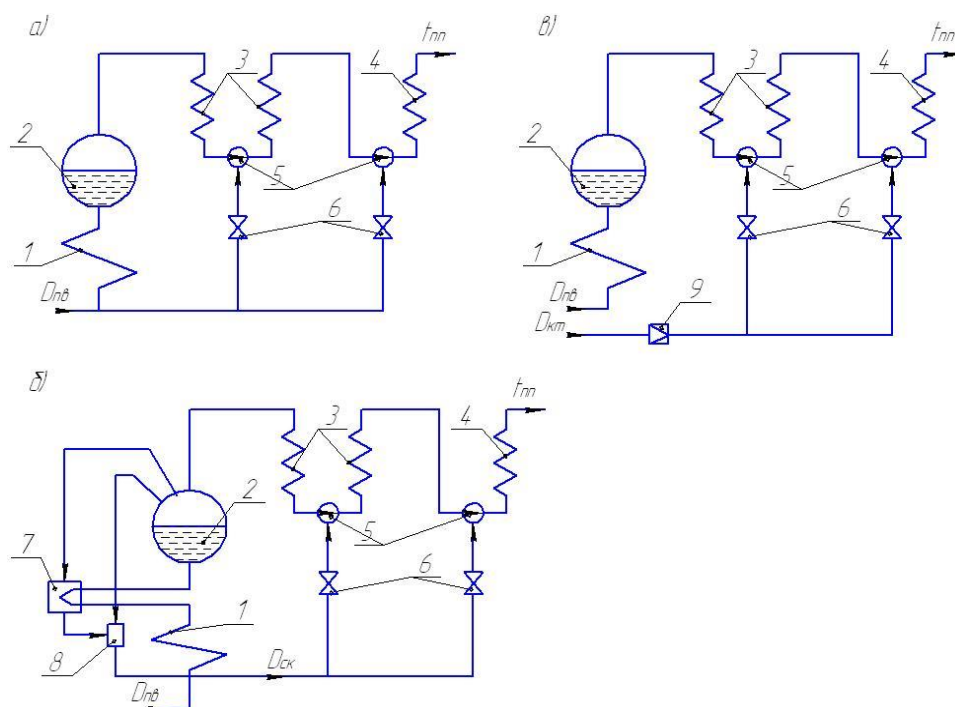
При регулировании температуры перегрева пара *смешиванием* в пар впрыскивается питательная вода или конденсат (турбины или собственный), либо вводится пар с меньшей энтальпией.

*Принцип действия впрыскивающего пароохладителя* основан на изменении энтальпии частично перегретого пара за счет теплоты,

отбираемый от него на испарение охладителя, впрыскиваемого в паровой тракт пароперегревателя. Регулирование температуры пара при выходе из пароперегревателя осуществляется изменением количества впрыскиваемого охладителя. За счет этого изменяется температура пара при выходе из пароперегревателя.

Впрыскивающие пароохладители устанавливаются в одном из промежуточных сечений пароперегревателя. Стремление получить хорошее качество регулирования температуры пара и обеспечить надежность металла поверхностей нагрева пароперегревателя привело к применению нескольких впрысков. Чаще всего ограничиваются двумя, так чтобы приращение энтальпии пара в пакете пароперегревателя за впрыском составляло 100-200 кДж/кг. Последний по ходу пара впрыск является основным, регулирующим температуру первичного пара.

На рис. 4.3 приведены схемы регулирования температуры перегрева пара методом смешивания путем впрыска питательной воды (а), забираемой из питательной магистрали, собственного конденсата котла, получаемого из насыщенного пара (б) и конденсата турбины (в), подаваемого на впрыск плунжерным насосом.



**Рис. 4.3 - Схемы впрыскивающего пароохлаждения:**

*1 - экономайзер, 2 - барабан котла, 3 - первая (радиационная) ступень пароперегревателя, 4 - вторая (конвективная) ступень пароперегревателя, 5 - впрыскивающие пароохладители, 6 - регулировочные клапаны впрыска, 7 - конденсатор, 8 - конденсатосборник, 9 - плунжерный насос,  $D_{пв}$  - расход питательной воды,  $D_{ск}$  - расход собственного конденсата,  $D_{кт}$  - расход конденсата турбины,  $t_{пп}$  – температура перегретого пара.*

Схема впрыска (рис. 4.3, а) применяется, когда солесодержание питательной воды не превышает нормы, допустимой по условиям работы котла.

Получение собственного конденсата на котлах обеспечивается за счет перепада давления между барабаном котла и местами впрыска (рис. 4.3, б).

Часть насыщенного пара из барабана поступает в конденсатор (7), где пар конденсируется за счет отдачи тепла питательной воде после экономайзера.

Конденсат стекает в конденсатосборник (8) и поступает на впрыск к регулировочным клапанам (6).

Собственный конденсат содержит меньше солей, чем питательная вода, давление в линии конденсата не зависит от изменения давления на напоре питательного насоса.

Благоприятным является фактор саморегулирования температуры при изменении нагрузки котла, в лучших условиях работают регулировочные клапаны, но недостатком этого метода является необходимость создания специальной установки для приготовления собственного конденсата и уменьшение располагаемого перепада давлений на клапане впрыска с уменьшением нагрузки котла. При наличии установок для получения конденсата резервным является впрыск питательной водой.

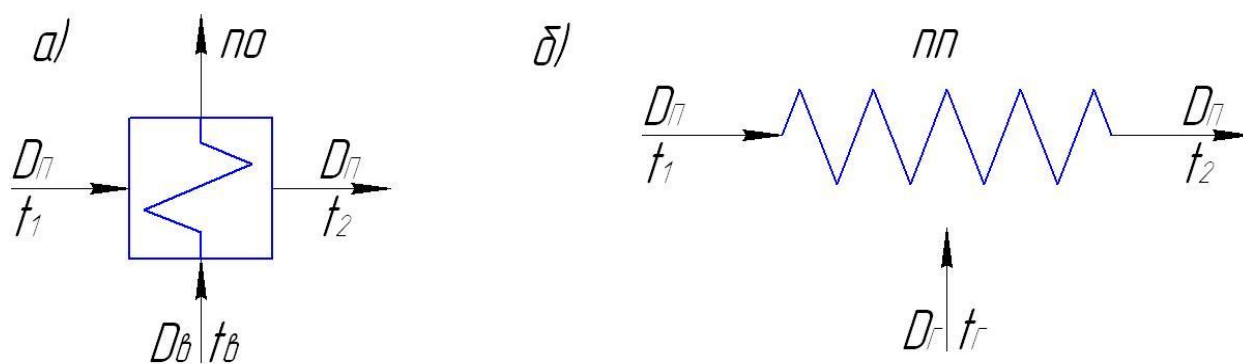
В целом впрыскивающие пароохладители находят наибольшее применение, т.к. они обладают хорошими динамическими свойствами - практическим отсутствием запаздывания и малой инерционностью в регулировании температуры.

Схема впрыскивающего пароохладителя (рис.4.3, в) применяется при отсутствии на котлах установки для приготовления собственного конденсата, а также когда использование для впрыска питательной воды недопустимо. Конденсат для впрыска подается к пароохладителям плунжерным насосом (9).

Регулирование температуры перегрева пара путем смешивания пара с различной энтальпией (байпасирование) применяется в основном при промежуточном перегреве пара.

При *поверхностном охлаждении* (рис. 4.4, а) регулирование температуры перегрева пара осуществляется количеством воды, подаваемой в поверхностный пароохладитель.

Этот метод применяется для регулирования температуры пара в барабанных котлах среднего и высокого давления в тех случаях, когда нельзя использовать для впрыска питательную воду из-за ее повышенного содержания, а установки для приготовления собственного конденсата отсутствуют.



**Рис. 4.4 - Схемы регулирования температуры перегрева пара:**

а) *поверхностным охладителем*, б) *изменением теплового воздействия.*

*ПО – пароохладитель, ПП – пароперегреватель,  $D_{п}$  – расход пара,  $D_{в}$  – расход воды,  $D_{г}$  – количество газов,  $t_1, t_2$  – температура пара на входе и выходе,  $t_{в}$  – температура воды,  $t_{г}$  – температура газов.*

В сравнении с впрыскивающими поверхностные пароохладители имеют большую инерционность и конструктивно сложнее. В паротурбинных энергоблоках эта схема не применяется.

При *газовом регулировании температуры перегрева пара* (рис. 4.4,б) изменение теплового восприятия поверхностями нагрева пароперегревателя (ПП) выполняется либо изменением расхода дымовых газов, омывающих пароперегреватель, либо рециркуляцией дымовых газов, или перераспределением дымовых газов по газоходам.

*Первый* вариант реализуется поворотом горелок или переключением горелок при многоярусном их расположении.

При *втором* варианте часть дымовых газов из конвективной шахты котла специальным дымососом возвращается в топку.

В *третьем* варианте схема регулирования температуры реализуется с помощью регулирующих заслонок для дымовых газов, проходящих через газоход, в котором расположен пароперегреватель.

*Недостатками схем газового регулирования* является большая инерционность, кроме того, регулирующие заслонки работают в тяжелых температурных условиях. В целом газовое регулирование температуры перегрева пара реализуется в сочетании с впрыском.

Из всего разнообразия методов регулирования температуры перегрева пара наибольшее применение получил метод смешивания. Общепринятой служит схема АСР, в которой регулятор температуры перегрева пара получает основной сигнал по отклонению температуры пара при выходе из пароперегревателя и дополнительный – пропорциональный скорости изменения температуры пара в промежуточной точке непосредственно за впрыском (рис. 4.5).

Пароперегреватель имеет два самостоятельных потока пара. В каждом из них установлен пароохладитель впрыскивающего типа. Из-за тепловых перекосов по ширине газохода котла температура пара в потоках пароперегревателя может изменяться неодинаково, поэтому работой каждого пароохладителя управляет свой регулятор.

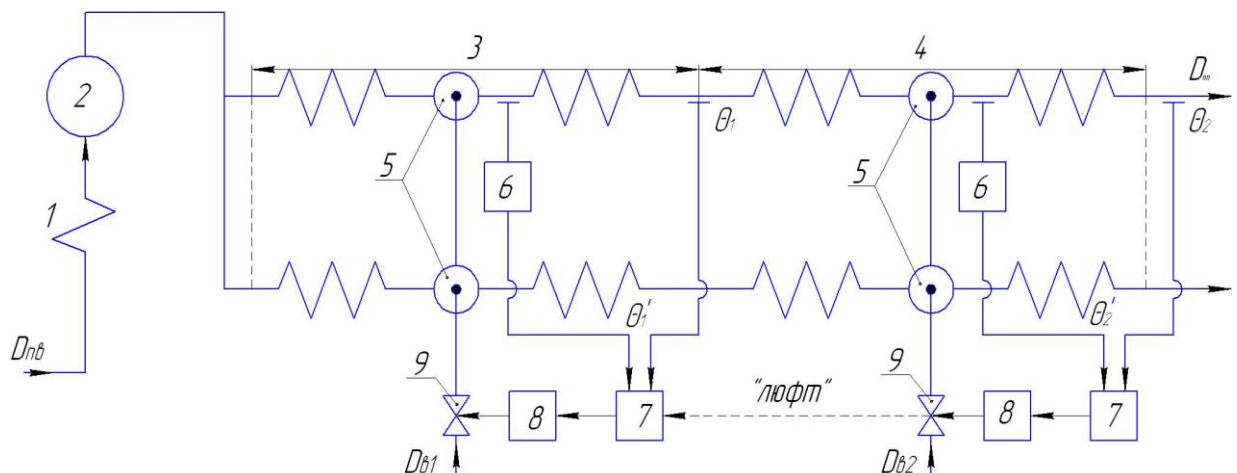
Сигналы по изменению температуры за ступенями пароперегревателя  $\theta_1$  и  $\theta_2$  и скорости изменения температуры пара за впрыском  $\Theta'_1$  и  $\Theta'_2$



поступают к регулятору (7), далее на исполнительные механизмы (8). Клапаны впрыска (9), жестко связанные с исполнительными механизмами, изменяют расход охладителя.

Чтобы исключить влияние на работу АСР температуры перегрева пара колебаний тепловосприятие второй ступени пароперегревателя, на вход регулятора впрыска первой ступени подают сигнал «люфт» от регулятора впрыска второй ступени.

Сигнал «люфт» поступает лишь в случае, когда регулирующий клапан впрыска второй ступени пароперегревателя займет положение близкое к полному открытию, примерно 85 % полного хода. При этом подается сигнал на увеличение открытия клапана первого впрыска, что позволяет ввести второй впрыск в диапазон регулирования.



**Рис. 4.5 - Принципиальная схема автоматического регулирования температуры перегрева пара:**

1 – экономайзер, 2 – барабан котла, 3 – первая (радиационная) ступень пароперегревателя, 4 – вторая (конвективная) ступень пароперегревателя, 5 – впрыскивающий пароохладитель, 6 – дифференциаторы, 7 – регуляторы, 8 – исполнительные механизмы, 9 – клапаны впрыска.  $D_{пв}$  – расход питательной воды,  $D_{пн}$  – расход перегретого пара,  $D_{в}$  – расход воды на впрыск,  $\theta_1, \theta_2$  – температуры пара за первой и второй ступенью пароперегревателя,  $\Theta'_1, \Theta'_2$  – скорость изменения температуры пара после первого и второго впрыска.

В элементный состав АСР температуры перегрева входят: датчики температуры (термопары), дифференциаторы, пропорционально-интегральные регуляторы, регулировочные клапаны – игольчатые, скальчатые, поворотные или шиберные. Последние выгодно отличаются от клапанов других типов отсутствием заедания, малым нерегулируемым пропуском, большими допустимыми перепадами давления (до 5 МПа). Расход охладителя на впрыск составляет 5-6 % от расхода питательной воды на котел.

***Контрольные вопросы:***

1. Что должно обеспечить автоматическое регулирование перегрева пара?
2. Статические характеристики пароперегревателя.
3. Динамические характеристики пароперегревателя
4. Для чего предназначена АСР температуры перегрева пара и что должна гарантировать в регулировочном диапазоне работы котельного агрегата?
5. Какие существуют методы регулирования температуры перегрева пара?
6. В чем заключается метод смешивания?
7. В чем заключается метод поверхностного охлаждения?
8. В чем заключается метод изменения теплового воздействия на пароперегреватель?

## **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5**

**Тема:** *«Автоматическое регулирование температуры пара вторичного перегрева».*

**Цель работы:** Изучить способы автоматического регулирования температуры пара вторичного перегрева.

**Содержание отчета:**

1. Конспект общих сведений данной работы.
2. Краткое описание способов регулирования температуры пара вторичного перегрева.

### ***Общие сведения***

Стремление к повышению тепловой экономичности паротурбинных установок (ПТУ) привело в начале 50-х годов к широкому изменению промежуточного перегрева пара. Практически все турбинные агрегаты мощностью выше 100 МВт имеют промежуточный перегрев пара.

В ПТУ большой единичной мощности на сверхкритических параметрах пара в случае применения дорогостоящего топлива может быть целесообразен двукратный пароперегрев пара.

Для промежуточных пароперегревателей впрыскивающие пароохладители обычно не применяются. Впрыск воды в пароперегреватель приводит к образованию пара, не прошедшего цилиндр высокого давления турбоагрегата, что снижает экономичность всей ПТУ.

Для паротурбинных блоков (ПТБ) при работе с переменными нагрузками температура вторичного пара должна поддерживаться с высокой точностью в допустимых пределах.

Для ПТБ, работающих в базовом режиме, необходимость в глубоком регулировании температуры пароперегрева не очевидна, что позволяет отказаться от специального регулирования температуры пара на выходе из пароперегревателя.

### ***Способы регулирования температуры пара вторичного перегрева***

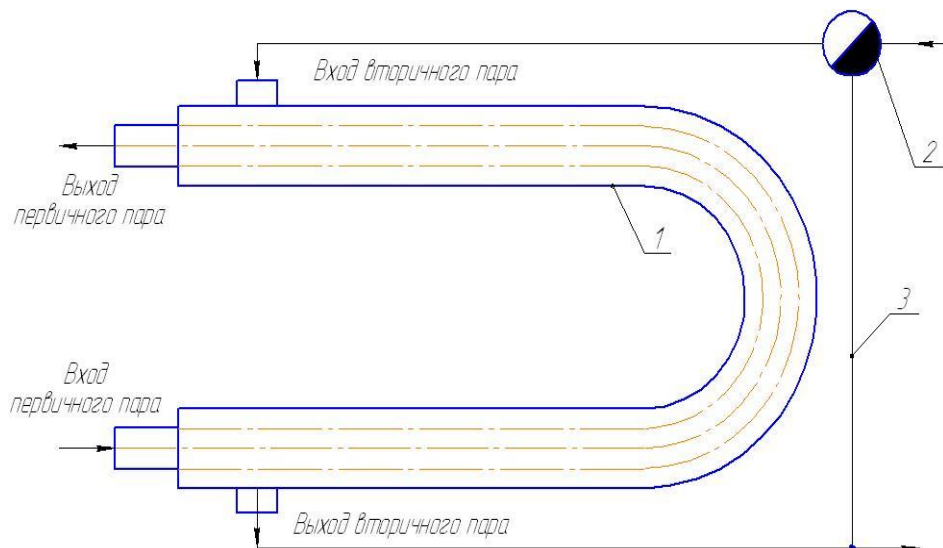
Для регулирования температуры пара вторичного перегрева используются *паропаровые* и *газопаропаровые теплообменники*.

*Способ регулирования* основан на передаче части тепла от пара высокого давления к пару, поступающему на вторичный перегрев после цилиндра высокого давления турбины.

*Паропаровые теплообменники (ППТО)* представляют собой вынесенный за пределы газохода корпус, выполненный из трубы большого диаметра (300-400 мм), внутри которого помещено большое количество (10-20 шт.) труб малого диаметра (25-38 мм) объединенных трубными досками.

Греющий пар высокого давления с температурой 450-520 °С движется внутри трубок. Внутри трубы большого диаметра встречно проходит вторичный пар (с температурой 320-350 °С), получая тепло от пара высокого давления (греющего).

Регулирование температуры вторичного перегрева пара производится путем изменения его расхода через ППТО с помощью трехходового клапана и обводного паропровода (рис. 5.1).



***Рис. 5.1 - Схема включения паропарового теплообменника:***

*1 – паропаровой теплообменник, 2 – трехходовой кран,*

*3 – обводной паропровод (байпас).*

При сокращении расхода пара через байпас теплообмен между паровыми средами усиливается, и температура пара пароперегрева за ППТО после смешения с байпасируемой частью повышается.

Температурный напор на «горячем» (на пару низкого давления) конце ППТО по технико-экономическим соображениям выбирается при всех режимах не менее 25 °С. Расход регулируемого потока пара через теплообменник не должен быть ниже 20 % от полного.

*Газопаропаровые теплообменники* чаще выполняются в виде ширм, расположенных в газоходе котла. В этом случае пар более низкого давления (вторичный) наряду с получением регулируемой доли тепла от первичного пара воспринимает также тепло продуктов сгорания.

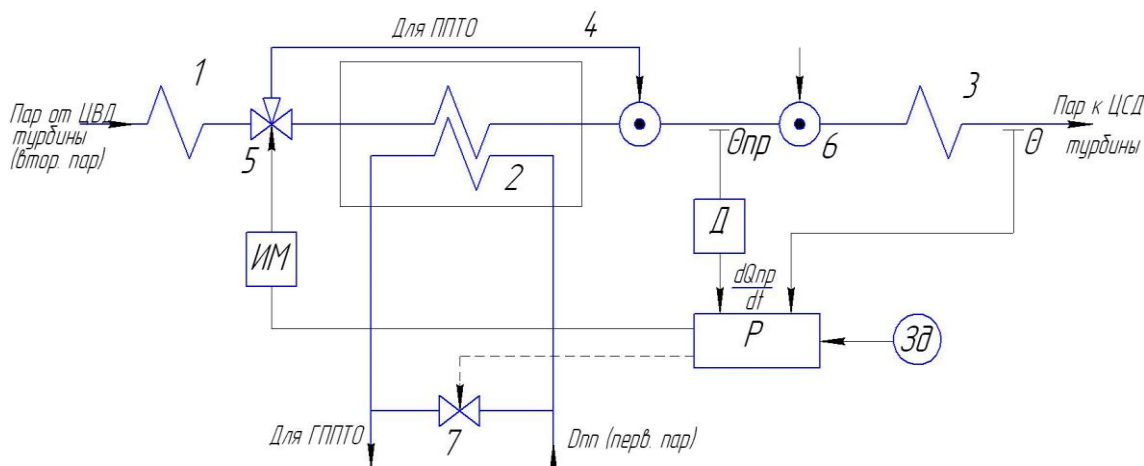
Поверхность теплообмена выполняется по принципу *«труба в трубе»*. Пар высокого давления (первичный) протекает по внутренним трубкам, а пар низкого давления по кольцевому сечению между трубками.

В связи с расширением ширм ГППТО в зоне высоких температур газов необходимо надежное охлаждение наружных труб. Поэтому в таких конструкциях ширм предусмотрено регулирование путем переменного пропуска через ширмы только первичного (греющего) пара. Пар вторичного перегрева проходит через ширмы всегда полным расходом.

В обоих случаях (ППТО и ГППТО) в качестве резервного средства регулирования на случай чрезмерного повышения температуры вторичного перегрева предусмотрен в АСР аварийный впрыск.

Принципиальная схема АСР температуры вторичного перегрева представлена на рис. 5.2.

Схема реализуется как для варианта использования ППТО, так и для ГППТО. Регулятор температуры пара вторичного перегрева получает сигналы по температуре пара на выходе из пароперегревателя  $\theta$  и скорости изменения температуры пара за байпасом  $\frac{d\theta_{np}}{dt}$ .



**Рис. 5.2 - Принципиальная схема регулирования температуры вторичного перегрева пара:**

1,3 – ступени вторичного пароперегрева, 2 – паровой или газопаровой теплообменник, 4 – байпасный паропровод, 5 – трехходовой регулирующий клапан, 6 – аварийный впрыскивающий пароохладитель, 7 – обводной клапан, Р - регулятор, ИМ – исполнительный механизм, Д – дифференциатор, ЗД – задатчик.

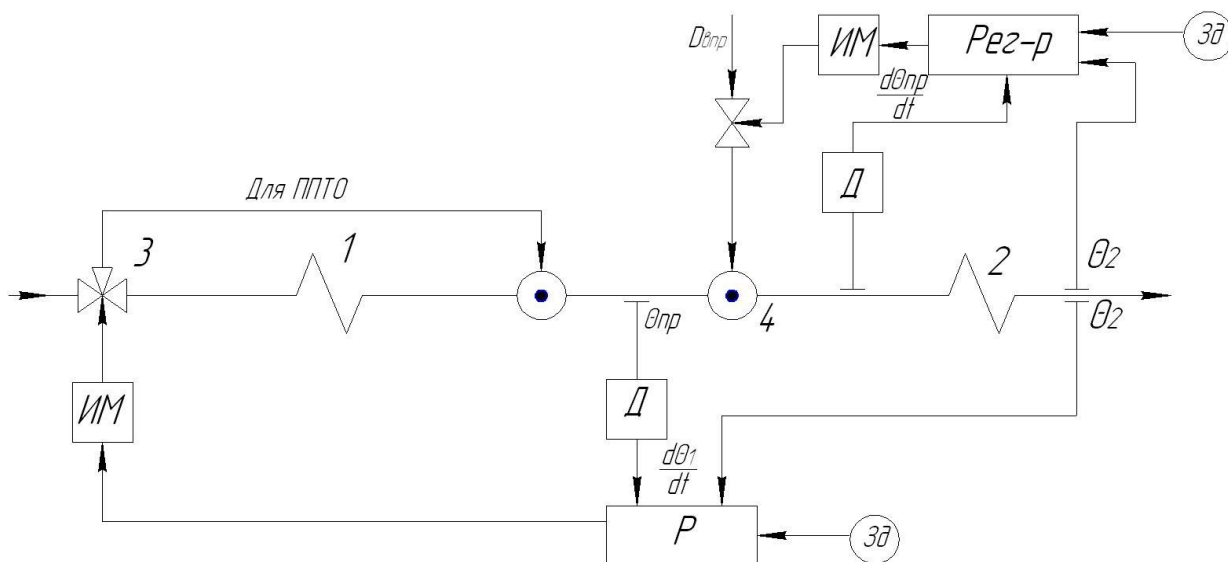
Вариант использования ГППТО менее инерционен, однако использование его не всегда обеспечивает достаточный диапазон регулирования температуры.

Особенностью регулирования температуры пароперегрева перепуском части пара вторичного перегрева в обвод конвективной поверхности пароперегревателя (байпасирование пара) является изменение тепловосприятости пароперегревателя при очень слабом влиянии на тракт первичного пара. В этом отношении регулирование температуры пара вторичного перегрева практически является автономным.

Принципиальная схема регулирования при использовании парового байпасирования (рис. 5.3).

Конструктивно «холодный пакет» (1-я ступень пароперегрева) размещается в зоне сравнительно низких температур газов, а «горячий пакет» (2-я ступень пароперегрева) выносится в зону высоких температур газов.

Тепловосприятие промежуточного пароперегревателя регулируется трехходовым клапаном, перепускающим часть «холодного» пара, помимо 1-го пакета пароперегревателя, на вход второго (горячего). При таком способе регулирования температура вторичного пара практически не зависит от температуры первичного, но диапазон регулирования может быть достаточно широким.



**Рис. 5.3 - Принципиальная схема регулирования температуры вторичного перегрева пара способом байпасирования:**

- 1 – первичный «холодный» пакет (первая ступень пароперегрева),
- 2 – вторичный «горячий» пакет (вторая ступень пароперегрева),
- 3 – трехходовой клапан, 4 – впрыскивающий пароохладитель.

На ПИ-регулятор температуры подаются сигналы: основной – по отклонению температуры на выходе из вторичного пароперегревателя и дополнительный скоростной, исчезающий в статике, по температуре пара после смешения холодного и частичного перегретого пара.

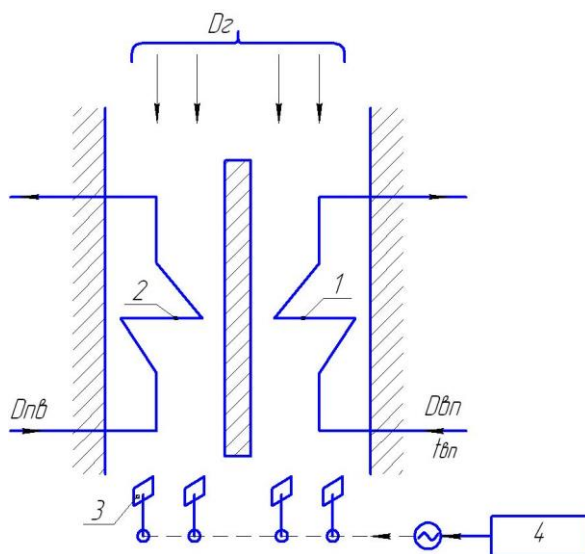
Для предотвращения чрезмерного повышения температуры на выходе пароперегревателя предусматривается дополнительный впрыск (4). При этом заданное значение температуры на выходе пароперегревателя для основного регулятора устанавливается меньшим, чем у регулятора впрыска, с тем, чтобы клапан аварийного впрыска в нормальном режиме работы был закрыт.

Возможность открытия клапана впрыска допускается только после полного открытия трехходового клапана.

При способе *газового регулирования* изменение температуры вторичного пара осуществляется за счет изменения количества теплоты, передаваемой поверхностями нагрева топочными газами. Чтобы общий расход топочных газов оставался неизменным перераспределяют поток газов между газоходами конвективного пароперегревателя и водяного экономайзера.

Схема газового регулирования температуры вторичного пара перераспределением потока газов показана на рис 5.4.

На вход регулятора температуры вторичного пара при газовом регулировании подаются два сигнала: основной - по температуре вторичного пара на выходе вторичного пароперегревателя, дополнительный - по скорости изменения температуры газов перед вторичным пароперегревателем, исчезающий в статике.



**Рис. 5.4 - Схема газового регулирования температуры вторичного перегрева пара:**

1 – вторичный пароперегреватель, 2 – экономайзер, 3 – поворотные заслонки, 4 – регулятор температур,  $D_{пв}$  – расход питательной воды,  $D_{вп}$  – расход вторичного пара,  $D_g$  – расход топочных газов,  $t_{вп}$  – температура вторичного пара.



***Контрольные вопросы:***

1. На чем основан способ регулирования температуры пара вторичного перегрева?
2. Что представляют собой паропаровые теплообменники (ППТО)?
3. Что представляют собой газопаропаровые теплообменники (ГПТО)?
4. Что является особенностью регулирования температуры пароперегрева перепуском части пара вторичного перегрева в обвод конвективной поверхности пароперегревателя (байпасирование пара)?
5. Какие сигналы подаются на ПИ-регулятор температуры?
6. Какие сигналы подаются на вход регулятора температуры вторичного пара при газовом регулировании?

## **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6**

**Тема:** *«Автоматическое регулирование непрерывной продувки барабанных паровых котлов».*

**Цель работы:** Изучить способы автоматического регулирования непрерывной продувки барабанных паровых котлов.

**Содержание отчета:**

1. Конспект общих сведений данной работы.
2. Краткое описание автоматического регулирования непрерывной продувки котла.

### **Общие сведения**

Химический состав воды, циркулирующей в барабанных котлах, оказывает существенное влияние на длительность их безостановочной работы и безремонтной компании.

К основным показателям качества котловой воды относят общее солесодержание (концентрация солей в пересчете на соли NaCl мг/кг) и избыток содержания фосфатов  $PO_4^{-3}$ . Повышение общего солесодержания может привести к уносу солей котловой воды в пароперегреватель и проточную часть турбоагрегата.

Недостаток концентрации фосфатов вызывает интенсивный процесс накипеобразования на внутренних поверхностях экранных труб, что ведет к ухудшению их охлаждения пароводяной смесью, а, следовательно, к перегреву в местах образования накипи и в конечном итоге к перегреву металла труб.

Поддержание общего солесодержания котловой воды в пределах нормы осуществляют с помощью *непрерывной* и *периодических продувок* из барабана в специальные расширители. Потери котловой воды с продувкой восполняют питательной водой в количестве, определяемом уровнем воды в барабане котельного агрегата.

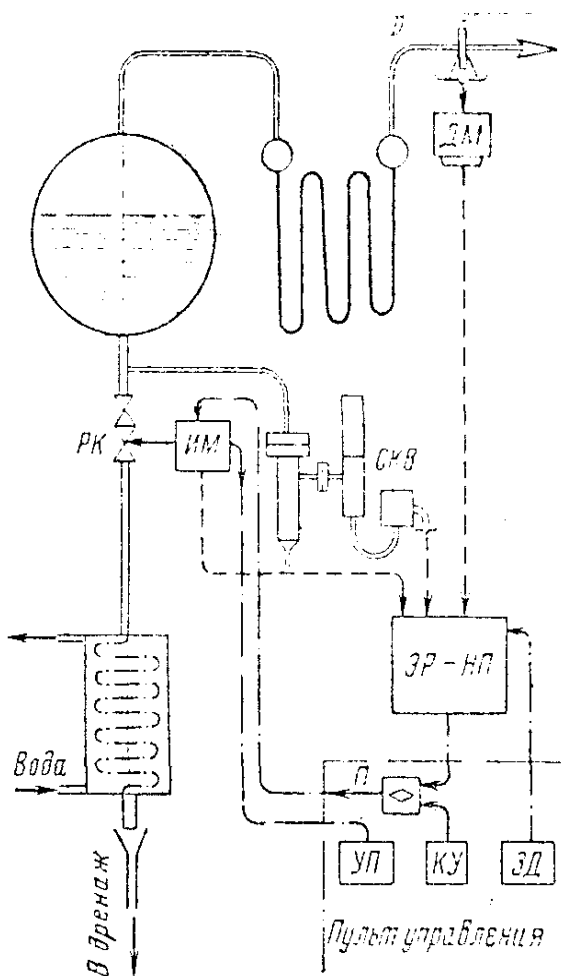
*Периодическую продувку* для удаления скоплений шлама в нижних коллекторах выполняют 1-2 раза в смену и, как правило, не автоматизируют.

*Непрерывная продувка* служит для удаления избытка соли  $\text{NaCl}$  и оксидов кремния  $\text{SiO}_2$ , скапливающихся в котловой воде в процессе парообразования.

Регулирование непрерывной продувки осуществляют воздействием регулятора продувки на регулировочный клапан на линии продувки.

### ***Автоматическое регулирование непрерывной продувки***

Питательная вода приносит в котел некоторое количество растворенных в ней солей. При образовании пара эти соли остаются в котловой воде. Через некоторое время концентрация их достигает недопустимой величины. Поэтому скопившиеся в котловой воде соли должны быть удалены периодической или непрерывной продувкой барабана котла.



***Рис. 6.1 – Схема автоматического регулирования непрерывной продувки барабанного котла***

На рис. 6.1 показана схема автоматизации непрерывной продувки. Проба воды отбирается из линии непрерывной продувки до регулирующего клапана *РК* и поступает к солемеру котловой воды *СКВ*. Солемер котловой воды работает при температуре пробы после расширителя от 20 до 50 °С для того, чтобы не было погрешности измерения.

Содержание солей в пробе определяется по величине ее электрического сопротивления.

Накопление солей в котловой воде происходит с небольшой скоростью, поэтому котел, как объект регулирования непрерывной продувки, обладает малой скоростью разгона.

Для регулирования непрерывной продувки обычно применяются П-регуляторы с жесткой обратной связью, охватывающей весь регулятор, включая исполнительный механизм *ИМ*.

Так как расход продувочной воды должен быть пропорционален паропроизводительности котла *D*, то схема регулирования дополняется сигналом от дифманометра *ДМ*, измеряющего расход пара, вырабатываемого котлом.

*Этот* сигнал автоматически изменяет задание регулятору непрерывной продувки при изменении нагрузки котла.

На пульте управления расположены ручная кнопка управления КУ для перехода с автоматического на ручное управление исполнительным механизмом, задатчик *ЗД* и указатель положения *УП*.

#### ***Контрольные вопросы:***

1. Что относят к основным показателям качества котловой воды?
2. Что вызывает недостаток концентрации фосфатов на внутренних поверхностях экранных труб?
3. Чем отличается периодическая продувка от непрерывной?
4. Опишите схема автоматической непрерывной продувки.

## **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7**

**Тема:** *«Автоматическое регулирование прямоточных котлов».*

**Цель работы:** Изучить способы автоматического регулирования прямоточных котлов.

**Содержание отчета:**

1. Конспект общих сведений данной работы.
2. Краткое описание автоматического регулирования процессов горения и питания прямоточных котлов.
3. Краткое описание автоматического регулирования температуры пара прямоточных котлов.

### **Общие сведения**

*Особенности прямоточных котлов как объектов регулирования:*

- большая протяженность пароводяного тракта котла, который укрупнено может быть разделен на три зоны – экономайзерную или водяную, испарительную или переходную, пароперегревательную или паровую;

- положение точки границы между испарительной и перегревательными зонами, изменяется в зависимости от паропроизводительности котла, количества подводимой теплоты и расхода питательной воды.

В котлах на сверхкритические параметры пара испарительная зона отсутствует, четкой границы между водяной и паровой зонами нет.

Автоматическое регулирование работы прямоточных котлов сложнее, чем барабанных. Объясняется это, во-первых, тем, что на такие регулируемые величины прямоточного котла, как расход, давления и температура пара, существенно влияют несколько регулирующих воздействий, а именно расходы питательной воды, воды на впрыски, топлива, что приводит к возникновению взаимных связей между отдельными регуляторами через объект регулирования.

Во-вторых, играет роль и то, что возмущения топливом и питательной водой действуют в прямоточных котлах на температуру пара значительно

интенсивнее, чем в барабанных. Это связано с тем, что суммарная аккумулирующая способность прямоточных котлов меньше, чем барабанных для одинаковой их паропроизводительности. Последнее обстоятельство затрудняет стабилизацию температуры пара.

### ***Регулирование процессов горения и питания прямоточных котлов***

На отечественных прямоточных котлах применяют два варианта принципиальных схем регулирования питания и топлива.

В *первом* варианте на регулятор топлива возлагается функция поддержания заданной нагрузки котла, а на регулятор питания – функция приведения расхода питательной воды в соответствие с тепловой нагрузкой.

Схема регулирования реализована по принципу регулирования «тепло-вода» (рис. 7.1, а).

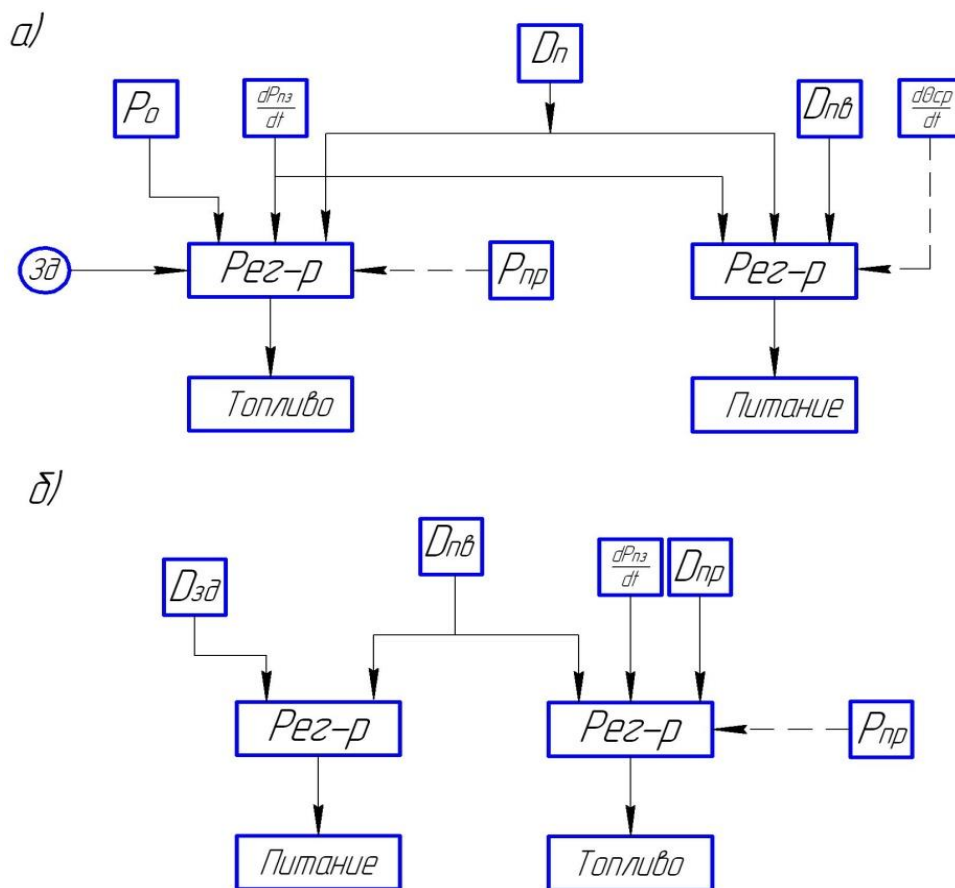
Задающим сигналом регулятору топлива является сигнал по давлению пара ( $P_0$ ) при выходе из котла или от задатчика ручного управления (Зд).

*В качестве величины, характеризующей тепловую нагрузку котла, используются:*

а) сигнал по расходу пара в промежуточном сечении пароводяного тракта (переходной зоне) до первого впрыска - «видимый» расход пара  $D_{\text{пр}}^{\text{вид}}$ , который отличается от действительного  $D_{\text{пр}}^0$  из-за отклонения плотности пара  $\rho_{\text{пр}}$  в месте установки сужающего устройства (диафрагмы) от принятого для его расчета значения ( $\rho_{\text{пр}}^0$ ).

$$D_{\text{пр}}^{\text{вид}} = D_{\text{пр}}^0 \sqrt{\rho_{\text{пр}}^0 / \rho_{\text{пр}}}$$

б) сигнал по скорости изменения давления пара в переходной зоне  $dP_{\text{пз}} / dt$ . Этот сигнал компенсирует отклонение расхода пара, связанного с изменением аккумулированной теплоты при внешних изменениях нагрузки.



**Рис. 7.1 - Структурные схемы регулирования топлива и питания прямоточного котла**

Кроме того, в этой схеме используется сигнал к регулятору топлива по давлению пара в промежуточной точке за диафрагмой ( $P_{np}$ ) для компенсации влияния отклонения этого давления от расчетного значения на видимый расход пара.

Для устранения влияния впрысков на расход питательной воды и повышения устойчивости АСР к регулятору питательной воды подается сигнал по скорости изменения температуры пара в средней радиационной части, после сужающего устройства  $\frac{d\theta_{cp}}{dt}$ .

Применение схемы регулирования «топливо-вода» целесообразно при нестабильной работе пылеподающих устройств, недостаточном диапазоне регулирования топлива и других условиях, когда регулятор топлива не может обеспечить поддержания заданной тепловой нагрузки с такой точностью,

чтобы без участия регулятора питания температура пара не выходила за допустимые пределы.

Во *втором* варианте схема регулирования организована по принципу «вода-тепло» (рис. 7.1, б). При этом регулятор питания поддерживает заданную нагрузку котла, а регулятор топлива приводит тепловую нагрузку в соответствие с расходом питательной воды.

К числу *преимуществ* второго варианта относят отсутствие связи регулятора питания через объект регулирования с регуляторами топлива и впрысков, что упрощает наладку и эксплуатацию системы регулирования, обеспечивает более точное поддержание температуры пара по пароводяному тракту в процессе изменения нагрузки котла и более точное поддержание нагрузки при топочных возмущениях.

Схемы регулирования воздуха и тяги аналогичны схемам для барабанных котлов.

### ***Регулирование температуры пара прямоточных котлов***

*Особенности прямоточного котельного агрегата как объекта регулирования температуры:*

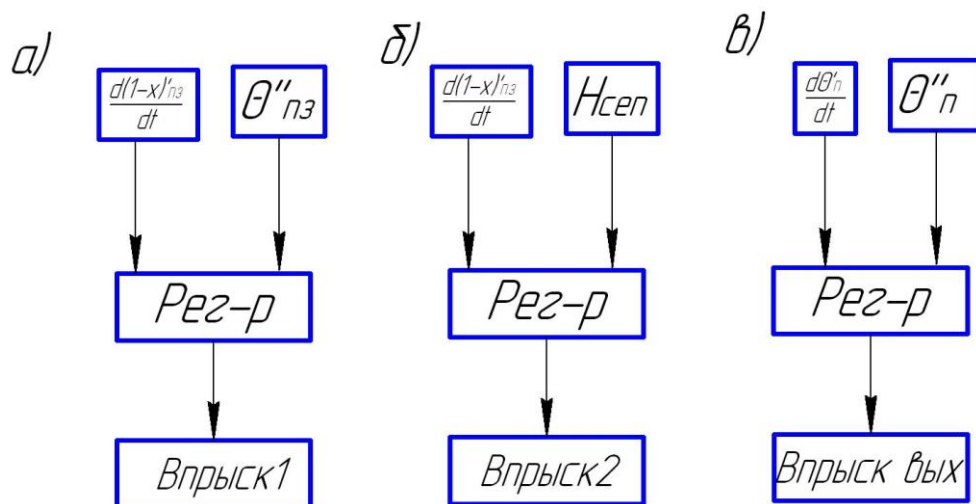
- на изменении температуры перегретого пара прямоточных котлоагрегатов резко сказываются любые возмущающие воздействия;
- недопустимо смещение границ фазового перехода испарительной и перегревательной зон при изменении режима работы котлоагрегата.

Регуляторы промежуточных впрысков на прямоточных котлах выполняют функции поддержания температуры и влажности пара в переходной зоне, а для котлов с сепарацией пара – влажности пара перед сепаратором. В схемах этих регуляторов широко применяются опережающие скоростные импульсы.

Так, регулятор первого по ходу пара и воды впрыска (рис. 7.2, а) помимо основного сигнала по температуре пара за первым пакетом переходной зоны  $\Theta''_{пз}$ , воспринимает скоростной сигнал по влажности пара



в начале пакета  $\frac{d(1-x)_{нз}}{dt}$ . Для регулятора второго впрыска (рис. 7.2, б) на котлах с промывочно-сепарационной схемой основным сигналом служит уровень в мерительном сосуде сепаратора  $H_{сеп}$ , характеризующий расход отсепарированной влаги, а опережающим – сигнал по скорости изменения влажности в начале переходной зоны. Регулятор выходного впрыска (рис. 7.2, в) действует по температуре пара за котлом  $\Theta''_n$  и скорости изменения температуры за впрыском  $\frac{d\Theta'_n}{dt}$ .



**Рис. 7.2 - Структурная схемы регулирования температуры пара**

Современные схемы регулирования отечественных прямоточных котлов дают возможность котлам работать в резко переменном режиме.

**Контрольные вопросы:**

1. Особенности прямоточных котлов как объектов регулирования.
2. Принцип регулирования «тепло-вода».
3. Принцип регулирования «топливо-вода».
4. Принцип регулирования «вода-тепло».
5. Особенности прямоточного котельного агрегата как объекта регулирования температуры.

## **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8**

**Тема:** *«Автоматическое регулирование вспомогательного оборудования котельных агрегатов ТЭС».*

**Цель работы:** Изучить способы автоматического регулирования вспомогательного оборудования котельных агрегатов ТЭС.

### **Содержание отчета:**

1. Конспект общих сведений данной работы.
2. Краткое описание автоматического регулирования пылесистем с шаровыми барабанными мельницами
3. Краткое описание автоматического регулирования молотковых мельниц.

### **Общие сведения**

*В системе топливоподачи автоматизируются следующие периодические операции:*

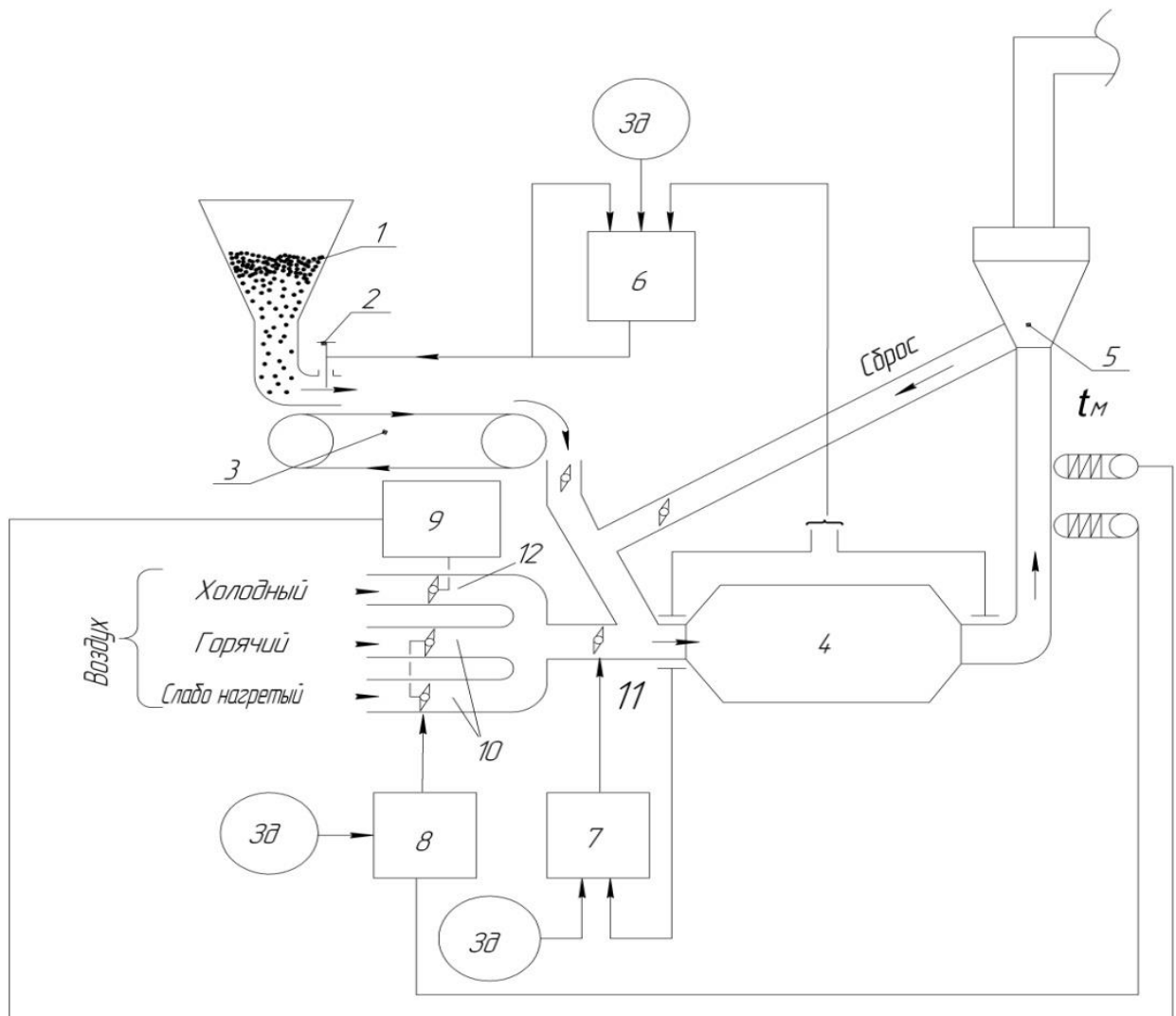
- пуск механизмов и ленточных транспортеров;
- процесс загрузки бункеров сырого угля и отключение механизмов и транспортеров по окончании загрузки;
- включение вибраторов при застревании угля в узлах пересылки;
- останов всех предыдущих по ходу топлива транспортеров при пробуксовке, обрыве и сходе ленты или забивании приемных устройств на последующих транспортерах.

### **Регулирование пылесистем с шаровыми барабанными мельницами**

В системах пылеприготовления с промежуточным бункером размол и подсушку топлива осуществляют в шаровых барабанных тихоходных мельницах (ШБМ). Производительность ШБМ и расход топлива, поступающих в топку, не связаны между собой, так как ШБМ работает на промбункер пыли, откуда через шнековый питатель пыль поступает в топку.

Производительность ШБМ и ее загрузка однозначно связаны лишь до определенных пределов, а именно, появления завала мельницы, когда чрезмерная толщина слоя топлива внутри мельницы препятствует захвату

стальных шаров вращающимся барабаном, и масса шаров «проскальзывает» относительно его корпуса. Принципиальная схема регулирования пылесистемы с ШБМ представлена на рис. 8.1.



**Рис. 8.1 - Принципиальная схема регулирования пылесистемы с шаробарабанной мельницей:**

1 – бункер сырого угля, 2 – шибер ленточного питателя, 3 – ленточный питатель топлива, 4 – шаробарабанная мельница, 5 – сепаратор, 6 – регулятор загрузки мельницы, 7 – регулятор разрежения во входной горловине мельницы, 8 – регулятор температуры аэросмеси за мельницей, 9 – регулятор аварийной присадки холодного воздуха, 10 – сепарационные заслонки, 11,12 – заслонки, Зд – задатчик ручного управления.

*Регулирование загрузки мельницы.* Загрузку ШБМ оценивают по перепаду давлений  $\Delta P_m$  воздушной смеси до и после мельницы либо измерения разности скоростей смеси в тех же точках.

Стабилизацию загрузки осуществляют воздействием на положение ножа питателя сырого угля (ленточного или тарельчатого) в зависимости от значения выбранного показателя загрузки и перепада давления.

Однако производительность мельницы желательно поддерживать не постоянной, а изменять в зависимости от вентиляции, уменьшая с увеличением вентиляции и наоборот. Это позволяет стабилизировать дисперстность помола при нарушениях воздушного режима мельницы. В этом случае угрубление размола пыли, вызванное увеличением расхода воздуха, будет компенсироваться уменьшением загрузки мельницы.

В схеме регулирования производительности мельницы используется двухимпульсный регулятор загрузки мельницы (6) с жесткой обратной связью по положению регулировочного органа – шибера ленточного питателя (2) и основным сигналом по перепаду давлений аэросмеси на мельнице  $\Delta P_m$ .

*Регулирование разрежения перед мельницей.* Шаровая барабанная мельница (4) должна находиться под постоянным разрежением, чтобы предотвратить выбивание пыли из ее горловин. Входным сигналом для ПИ-регулятора разрежения (7) является разрежение перед мельницей ( $S_m$ ). Регулятор воздействует на заслонку (11) на линии подвода общего греющего воздуха к мельнице.

*Регулирование температуры воздушной смеси за мельницей.* Температуру аэросмеси за мельницей  $t_m$  стабилизируют в заданных пределах воздействием на расход смеси слабоподогретого и горячего воздуха.

Правила технической эксплуатации котельных агрегатов устанавливают максимально допустимые значения температур аэросмеси за мельницей для топлив с влажностью до 25 % - 70 °С, для топлив с

влажностью свыше 25 % - 80 °С, для тощих углей – 100 °С. В качестве оптимальной принимается  $t_m$  на 3-5 °С ниже максимально допустимой.

ПИ-регулятор температуры аэросмеси (8) получает сигнал  $t_m$  от датчика температуры аэросмеси за мельницей и через исполнительный механизм перемещает в нужном направлении заслонки (10), установленные на линиях подачи слабоподогретого и горячего воздуха. Сочленение исполнительного механизма с заслонками выполнены так, что при открытии одной из них другая закрывалась и, наоборот, с тем, чтобы общий расход воздуха на мельницу оставался неизменным.

В пылесистемах со взрывоопасными топливами кроме регулятора температуры аэросмеси предусмотрен регулятор аварийной присадки холодного воздуха (9), открывающий заслонку (12) на линии подачи холодного воздуха в случае повышения температуры аэросмеси  $t_m$  сверх допустимого значения и размыкании концевого или путевого выключателя «меньше» исполнительного механизма регулятора температуры аэросмеси за мельницей.

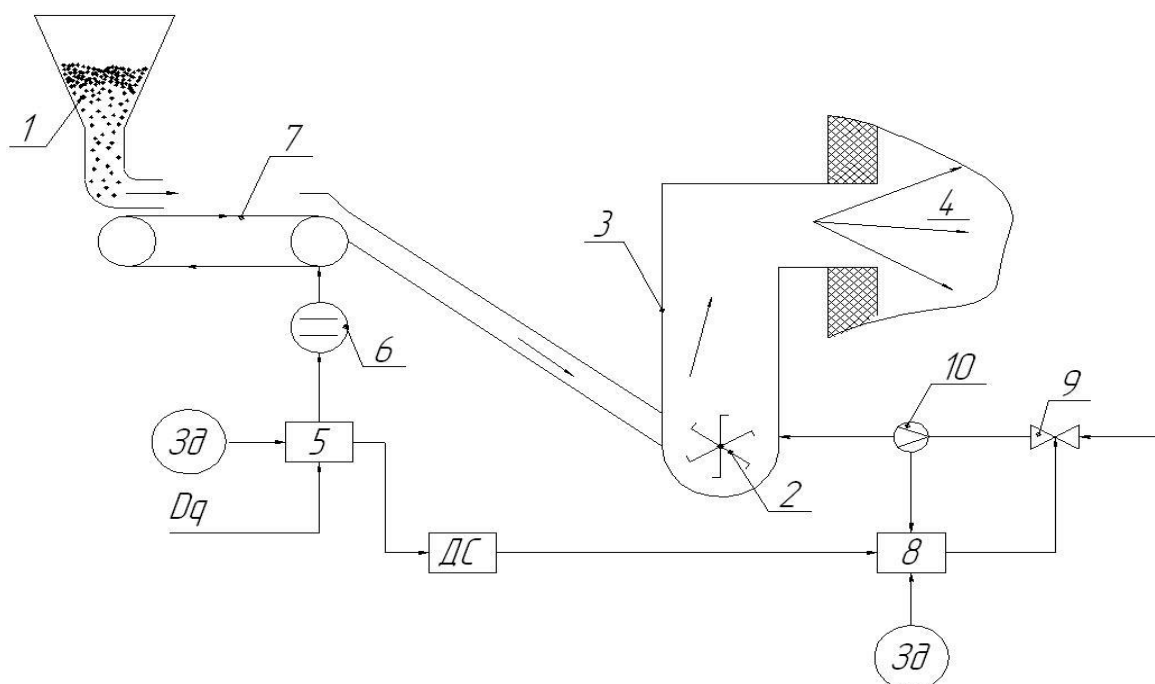
### ***Регулирование молотковых мельниц***

При камерном способе сжигания легко воспламеняющихся сортов топлива применяют пылесистемы с непосредственным вдуванием пыли в топку.

В отличие от шаровой барабанной мельницы, работающей на промежуточный бункер, подача молотковой мельницы непосредственно определяет расход топлива, поступающего в топку из бункера сырого угля.

Размол топлива осуществляется в молотковой быстроходной мельнице (МБМ). В ней же начинается подогрев аэросмеси, который завершается в шахте, соединяющей МБМ с топкой.

Система регулирования подачи топлива МБМ (рис. 8.2) связана с работой регуляторов тепловой нагрузки котла, задание от которого  $D_q$  поступает в АСР загрузки мельницы.



**Рис. 8.2 - Принципиальная схема регулирования пылесистемы с молотковой быстроходной мельницей**

1 – бункер сырого угля, 2 – молотковая быстроходная мельница (МБМ), 3 – шахта, 4 – топка, 5 – регулятор загрузки мельницы, 6 – электропривод, 7 – ленточный питатель сырого угля, 8 – регулятор расхода первичного воздуха, 9 – заслонка на подаче первичного воздуха, 10 – расходомер (сужающее устройство); ДС – устройство динамической связи.

Регулятор загрузки мельницы поддерживает требуемую подачу топлива и оптимальную тонины помола пыли, воздействуя на электропривод с регулируемой частотой вращения (6), связанный с приводом барабана ленточного питателя сырого угля (7).

Стабилизация требуемой тонины помола пыли осуществляется с помощью регулятора расхода первичного воздуха (8), действующего на заслонку (9) по сигналу перепада давления на сужающем устройстве (10), установленного на подводе греющего воздуха к мельнице (2).

Изменение подачи пыли при воздействии на загрузку мельницы (2) происходит со значительной инерцией.

Для ускорения процесса изменения количества вдуваемой в топку пыли используется сигнал по тепловой нагрузке или сигнал динамической

связи ДС от регулятора загрузки мельницы (5) на регулятор первичного воздуха (8).

Для стабилизации влажности пыли в заданных пределах предусмотрен регулятор температуры аэросмеси за мельницей, действующий на изменение соотношения расходов горячего и слабонагретого воздуха таким же способом, как и в системе регулятора температуры аэросмеси для котлоагрегатов с шаровыми барабанными мельницами.

***Контрольные вопросы:***

1. Какие операции автоматизируются в системе топливоподачи?
2. Регулирование загрузки мельницы.
3. Регулирование разрежения перед мельницей.
4. Регулирование температуры воздушной смеси за мельницей.
5. Регулирование молотковых мельниц.

## **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 9**

**Тема: «Автоматические тепловые защиты котельных агрегатов ТЭС».**

**Цель работы:** Изучить способы автоматических тепловых защит котельных агрегатов ТЭС.

**Содержание отчета:**

1. Конспект общих сведений данной работы.
2. Краткое описание автоматического регулирования защиты барабанных паровых котлов.

### **Общие сведения**

*Автоматические тепловые защиты* - это автоматические защитные устройства (АЗУ), обслуживающие тепловую часть электрической станции.

*Автоматические защитные устройства (АЗУ)* представляют собой системы непрямого действия, включающие отдельные, связанные между собой элементы: первичные приборы-датчики, снабженные электрическими контактами, усилительные устройства, промежуточные реле, устройство пуска и останова исполнительных механизмов.

АЗУ устанавливаются для контроля наиболее ответственных параметров, чрезмерное отклонение которых от заданных значений ведет к нарушению нормального технологического процесса и повреждению оборудования.

Практически всегда действие тепловой защиты увязывается с работой логических систем управления, которые позволяют выключать и отключать электрические пусковые устройства вспомогательных механизмов в определенной последовательности – «по цепочке».

По степени воздействия на защищаемые установки защитные устройства разделяются на *основные (главные)* и *местные (локальные)*.

К *основным* относятся защитные устройства, срабатывание которых приводит к останову котла или электроблока в целом или к глубокому снижению их нагрузки.



*Локальные защиты* предотвращают развитие аварии без останова основных агрегатов.

В качестве источников электрического питания защитных устройств на ТЭС служат аккумуляторные батареи с напряжением на выходе 220 В, которые обеспечивают электроснабжение цепей защиты при авариях, сопровождаемых полной потерей напряжения переменного тока в системе собственных нужд.

Кроме того, питающее напряжение подводится к панелям защиты по двум независимым линиям, одна из которых является резервной. При этом сигнал об отклонении напряжения питания на каждую из групп защит автоматически передается на щит управления с помощью специальных устройств (световое табло, звуковой сигнал).

*Мерой надежности тепловых защит* служит среднее время наработки на один отказ или среднее время работы оборудования между двумя отказами.

$$\tau_{\text{ср}} = \sum_{i=1}^n t_i / n ,$$

где  $t_i$  – время наработки на один отказ,

$n$  – число отказов.

В соответствии с нормативными требованиями  $\tau_{\text{ср}}$  при проектировании систем защит должно быть не ниже 200 тыс. часов, но по опытным данным для реальных защит  $\tau_{\text{ср}}$  пока не превышает 5-10 тыс. часов.

### ***Автоматические защиты барабанных паровых котлов***

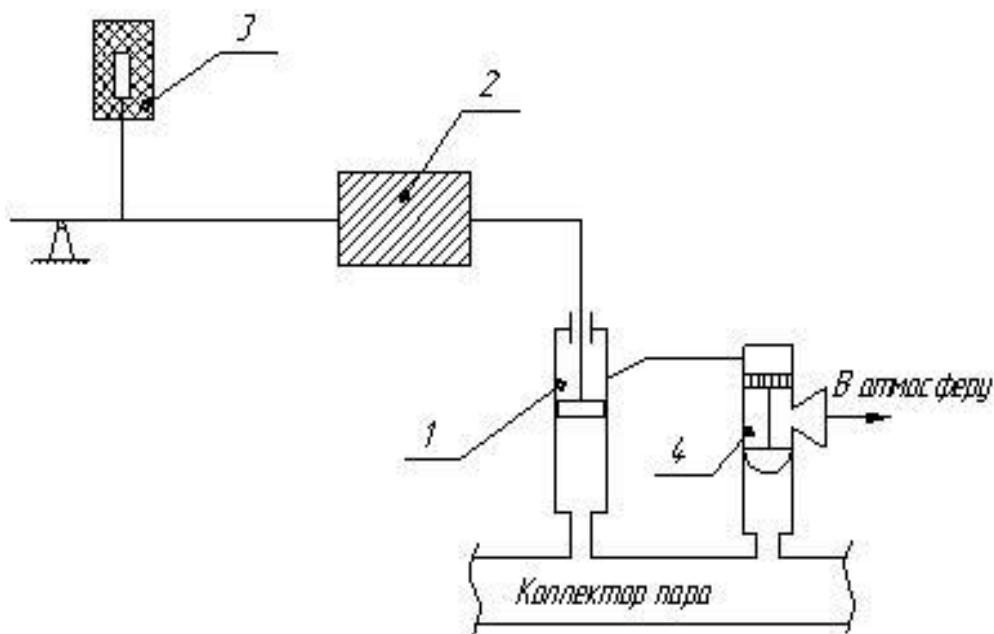
*Защита от повышения давления пара.* Паровой котел на случай повышения давления пара сверх допустимого снабжается предохранительными клапанами, действующими по принципу регуляторов давления «до себя» (управляющий сигнал на регулятор выбирается до регулирующего органа).

Клапаны устанавливаются на выходном коллекторе пароперегревателя и барабане котельной установки. Суммарная пропускная способность этих

клапанов выбирается с некоторым запасом по отношению к максимальной паропроизводительности котла на случай отказа части клапанов.

При этом клапаны, установленные на выходном коллекторе, должны открываться раньше барабанных и при меньшем по абсолютному значению давления пара на 0,2-0,3 МПа, с тем, чтобы обеспечить охлаждение змеевиков пароперегревателя паром при наличии факела в топке.

На современных паровых котлах и паровых коллекторах в комплекте предохранительных клапанов используются специальные импульсные устройства – импульсные клапаны (рис. 9.1).



**Рис. 9.1 - Принципиальная схема импульсного предохранительного устройства:**

- 1 – импульсный клапан, 2 – груз, 3 – электромагнит,  
4 – главный предохранительный клапан.*

При нормальном давлении импульсный клапан (1) закрыт под давлением груза (2). Главный клапан (4) плотно закрыт под давлением пара в коллекторе. При повышении давления пара в коллекторе пароперегревателя сверх допустимого сначала открывается импульсный клапан (1) за счет того, что сила давления пара на запорную тарелку клапана превышает силу давления на нее со стороны груза (2).

Кроме того, импульсный клапан (1) может быть открыт под действием усилия электромагнита (3), который действует по сигналу от электроконтактного манометра.

При открытии импульсного клапана (1) давление пара над поршнем главного клапана (4) возрастает по сравнению с давлением в коллекторе, и поршень начнет смещаться вниз, открывая главный клапан (4). Это вызовет пропуск избыточного пара в атмосферу и восстановление давления пара в коллекторе паропровода до значения, при котором импульсный клапан (1) вновь закроется под действием груза (2) или электромагнита (3).

Прекращение доступа пара со стороны импульсного клапана (1) в надпоршневое пространство главного клапана (4) вызовет его закрытие под действием давления пара в коллекторе.

*Защита по уровню воды в барабане.* Упуск уровня и перепитка барабана относятся к самым тяжелым авариям на ТЭС. Каждый паровой котел оснащается системой автоматической защиты от повышения и понижения уровня. Понижение уровня на 100-200 мм ниже установленного предела вызывает останов котельной установки – отключаются дутьевые вентиляторы и системы топливоснабжения.

Защита от понижения уровня выполняет одновременно функции защиты от разрыва экранных труб парового котла, так как упуск воды в барабане котла приводит к нарушению питания экранных труб и пережогу их при наличии факела в топке.

Защита от превышения уровня сверх установки сигнализации по уровню имеет два предела срабатывания. Достижение уровнем первого предела до 100 мм вызывает открытие запорных задвижек на линии аварийного сброса воды из барабана. При достижении уровнем второй предельной отметки (до 120-150 мм) действие защитных устройств должно привести к останову котла, как и при упуске воды.

Логические схемы защит осуществляют последовательность срабатывания пусковых и отключающих устройств. Так, для срабатывания

защиты от повышения уровня в барабане до 2-го установленного значения на защитное устройство должны поступать сигналы датчиков уровня № 1 (100 мм) и № 2 (120-150 мм).

Если сигнал поступает одновременно от двух датчиков, система защиты отключит дутьевой вентилятор и подачу топлива. Останов дутьевого вентилятора и прекращение подачи топлива в топку котельного агрегата должны вызвать закрытие главной паровой задвижки для прекращения доступа пара в котел из общей магистрали с одновременным открытием продувки пароперегревателя и закрытием запорного клапана на линии впрыска собственного конденсата для предотвращения доступа воды в пароохладитель и паровой котел.

*Защита от потускнения и погасания факела.* В случае погасания факела в топке подача топлива на котел должна быть прекращена, так как его скопление может привести к образованию взрывоопасной смеси, одновременно отключаются дутьевые вентиляторы.

Паровые котлы, работающие на пылевидном топливе, дополнительно снабжаются защитой от потускнения факела, воздействующей на подачу резервного топлива - включение газовых горелок или мазутных форсунок при снижении уровня светимости факела.

Схема защиты содержит реле времени, которое задерживает команды на открытие клапана с электромагнитным приводом на линии резервного топлива на 5-10с., что необходимо для предотвращения ложных срабатываний в случае кратковременных потускнений (мерцаний) факела.

*Защита от понижения температуры первичного перегретого пара.* Автоматические защитные устройства этого вида выполняют роль защиты от заброса частиц воды в паропровод и проточную часть турбоагрегата.

При понижении температуры пара до предельного значения сигнал от температурного датчика (термопары) воздействует на останов дутьевого вентилятора и далее на останов котла.

В энергоблоках защита от понижения температуры пара относится к турбине и воздействует на закрытие его стопорного клапана.

Аналогично устроена защита от повышения температуры первичного пара сверх установленного максимально значения.

*Защитные устройства мельничных систем парового котла.* Помимо защит от повышения температуры аэросмеси за шаровой и молотковой мельницами, воздействующих на открытие заслонки на линии присадки холодного воздуха, на мельничных системах предусматривается защитное устройство, действующее на останов мельниц при понижении давления масла в системе смазки подшипников.

Этот сигнал формируется электроконтактным манометром. При падении давления масла до 1-го установленного значения включается резервный масляный насос. При падении давления масла до 2-го установленного значения срабатывает отключающее устройство электропривода мельницы и останавливается питатель сырого угля.

На обоих типах мельниц может быть предусмотрено включение вибраторов на линиях подвода сырого угля при забивании их и обрыве подачи топлива. Отключение вибраторов производится после восстановления подачи топлива или по истечении установленной выдержки времени.

В системах пылеприготовления с ШБМ при забиваниях циклона предусматривается отключение мельниц.

#### ***Контрольные вопросы:***

1. Что представляют собой автоматические защитные устройства?
2. Что относится к основным и локальным защитным устройствам?
3. Защита от повышения давления пара.
4. Защита по уровню воды в барабане.
5. Защита от потускнения и погасания факела.
6. Защита от понижения температуры первичного перегретого пара.
7. Защитные устройства мельничных систем парового котла.

## **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 10**

**Тема: «Автоматическое регулирование паровых барабанных котлов малой мощности».**

**Цель работы:** Изучить способы автоматического регулирования процесса горения паровых барабанных котлов малой мощности.

**Содержание отчета:**

1. Конспект общих сведений данной работы.
2. Краткое описание автоматического регулирования паровых барабанных котлов малой мощности.

### ***Общие сведения***

В паровых котлоагрегатах типа ДКВР, ДЕ, ГМ-50 и БКЗ-75 регулируются процессы горения и питания котла водой. Кроме того, для котлов БКЗ-75 и ГМ-50 предусматривается регулирование температуры перегретого пара и непрерывной продувки. Схемы автоматического регулирования для этих котлов определяются техническими условиями завода — изготовителя котлов.

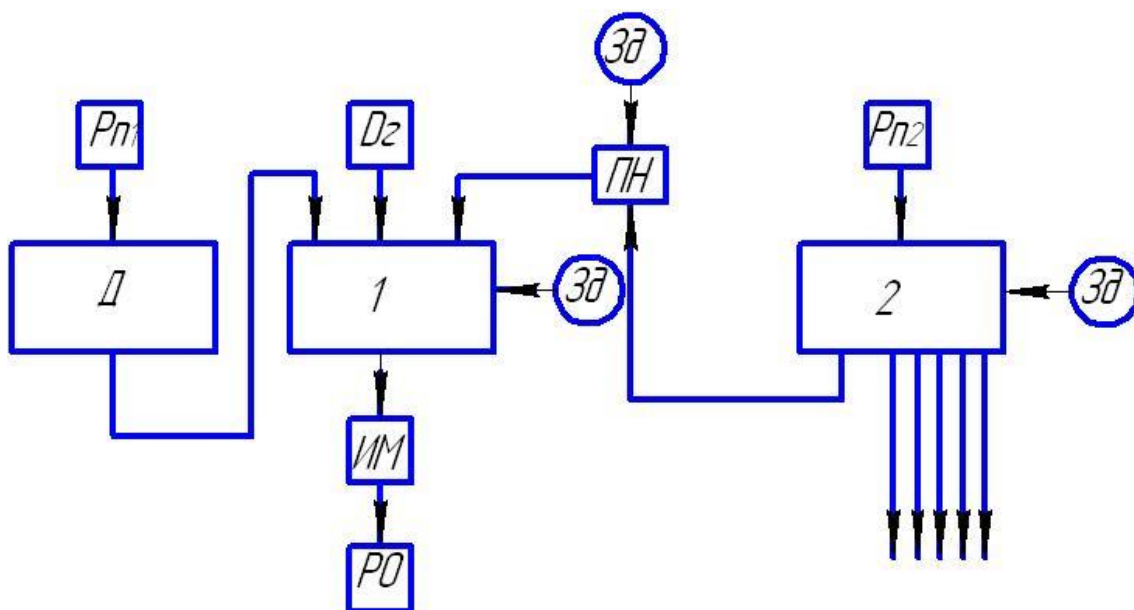
*Автоматическое регулирование процесса горения* включает регулирование подачи топлива в топку в зависимости от нагрузки котла поддержание оптимального соотношения топлива и воздуха для экономичного сжигания топлива, поддержание требуемого устойчивого разрежения в топке.

### ***Автоматическое регулирование паровых барабанных котлов малой мощности***

В схемах регулирования процессов горения для котлов, работающих на твердом топливе (пылеугольном) топливе, широко используется сигнал по тепловой нагрузке. При работе котла только на газообразном топливе, регулирование подачи топлива на котел упрощается, так как калорийность природного газа одного месторождения практически постоянна, а измерение расхода газа не вызывает трудностей.

Для группы котлов, работающих параллельно на общую паровую магистраль функции распределения нагрузки выполняет главный (корректирующий) регулятор, получающий сигнал по давлению пара в общей паровой магистрали.

Главный регулятор корректирует работу подключенных к нему через переключатель нагрузки регуляторов тепловой нагрузки котлов (рис. 10.1), а оптимальное распределение нагрузок между котлами устанавливается с помощью задатчиков регуляторов.



**Рис. 10.1 - Структурная схема регулирования нагрузки «по теплу»:**

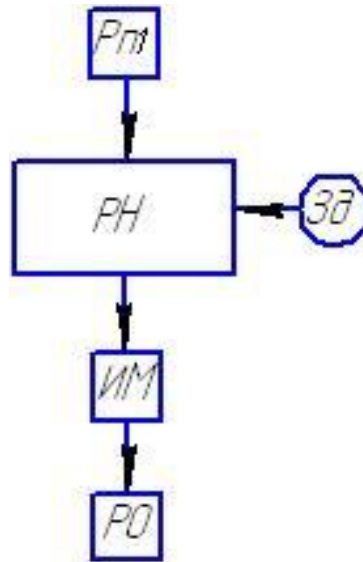
*1 — регулятор тепловой нагрузки, 2 — главный корректирующий регулятор давления, Зд — задатчик, ИМ — исполнительный механизм, РО — регулировочный орган, Pn1 — давление пара в барабане котла, Pn2 — давление пара в общей магистрали, Д — дифференциатор, Dz — расход газа к котлу, ПН — переключатель нагрузки.*

Для перевода какого-либо из котлов в базовый режим работы прерывают сигнал к регулятору нагрузки этого котла от главного регулятора, устанавливая значение от задатчика ручного управления.

Следует отметить, что схемы регулирования процессов горения с использованием сигнала по тепловой нагрузке обычно применяют для котлов паропроизводительностью 50 т/ч и выше. Для котельных установок меньшей

паропроизводительности, например, ДЕ и ДКВР применение сложных схем регулирования нецелесообразно.

Для котлов ДЕ и ДКВР роль регулятора нагрузки выполняет регулятор давления пара в барабане котла, воздействуя на изменение подачи топлива (рис. 10.2).

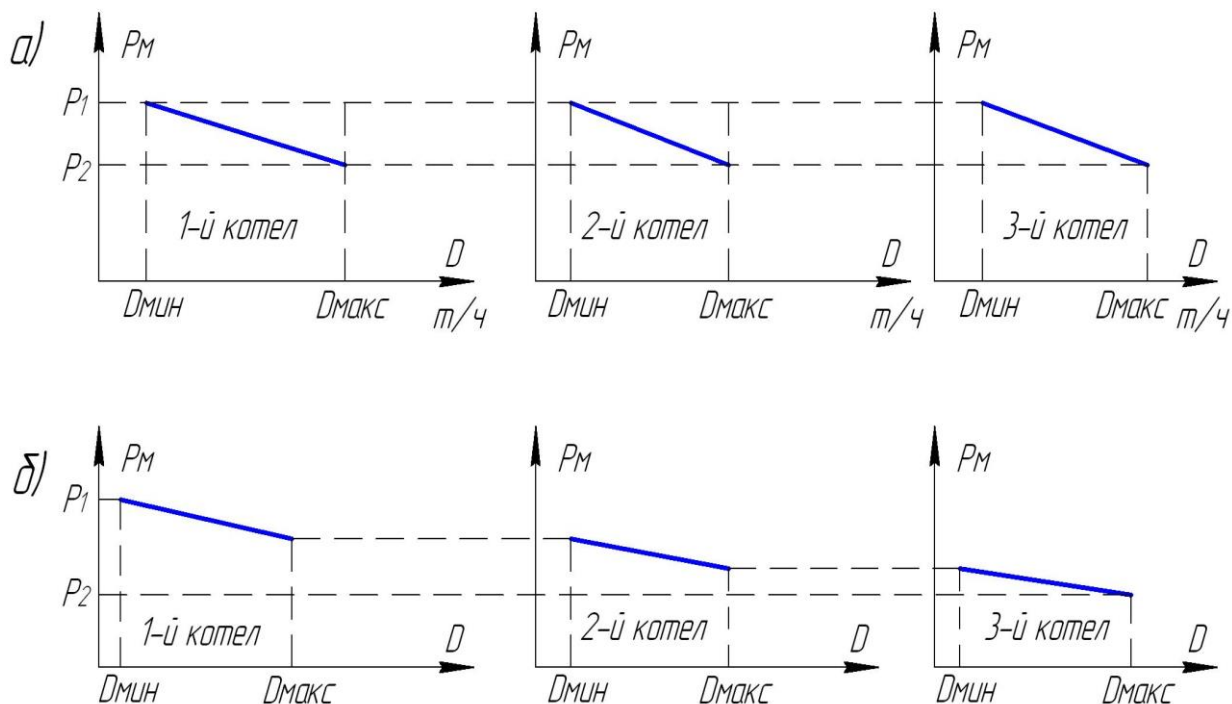


**Рис. 10.2 - Структурная схема регулирования нагрузки по давлению пара в барабане:**

*$P_{n1}$  — давление пара в барабане,  $PH$  — регулятор нагрузки,  $Z_d$  — задатчик,  $ИМ$  — исполнительный механизм,  $РО$  — регулировочный орган.*

В этом случае регулирование паровой нагрузки параллельно работающих котлов (поддержание определенной зависимости между расходом пара от данного котла и давлением в общей паровой магистрали) осуществляется по одному из двух вариантов, приведенных на рис. 10.3, где  $p_1$  и  $p_2$  — давления в общей паровой магистрали, соответствующие минимальной и максимальной производительности котельной.





**Рис. 10.3 - Распределение нагрузки между котлами:**

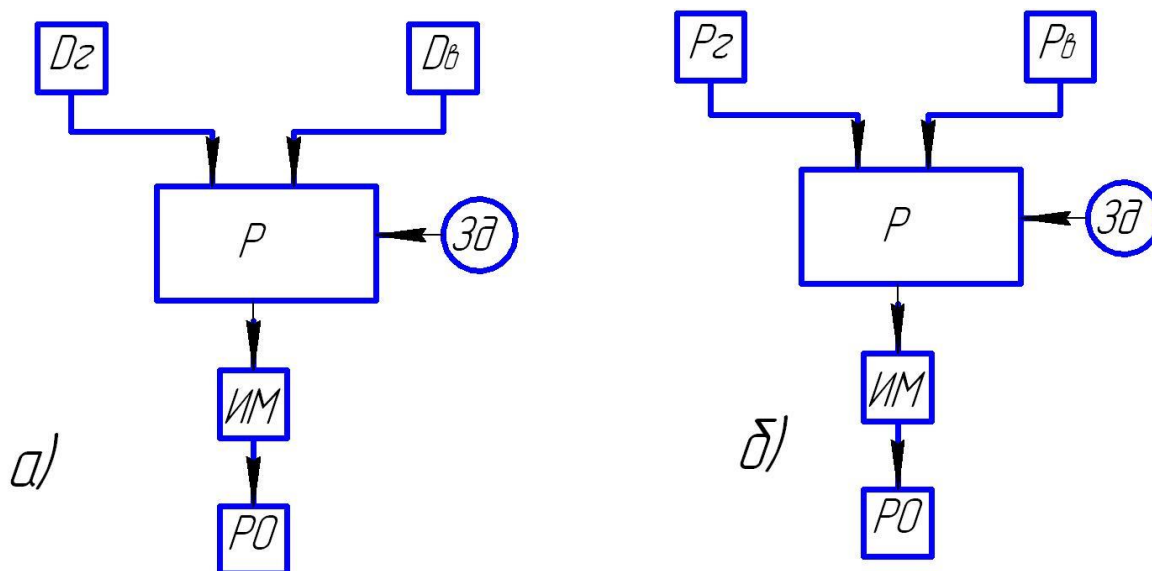
*а — пропорционально номинальным производительностям параллельно работающих котлов, б — последовательное включение параллельно работающих котлов соответственно абсолютной неравномерности их регуляторов,  $P_M$  — давление пара в общей магистрали,  $D$  — расход пара.*

Разность ( $p_1 - p_2$ ) в первом случае (рис. 10.3, а) характеризует абсолютную величину неравномерности регулирования давления в магистрали  $P_M$  во всем диапазоне изменения суммарной нагрузки параллельно работающих котлов, во втором случае — равна сумме абсолютных неравномерностей всех регуляторов нагрузки.

Для отопительно-производственных котельных, где величина  $P_M$  может колебаться в сторону уменьшения в пределах 0,15 — 0,2 Па, рекомендуется распределять нагрузки при параллельной работы котлов, согласно варианту, приведенному на рис. 10.3, б.

Поддержание оптимального соотношения топлива и воздуха (избытка воздуха) осуществляется для экономичного сжигания топлива в топке котла.

При работе котла на газообразном топливе для котлов ГМ-50 и БКЗ-75 рекомендуется включать регулятор нагрузки по схеме «топливо — воздух» (рис. 10.4, а).



**Рис. 10.4 - Структурная схема регулирования воздуха  
(топливо — воздух)**

$D_g$  — расход газа к котлу,  $D_v$  — расход воздуха,  $P_g$  — давление газа к котлу,  
 $P_v$  — давление воздуха,  $P$  — регулятор воздуха,  $Зд$  — задатчик,  
 $ИМ$  — исполнительный механизм,  $РО$  — регулировочный орган.

Регулятор получает два импульса: первый - по расходу газа к котлу, который непосредственно измеряется с помощью диафрагмы и дифманометра, и второй импульс - по перепаду давления воздуха на воздухоподогревателе, пропорционального расходу воздуха. Регулятор воздействует на направляющий аппарат дутьевого вентилятора.

В отдельных случаях, например, для котлов ДЕ и ДКВР, когда по конструктивным соображениям невозможно обеспечить необходимую длину газопровода для установки сужающего устройства, импульс по расходу газа можно заменить импульсом по давлению газа перед горелками, косвенно характеризующим расход газа.

Следует иметь в виду, что импульс по давлению газа характеризует расход топлива только для котлов, в топке которых поддерживается

устойчивое разрежение. При этом вторым импульсом, поступающим на регулятор, будет давление воздуха перед горелками (рис. 10.4, б).

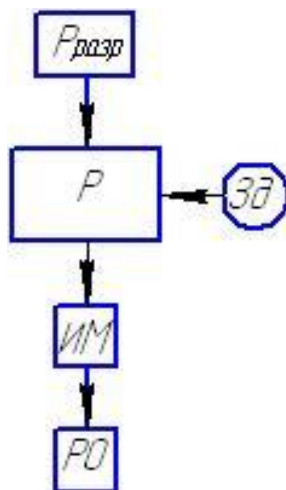
Статический напор воздуха в общем воздухопроводе перед горелками характеризует расход воздуха при условии, что сопротивление части воздухопровода между точкой отбора импульса и горелками будет постоянным т. е. на этом участке отсутствуют устройства, изменяющие сопротивление воздухопровода.

Для котлов, работающих на мазуте, при возможности измерения расхода мазута с помощью сопла профилем «четверть круга» или сдвоенной диафрагмы, схема «топливо — воздух» не отличается от схемы, показанной на рис. 10.4, а.

Для котлов ДЕ и ДКВР, работающих на мазуте и твердом топливе, импульсом, характеризующим расход топлива, является импульс от датчика перемещения регулировочного органа исполнительного механизма регулятора топлива. Расход топлива не всегда соответствует положению выходного звена исполнительного механизма, так как расходная характеристика регулировочного органа нелинейная, сочленение исполнительного механизма с регулировочным органом имеет люфты и пр.

Создание устойчивого разрежения в топке котла должно осуществляться автоматически в пределах от  $-20$  до  $-30$  Па. В связи с тем, что топка котла является объектом со значительным самовыравниванием, регулирование может осуществляться одноимпульсным астатическим регулятором.

Регулятор разрежения получает импульс по разрежению в верхней части топочной камеры и воздействует на направляющий аппарат дымососа (рис. 10.5).



**Рис. 10.5 - Структурная схема регулирования разрежения:**

*Pразр* — датчик, *P* — регулятор разрежения, *Зд* — задатчик,

*ИМ* — исполнительный механизм, *РО* — регулировочный орган.

Для котлов производительностью выше 50 т/ч в схему регулятора для улучшения качества регулирования вводится исчезающая динамическая связь от регулятора воздуха. Регулирование питания котла осуществляется трехимпульсным регулятором уровня в барабане котла. Поддержание уровня воды в барабане котла в заданных пределах означает соответствие расходу пара (нагрузке) расхода питательной воды, поступающей в барабан.

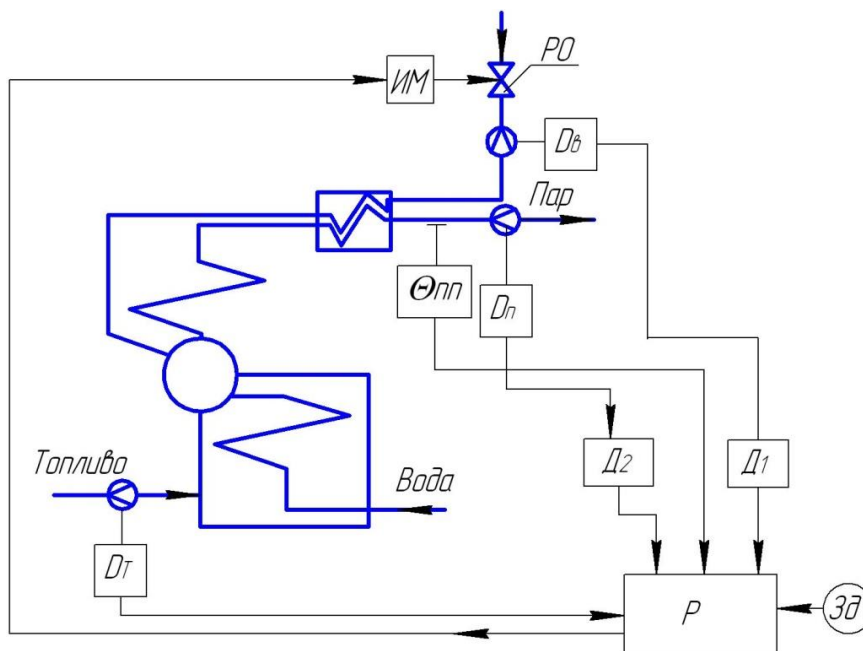
Регулятор питания котлов ГМ-50 и БКЗ-75, представляет собой ПИ-регулятор, суммирующий *три импульса*: уровень в барабане, расход пара и расход питательной воды, что значительно улучшает качество регулирования, особенно при резкопеременных нагрузках.

Для котлов ДКВР и ДЕ, имеющих большой объем воды в барабане, поддержание уровня воды в требуемых пределах при малых колебаниях нагрузок достаточно хорошо обеспечивается одноимпульсным (по уровню) регулятором питания. Регулятор питания через исполнительный механизм воздействует на регулировочный клапан, установленный на трубопроводе питательной воды к котлам.

Необходимость регулирования температуры перегрева пара определяется условиями прочности металла и плавностью изменения температуры при колебаниях нагрузки. Для рассматриваемых типов котлов

регулирование температуры осуществляется изменением расхода питательной воды через охладитель поверхностного типа, установленный в рассечку пароперегревателя.

Наиболее распространенной схемой регулирования температуры пара является схема с двухимпульсным регулятором: по температуре пара на выходе из пароперегревателя и по скорости изменения температуры пара за пароохладителем. Однако эта схема не дает желательных результатов: слабая реакция на внешние возмущения, значительное запаздывание. Наиболее полно отвечает всем предъявляемым к ней требованиям схема регулирования, показанная на рис. 10.6.



**Рис. 10.6 - Принципиальная схема регулирования температуры пара:**

$D_b$  – расход воды на пароохладитель,  $D_p$  – расход пара,  $D_T$  – расход топлива,  $\Theta_{пп}$  – температура пара за перегревателем,

$D_1, D_2$  – дифференциаторы,  $P$  – регулятор температуры,  $Зд$  – задатчик,

$ИМ$  – исполнительный механизм,  $РО$  – регулировочный орган.

Основным импульсом является температура пара за пароперегревателем. Регулятор температуры перегретого пара связан через объект регулирования — котел с регулятором питания, так как часть питательной воды, поступающей в барабан котла, проходит через

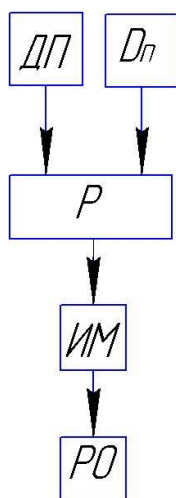
пароохладитель. Поэтому для восприятия возмущений по питательной воде в схему вводится дополнительный импульс по скорости изменения расхода воды на пароохладитель.

При резкопеременных нагрузках для улучшения работы схемы рекомендуется вводить дополнительные импульсы по скорости изменения расхода пара от котла и расхода топлива к котлу, характеризующие равновесие теплового баланса пароперегревателя, но в статике эти сигналы отсутствуют, а  $Dp$  и  $DT$  не изменяются.

При испарении воды, растворенные в ней соли не должны достигать определенной концентрации. Удаление этих солей производят с помощью непрерывной (рис. 10.7) и периодической продувок.

Для котлов производительностью более 50 т/ч процесс непрерывной продувки автоматизируется. Из-за отсутствия датчиков солесодержания в котловой воде автоматическая продувка ведется пропорционально расходу пара.

Регулятор продувки получает импульс по расходу пара и для улучшения работы схемы регулирования дополнительный импульс по положению регулировочного органа исполнительного механизма.



**Рис. 10.7 - Структурная схема регулирования непрерывной продувки:**  
 $Dn$  — расход пара,  $ДП$  — датчик перемещения исполнительного механизма,  
 $P$  — регулятор непрерывной продувки,  $ИМ$  — исполнительный механизм,  
 $РО$  — регулировочный орган.

***Контрольные вопросы:***

1. Что включает автоматическое регулирование процесса горения?
2. Принцип регулирования нагрузки «по теплу».
3. Принцип регулирования нагрузки по давлению пара в барабане.
4. Принцип регулирования воздуха (топливо — воздух).
5. Принцип регулирования разрежения.
6. Принцип регулирования температуры пара.
7. Принцип регулирования непрерывной продувки.

## **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 11**

**Тема:** *«Автоматическое регулирование водогрейных котлов».*

**Цель работы:** Изучить способы автоматического регулирования водогрейных котлов.

**Содержание отчета:**

1. Конспект общих сведений данной работы.
2. Краткое описание автоматического регулирования водогрейных котлов.

### **Общие сведения**

*Задачей системы автоматического регулирования водогрейных котлов является поддержание температуры воды на выходе из котла в соответствии с принятым температурным графиком, определяющим зависимость температуры отпускаемой воды потребителю от температуры наружного воздуха. Регулирование осуществляется изменением подачи топлива в топку котла.*

При качественном способе регулирования температура воды на выходе из котла определяет его теплопроизводительность.

По каналу регулирования *"изменение топлива - изменение температуры воды"* прямоточные водогрейные котлы характеризуются значительной инерционностью. Вследствие этой инерционности контура оказалось, что заданную точность поддержания температуры воды можно обеспечить, используя ступенчатый способ регулирования подачи топлива.

Так же большое применение получила тепловая схема с рециркуляционными насосами. Часть горячей воды после котла рециркуляционным насосом подмешивается к питательной воде. Рециркуляция части котловой воды с выхода на вход позволяет поддерживать температуру питательной воды не ниже допустимого значения, а также обеспечивает пропуск необходимого количества воды через котел.



Снижение температуры подающей воды в теплосеть до расчетного значения производится путем подмешивания к котловой воде некоторой части обратной воды из теплосети. Регулятор теплопроизводительности котла поддерживая на заданном значении температуру воды на выходе, воздействует через автоматическую схему на исполнительные механизмы горелок и вентиляторы.

### ***Автоматическое регулирование водогрейных котлов***

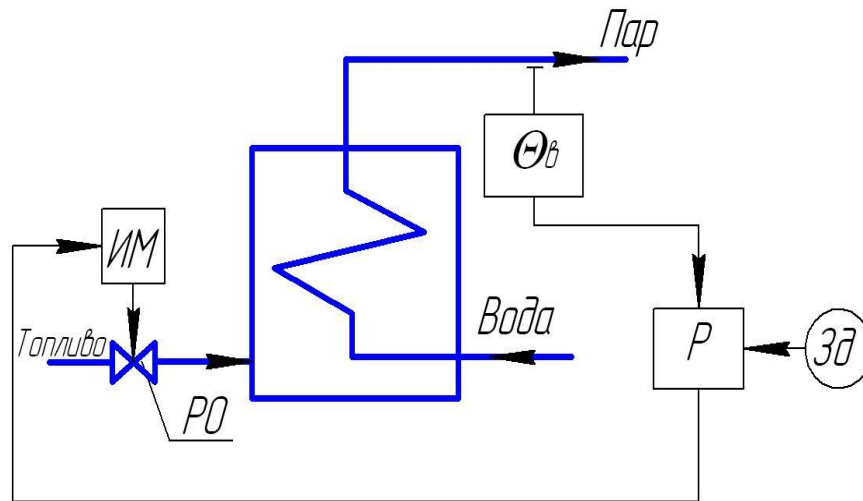
В настоящее время в промышленной энергетике широко применяются следующие типы водогрейных котлов: *КВ-ГМ* и *ПТВМ-30м* — для сжигания газа и мазута, *ТВГ* — для сжигания газа и *КВ-ТС* — для слоевого сжигания твердого топлива.

Регулятор нагрузки котла получает импульс по температуре воды за котлом и воздействует на изменение подачи топлива к котлу (рис. 11.1).

Для котлов *КВ-ТС* исполнительный механизм регулятора нагрузки воздействует на плунжер пневмозабрасывателя.

*Регулятор соотношения топлива и воздуха включается по схеме «топливо — воздух» и получает два импульса: по расходу топлива и давлению воздуха.*

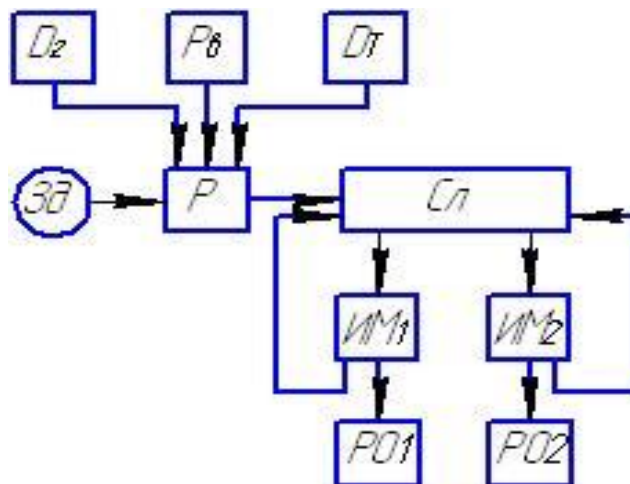
*Для котлов производительностью до 20 Гкал/ч импульс по расходу топлива может быть заменен: при сжигании газа — импульсом по давлению газа перед горелками, при сжигании жидкого и твердого топлива — импульсом от датчика положения регулировочного органа исполнительного механизма регулятора нагрузки. Регулятор нагрузки воздействует на направляющий аппарат дутьевого вентилятора (при однозонных горелках) или на заслонку, установленную в воздуховоде вторичного воздуха к горелкам (при двухзонных горелках).*



**Рис. 11.1- Принципиальная схема регулирования нагрузки водогрейного котла:**

$\Theta_v$  — температура воды за котлом,  $P$  — регулятор нагрузки,  
 $Зд$  — задатчик,  $ИМ$  — исполнительный механизм,  
 $РО$  — регулировочный орган.

Для котлов ПТВМ-30 и КВ-ГМ-100, комплектуемых двумя дутьевыми вентиляторами, в схему включаются дополнительно следящий прибор и отдельные исполнительные механизмы для каждого направляющего аппарата вентиляторов (рис. 11.2).



**Рис. 11.2 - Структурная схема регулирования воздуха (топливо — воздух):**  
 $D_g$  — расход газа к котлу,  $P_v$  — давление воздуха перед котлом,  $DT$  — расход топлива к котлу,  $P$  — регулятор воздуха,  $Зд$  — задатчик,  $Сл$  — следящий прибор,  $ИМ1, ИМ2$  — исполнительные механизмы,  $РО1, РО2$  — регулировочные органы.

Работа регулятора разрежения не отличается от работы аналогичного регулятора для паровых котлов.

***Контрольные вопросы:***

1. Что является задачей системы автоматического регулирования водогрейных котлов?
2. Что позволяет рециркуляция части котловой воды с выхода на вход?
3. Как производится снижение температуры подающей воды в теплосеть до расчетного значения?
4. Какие типы водогрейных котлов применяют в промышленной энергетике?
5. Принцип регулирования нагрузки водогрейного котла.

## **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 12**

**Тема:** «Автоматическое регулирование вспомогательного оборудования».

**Цель работы:** Изучить способы автоматического регулирования вспомогательного оборудования.

### **Содержание отчета:**

1. Конспект общих сведений данной работы.
2. Краткое описание автоматического регулирования вспомогательного оборудования.

### **Общие сведения**

*Действующими Санитарными Нормами и Правилами автоматически требуется регулировать следующие параметры:*

- а) давление пара за редуционными (РУ) и редуционно-охладительными (РОУ) установками;
- б) температуру пара за РОУ;
- в) давление в деаэраторе атмосферного типа (разрежение в вакуумном деаэраторе);
- г) уровень в баке-аккумуляторе деаэратора;
- д) давление жидкого топлива в общем напорном трубопроводе.

*В отопительных котельных дополнительно регулируются:*

- температура воды подаваемой в теплосеть;
- давление в обратном коллекторе теплосети (подпитка);
- температура воды в сети горячего водоснабжения (для систем с закрытым водоразбором);
- давление в циркуляционном контуре сети горячего водоснабжения;
- постоянный расход воды к котлам.

### **Автоматическое регулирование редуционных установок**

*Автоматическое регулирование редуционных установок (РУ) в котельных, вырабатывающих насыщенный пар, заключается в поддержании заданного (пониженного) давления пара после редуцирования.*

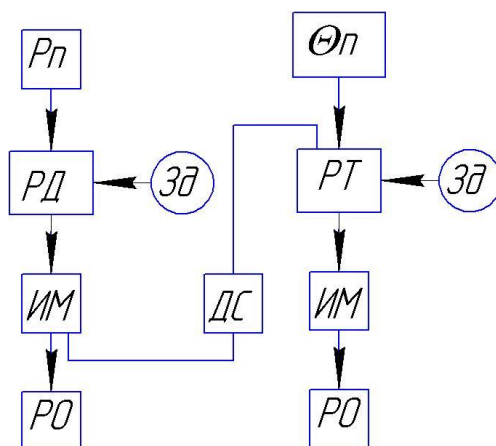
Единственным возмущающим воздействием на регулируемую величину является изменение потребления пара.

С точки зрения динамической характеристики РУ является объектом с распределенной по длине емкостью. Учитывая, что РУ обладает значительным самовыравниванием, а отбор импульса осуществляется вблизи РУ, можно считать редуцированную установку одноемкостным объектом с самовыравниванием.

Регулятор давления получает импульс по давлению пара после РУ и воздействует через исполнительный механизм на регулировочный клапан на паровом коллекторе.

При выработке котлом перегретого пара для понижения его давления и температуры применяется РОУ. Регулятор давления работает так же, как и в схеме с РУ. Регулирование температуры осуществляется впрыском питательной воды.

Для улучшения качества регулирования следует одновременно изменять и давление и температуру перегретого пара. С этой целью от регулятора давления к регулятору температуры предусмотрена динамическая связь (рис. 12.1).



**Рис. 12.1 - Структурная схема автоматического регулирования РОУ:**

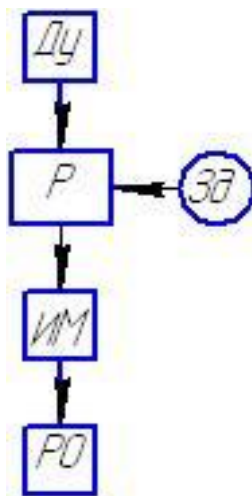
$P_n$  – давление пара после РОУ,  $T$  – температура пара после РОУ,  
 $P_D$  – регулятор давления пара,  $P_T$  – регулятор температуры пара,  
 $ДС$  – динамическая связь,  $Зд$  – задатчик,  $ИМ$  – исполнительный механизм,  
 $РО$  – регулировочный орган.

### **Регулирование деаэраторов**

В котельных с паровыми котлами термическая деаэрация (удаление из воды растворенных в ней газов) производится в *деаэраторах* атмосферного типа. Причиной коррозии трубных систем котла и вспомогательного оборудования являются в первую очередь растворенный в воде кислород, а также углекислый газ.

Растворимость газа зависит от температуры: при повышении температуры она уменьшается, а в кипящей воде близка к нулю. Для нагрева воды до 104 °С в деаэратор подается пар, расход которого регулируется для деаэраторов с барботажным устройством по давлению в паровом пространстве бака-аккумулятора.

Для восприятия неизбежных потерь конденсата на производстве в деаэратор поступает химически очищенная вода. Регулятор уровня в деаэраторном баке воздействует на изменение расхода воды (рис. 12.2).



**Рис. 12.2 - Структурная схема регулирования уровня в деаэраторе:**

*Ду* – датчик уровня, *Р* — регулятор уровня, *ИМ* — исполнительный механизм, *РО* — регулировочный орган, *Зд* — задатчик.

Для деаэраторов одного давления, работающих параллельно, следует применять один регулятор давления пара и один регулятор уровня воды в баках на группу деаэраторов. В этом случае деаэраторы должны иметь уравнительные линии по воде и пару.

### ***Регулирование давления в подающем мазутопроводе***

Поддержание постоянного *давления мазута* в напорном трубопроводе, так же как и давления воды в питательных магистралях, преследует цель стабилизации давления перед регулировочным клапанами топлива и питания котла.

Регулировочный клапан регулятора давления мазута устанавливается на циркуляционном мазутопроводе и мазутонасосную, а регулятора давления питательной воды на линии сброса ее в деаэратор.

### ***Регулирование температуры мазута***

Регулирование *температуры мазута*, поступающего в горелки, производится, как правило, в мазутонасосных, где размещаются подогреватели мазута.

При небольших расходах мазута на каждом подогревателе рекомендуется устанавливать регуляторы температуры прямого действия.

Если не удастся подобрать регуляторы температуры прямого действия, следует устанавливать общий регулятор на группу подогревателей.

Все регуляторы вспомогательного оборудования реализуют П – или ПИ – законы в зависимости от необходимой точности поддержания регулируемого параметра либо используются регуляторы прямого действия.

Выбор закона регулирования и требуемое качество переходных процессов регламентируется заводом изготовителем технологического оборудования, либо инженерно-конструкторской организацией.

### ***Контрольные вопросы:***

1. Какие параметры требуется автоматически регулировать?
2. В чем заключается автоматическое регулирование редуционных установок в котельных?
3. Принцип автоматического регулирования РОУ.
4. Регулирование деаэраторов.
5. Регулирование давления в подающем мазутопроводе.
6. Регулирование температуры мазута.

### **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 13**

**Тема:** «Автоматическое регулирование процессов в тепловых сетях».

**Цель работы:** Изучить способы автоматического регулирования процессов в тепловых сетях.

**Содержание отчета:**

1. Конспект общих сведений данной работы.
2. Краткое описание автоматического регулирования процессов в тепловых сетях.

#### **Общие сведения**

*В тепловых сетях следует предусматривать:*

а) автоматические регуляторы, противоударные устройства и блокировки, обеспечивающие:

- заданное давление воды в подающем или обратном трубопроводах водяных тепловых сетей с поддержанием в подающем трубопроводе постоянного давления "после себя" и в обратном - "до себя" (регулятор подпора);

- деление (рассечку) водяной сети на гидравлически независимые зоны при повышении давления воды сверх допустимого;

- включение подпиточных устройств в узлах рассечки для поддержания статического давления воды в отключенной зоне на заданном уровне;

б) отборные устройства с необходимой запорной арматурой для измерения:

- температуры воды в подающих (выборочно) и обратных трубопроводах перед секционирующими задвижками и, как правило, в обратном трубопроводе ответвлений  $D_y > 300$  мм перед задвижкой по ходу воды;

- давления воды в подающих и обратных трубопроводах до и после секционирующих задвижек и регулирующих устройств, и, как правило, в



подающих и обратных трубопроводах ответвлений  $D_y > 300$  мм перед задвижкой;

- расхода воды в подающих и обратных трубопроводах ответвлений  $D_y > 400$  мм;

- давления пара в трубопроводах ответвлений перед задвижкой;

в) защиту оборудования тепловых сетей и систем теплоиспользования потребителей от недопустимых изменений давлений при останове сетевых или подкачивающих насосов, закрытии (открытии) автоматических регуляторов, запорной арматуры.

### ***Автоматическое регулирование процессов в тепловых сетях***

*Автоматизация отпуска тепла.* В отопительно-производственных котельных, где для нужд отопления устанавливаются подогревательные установки, для поддержания температуры воды в теплосети в соответствии с отопительным графиком необходимо предусматривать регулятор температуры.

Отопительный график котельной выражает зависимость температуры сетевой воды от температуры наружного воздуха. Схема регулятора температуры сетевой воды с коррекцией по температуре наружного воздуха не оправдала себя, потому что датчик температуры наружного воздуха не в состоянии учесть влияние направления ветра, его силу, интенсивность солнечной радиации, температуру помещений и еще ряд факторов, влияющих на теплоемкость отапливаемых зданий, поэтому необходимая температура сетевой воды, которую должен поддерживать регулятор, определяется оператором по отопительному графику и задается вручную. Как правило, это средняя температура за прошедшие 0,5 сут.

В котельных, предназначенных для теплоснабжения только зданий с периодическим пребыванием людей (учреждения, зрелищные предприятия и т. п.), рекомендуется предусматривать возможности программного регулирования отпуска тепла с целью экономии топлива за счет снижения температуры помещений на периоды отсутствия людей.

*Температура воды в теплосети может поддерживаться несколькими способами:*

- воздействием на расход пара, подаваемого на подогреватель;
- изменением поверхности нагрева подогревателя;
- подмешиванием части обратной сетевой воды в прямую.

Регулирование температуры сетевой воды изменением расхода насыщенного пара имеет определенные *недостатки*: неудовлетворительная работа регулировочного клапана на насыщенном паре низкого давления и возможность появления вакуума в паровом пространстве подогревателя при температуре насыщенного пара меньше  $100^{\circ}\text{C}$ , снижение давления конденсата (при малых нагрузках) ниже величины, необходимой для его поступления в деаэрактор.

При регулировании изменением поверхности нагрева подогревателя регулировочный орган устанавливается на линии конденсата после подогревателя, и в зависимости от температуры сетевой воды часть поверхности нагрева затопляется конденсатом и исключается из активного теплообмена. При этом способе диапазон регулирования невелик и быстрее выходят из строя поверхности нагрева подогревателя.

При регулировании подмешивания регулировочный орган устанавливается на обводной линии подогревателя или группы подогревателей, пропуская часть обратной сетевой воды непосредственно в теплосеть, минуя подогреватели. Структурная схема регулирования аналогична схеме на рис. 11.1.

Эта схема регулирования получила наиболее широкое распространение. Однако ее применение требует детального расчета сопротивления обводной линии.

*Регулирование подпитки тепловой сети.* Регулирование подпитки теплосети ведется в зависимости от величины давления обратной сетевой воды на всасе сетевых насосов.

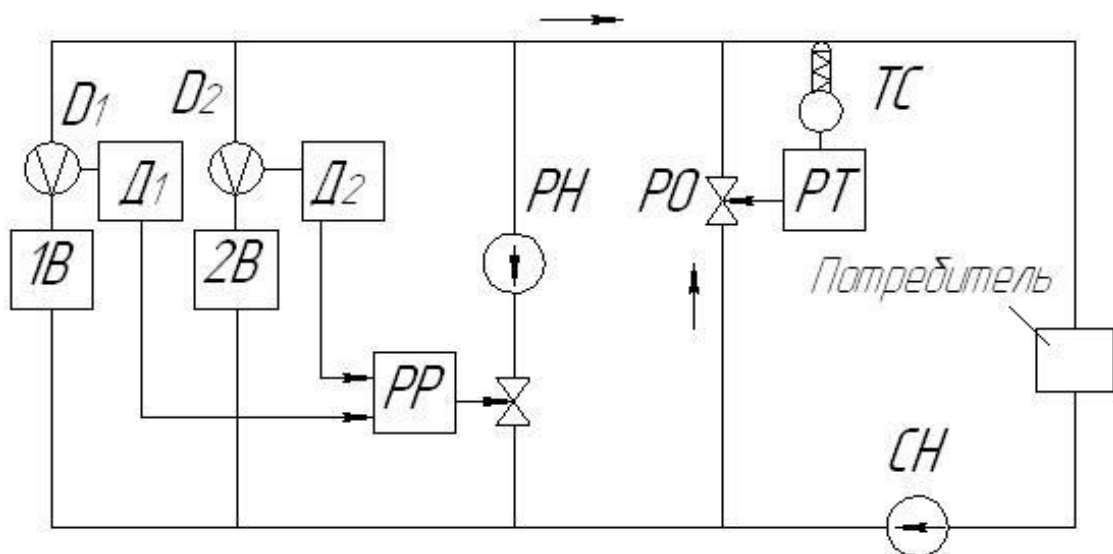
*Задача* регулятора подпитки заключается в сохранении постоянного пьезометрического графика тепловой сети.

Для теплосетей, выполненных с закрытой схемой водоразбора, подпитка составляет приблизительно 2 % количества циркулирующей воды. При небольших расходах можно устанавливать регулятор давления прямого действия.

Динамическая характеристика процесса подпитки может быть принята, как для одноемкостного объекта с самовыравниванием, и поэтому для регулирования давления воды на всасе сетевых насосов рекомендуется применять статический регулятор.

В котельных, имеющих подогреватели для нужд горячего водоснабжения, необходимо поддерживать температуру воды постоянной (не выше 70 °С).

*Автоматическое регулирование температуры воды в теплосети.* Регулирование температуры воды в теплосети в котельной с водогрейными котлами связано с регулированием температуры воды за котлами и расходом воды через котлы. На рис. 13.1 и 13.2 представлены функциональные схемы автоматизации водогрейной котельной, работающей на жидком и газообразном топливе.



**Рис. 13.1 - Функциональная схема автоматического регулирования водогрейной котельной:**

*1B,2B — котлы, PH — насос рециркуляционной воды, СН — насос сетевой воды, D1,D2 — диафрагмы, Д1,Д2 — датчики, РР — регулятор постоянного расхода воды к котлам, Т — термометр, РТ — регулятор температуры воды в теплосеть, РО — регулировочный орган.*

*Технологические требования, предъявляемые к системе регулирования, следующие:*

- температура воды в теплосеть должна поддерживаться в соответствии с отопительным графиком;
- расход воды через котлы должен быть постоянным;
- температура воды на выходе из котлов должна быть не выше 150 °С.

При работе водогрейных котлов на сернистом мазуте для исключения влияния коррозии конвективных поверхностей нагрева, вызываемых конденсацией серной кислоты, температуру воды на выходе из котла необходимо поддерживать постоянной, равной 150 °С.

В этом случае температуру воды в теплосеть поддерживает регулятор температуры, воздействуя на расход воды через перемычку, а постоянный расход воды к котлам обеспечивает регулятор расхода, получающий суммарный импульс по расходу воды за котлами и воздействующий на подачу воды к котлам из контура рециркуляции.

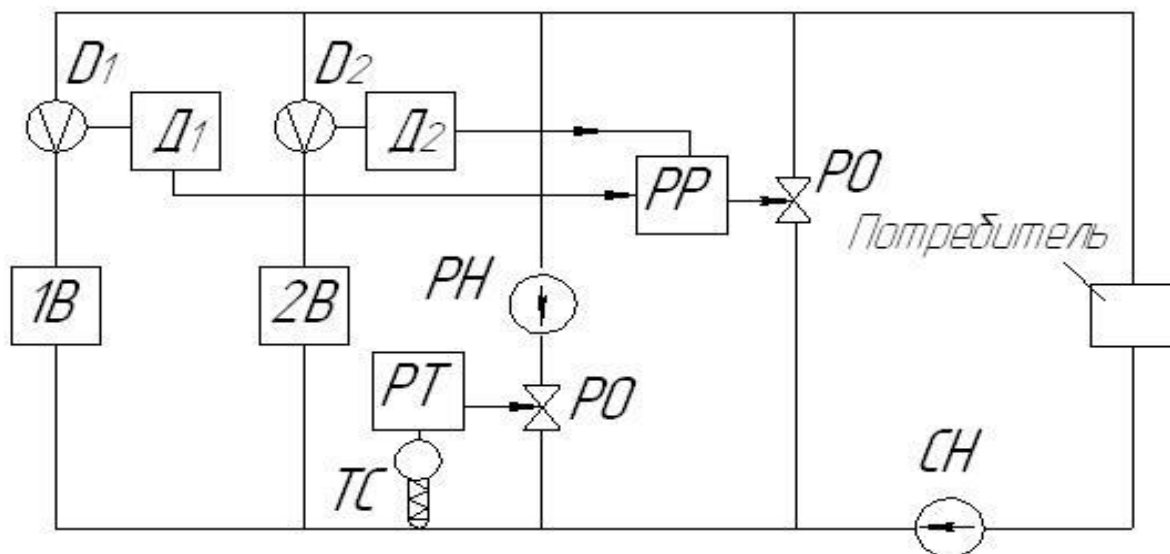
Постоянный расход воды к каждому котлу обеспечивается при наладке путем выравнивания гидравлических сопротивлений трубопроводов с помощью дроссельных шайб от коллектора обратной сетевой воды до котла.

Для котлов, сжигающих только газообразное топливо, температура воды на входе должна быть не менее 70 °С во избежание появления коррозии и для обеспечения паспортной производительности котла.

*В этом случае схема автоматизации несколько видоизменяется (рис. 13.2):*

- температура воды в теплосети поддерживается регуляторами нагрузки котлов;

- регулирование температуры воды перед котлами осуществляет регулятор, получая импульс по температуре воды перед котлами и воздействуя на подачу воды из контура рециркуляции.



**Рис. 13.2 - Функциональная схема автоматического регулирования водогрейной котельной (топливо — газ):**

*1B, 2B — котлы, PH — насос рециркуляционной воды, CH — насос сетевой воды, D1, D2 — диафрагмы, Д1, Д2 — датчики, PP — регулятор постоянного расхода воды к котлам, TC — термометр сопротивления, PT — регулятор температуры воды к котлам, PO — регулировочный орган.*

Регулирование постоянного расхода воды к котлам осуществляет регулятор, пропуская часть воды из обратной линии тепловой сети в прямую линию.

В водогрейных котельных, где отсутствует теплоноситель пар, широкое применение получили вакуумные деаэраторы. Давление 7,5 кПа или 30 кПа, создаваемое эжекторами, обеспечивает температуру воды на выходе из деаэратора соответственно 40 либо 70 °С.

Вода для деаэрации поступает с температурой на 15—25 °С ниже температуры кипения. Для догрева воды до температуры кипения непосредственно в деаэратор подается высокотемпературная вода.

Остаточная концентрация растворенного в воде кислорода после деаэрирования от 30 до 50 мкг/кг в зависимости от схемы теплоснабжения.

Автоматическое регулирование процесса деаэрации в вакуумных деаэраторах, работающих с давлением  $3 \cdot 10^4$  Па, осуществляется двумя регуляторами.

Первый из них поддерживает постоянной температуру  $55 \text{ }^\circ\text{C}$  воды, прошедшей водоподготовку, воздействуя на подачу в подогреватели высокотемпературной воды от котлов.

Второй, получая импульс по величине вакуума в деаэраторе, подает высокотемпературную воду непосредственно в деаэратор, догревая воду до  $70 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Если деаэратор работает с давлением  $7,5 \cdot 10^3$  Па (температура на выходе равна  $40 \text{ }^\circ\text{C}$ ), то в деаэратор сразу подается химически очищенная вода, без подогрева, так как ее температура  $25\text{—}30 \text{ }^\circ\text{C}$  и первый регулятор не нужен.

Уровень в вакуумных деаэраторах регулируется так же, как и атмосферных (рис. 12.2).

***Контрольные вопросы:***

1. Что следует предусматривать в тепловых сетях?
2. Автоматизация отпуска тепла.
3. Какими способами может поддерживаться температура воды в теплосети?
4. Регулирование подпитки тепловой сети.
5. Автоматическое регулирование температуры воды в теплосети.
6. Технологические требования, предъявляемые к системе регулирования.

## **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 14**

**Тема:** «*Автоматическое регулирование котлов малой производительности*».

**Цель работы:** Изучить способы автоматического регулирования котлов малой производительности.

**Содержание отчета:**

1. Конспект общих сведений данной работы.
2. Краткое описание автоматического регулирования отопительных котельных АМКО.

### **Общие сведения**

Паровые котлы типов Е-1/9-Г паропроизводительностью 1 т/ч и давлением 0,8 и Е-0,4/9-Г паропроизводительностью 0,4 т/ч, работающие на газообразном топливе, полностью автоматизированы.

Котлы поставляются комплектно с системой автоматикой для микрокотлов (АМК). Система осуществляет автоматический пуск котла, защиту его при аварийных отклонениях основных параметров, сигнализацию этих отклонений, а также *поддержание в заданных пределах:*

- давления пара в барабане;
- уровня воды в барабане;
- подачи воздуха в топку в соответствии с подачей топлива.

Поскольку эти котлы работают под наддувом, отпадает необходимость в регулировании разрежения.

Требуемая точность поддержания регулируемых параметров обеспечивается применением двухпозиционных регуляторов, что объясняется незначительными скоростями разгона котла по регулируемым параметрам: *уровню и давлению* в барабане.

Для регулирования давления пара в системе автоматики предусмотрены два клапана: «*малого*» и «*большого*» горения.

Клапан *«малого» горения* постоянно открыт. При поступлении командного импульса клапан *«большого» горения* отключается или включается, что обеспечивает работу котла в диапазоне нагрузок 40—100 %.

Частота срабатывания клапана *«большого» горения* определяется величиной зоны возврата контактного устройства датчика и колебаниями нагрузки.

Регулятор уровня получает команду от двух электродов (верхнего и нижнего уровня), установленных в уровнемерной колонке, поставляемой с котлом.

Регулирование подачи воздуха в топку в соответствии с количеством сжигаемого топлива осуществляется также регулятором давления пара путем электрической блокировки электромагнитного исполнительного механизма через цепи управления с соленоидным клапаном *«большого» горения*. При открытии клапана *«большого» горения* максимально открывается заслонка на воздуховоде за дутьевым вентилятором.

Положения минимального и максимального открытия заслонки на воздуховоде определяются в процессе наладки агрегата в соответствии с режимной картой и устанавливаются с помощью регулировочных винтов, имеющих в приводе заслонки.

Паровые котлы Е-1/9-Ж и Е-0.4/9-Ж, работающие на легком топливе (печное, дизельное), комплектуются системой АМК. Однако соленоидные клапаны, регулирующие подачу топлива, с системой АМК не поставляются.

Кроме регуляторов, обеспечивающих поддержание давления, уровня и соотношения *«топливо — воздух»*, дополнительно предусмотрен двухпозиционный регулятор, поддерживающий постоянную температуру топлива включением или отключением электронагревателя, установленного на топливопроводе.

*Электронагреватель* предназначен только для догрева топлива перед поступлением его в форсунку, а для поддержания необходимой температуры



топлива в общей топливной системе котельной должен быть предусмотрен отдельный регулятор.

Котлы Е-1/9-М, предназначенные для работы на мазуте, оборудованы горелочным устройством АР-90, которое состоит из ротационной форсунки Р-90 и щита управления.

На щите, кроме цепей управления электродвигателями дымососа, питательного насоса и схемы защиты, собрана схема двухпозиционного регулятора уровня воды в котле, работающего от двух датчиков (верхнего и нижнего уровня). Регулятор с помощью магнитного пускателя воздействует на включение или отключение электропривода питательного насоса.

Котлы Е-1/9-1, предназначенные для работы на твердом топливе, оснащаются пультом управления, на котором также установлен двухпозиционный регулятор уровня воды в котле. Регулятор аналогичен регулятору уровня, установленному на котле Е-1/9-М.

Чугунные секционные паровые и водогрейные котлы типов «Энергия», «Универсал», «Минск» часто оборудуются системой автоматического регулирования отопительных котельных АМКО.

### ***Автоматическое регулирование отопительных котельных АМКО***

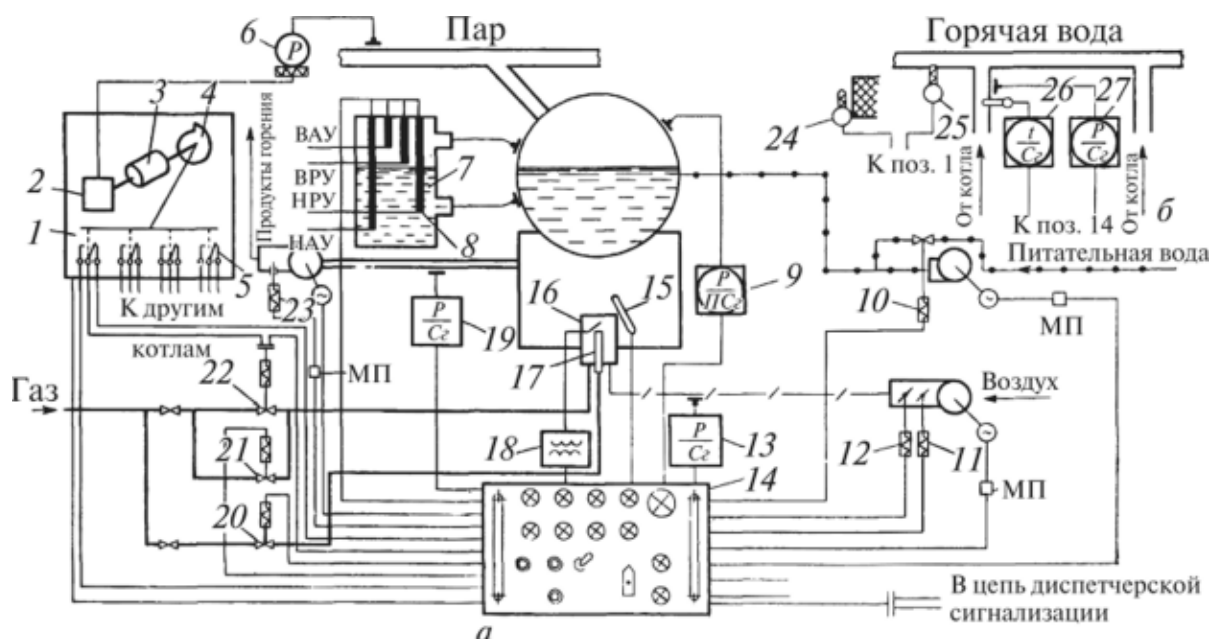
Данная система предназначена для автоматизации регулирования основных теплотехнических процессов всей котельной, а также отдельных котлов и предусматривает *защиту, сигнализацию, пуск и остановку котлов.*

*Система автоматизации* обеспечивает полуавтоматический пуск котлоагрегата, регулирование теплопроизводительности котла, поддержание заданного давления пара и уровня воды в котле, регулирование подачи воздуха и тяги в соответствии с подачей газа и защиту котлоагрегата *в следующих аварийных ситуациях:*

- повышение температуры воды за водогрейным котлом или давления пара в паросборнике парового котла сверх допустимых значений;
- понижение давления воды за водогрейным котлом или спуск уровня воды в паросборнике парового котла ниже допустимых значений;

- падение разрежения в топке;
- повышение давления воды за водогрейным котлом или уровня воды в паросборнике парового котла выше заданных пределов;
- погасание пламени на горелке;
- падение давления воздуха перед горелками (при наличии дутьевого вентилятора);
- падение напряжения в цепях автоматики.

На рис. 14.1 показана принципиальная схема системы автоматики АМКО.



**Рис. 14.1 - Принципиальная схема автоматики АМКО:**

*а — для паровых котлов, б — особенности для водогрейных котлов.*

Приборы и устройства системы АМКО общекотельные, основное назначение которых — *поддержание в заданных пределах основных параметров котельной:*

- соотношения температуры горячей воды на выходе из котельной и температуры наружного воздуха по отопительному графику;
- температуры горячей воды при работе котельной на горячем водоснабжении;
- давления в общей паровой магистрали при параллельной работе паровых котлов.

В комплект общекотельных приборов входят позиционный регулирующий прибор типа ПРП и датчики (первичные приборы), в качестве которых служат термометры сопротивления 24 либо электрический дистанционный манометр 6.

В транзисторном усилителе 2 регулирующего прибора ПРП осуществляются суммирование сигналов от первичных приборов, их сравнение с сигналом задатчика и усиление регулирующего сигнала до значения, достаточного для пуска электродвигателя 3.

На вилке электродвигателя закреплены кулачки 4, которые, поворачиваясь вокруг своей оси, воздействуют поочередно на шесть микропереключателей 5 и на дифференциально-трансформаторный датчик обратной связи.

На ось электродвигателя 3 позиционного регулирующего прибора кроме кулачков насажен также двухцветный диск с двумя оцинкованными секторами красного и белого цвета.

На передней панели ПРП имеется окно для наблюдения за движением двухцветного диска. Это дает возможность определить режим работы подключенного к регулятору котлоагрегата.

В системе АМКО применяется позиционный принцип регулирования.

*При управлении тремя котлами обеспечивается следующий порядок регулирования в котельной при снижении нагрузки:*

- 1) отключается 60 % топлива на первом котле;
- 2) отключается 60 % топлива на втором котле;
- 3) отключается 100 % топлива на первом котле;
- 4) отключается 60 % топлива на третьем котле;
- 5) отключается 100 % топлива на втором котле;
- 6) отключается 100 % топлива на третьем котле.

Котельная с четырьмя котлами может работать без общекотельного регулятора. При наличии более четырех котлов порядок регулирования устанавливается в зависимости от назначения котельной. При этом может

предусматриваться как использование дополнительных комплектов общекотельных приборов, так и работа всех (кроме трех) котлов в базовом режиме.

Порядок регулирования обеспечивается путем включения одного микропереключателя 5 в цепь управления соленоидным клапаном большого горения 22, а другого — в цепь остановки котла в схеме автоматики безопасности, которая собрана в блоке 14 типа БУРС-1.

*Принцип работы автоматики безопасности котла* заключается в том, что при возникновении аварийной ситуации по одному из параметров (кроме погасания пламени) происходит размыкание контакта соответствующего датчика защиты и схема защиты срабатывает.

Вследствие этого обесточиваются соленоидные клапаны 22 и 21 большого и малого горения и прекращается подача газа на горелки. После устранения причины аварии повторный пуск газа производит оператор котельной.

В случае возникновения аварийной ситуации из-за погасания пламени также отключаются клапаны 22 и 21, но при этом схема включит катушку зажигания 18, тепловое реле времени и соленоидный клапан 20 запальника (СКЗ — клапан газовый КГ-10).

Особенность данной ситуации в том, что автоматически производится попытка разжечь котел в течение времени выдержки реле (8— 15с). Если за это время факел не восстанавливается, клапан СКЗ также отключается.

На лицевой панели блока установлены элементы управления: выключатель пакетный ПВЗ-10, кнопки «Пуск» и «Стоп», предохранители и восемь лампочек. Под лампочками прикреплены надписи, характеризующие аварийное состояние, а также надписи «Сеть», «Нормальная работа».

В случае возникновения аварийной ситуации включается соответствующая сигнальная лампочка и происходит запоминание причин

первичной аварии, автоматически отключается подача газа на горелки и включаются лампочки «Авария» и «Факела нет».

*В состав системы АМКО приборов и устройств, поставляемых комплектно, входят как серийно выпускаемые датчики, так и созданные специально устройства:* газовые клапаны КГ, контрольный электрод КЭ, газовый электрозапальник типа ЭЗ, электромагнитный исполнительный механизм типа ЭИК и уровнемерная колонка типа УК-4 с датчиками уровня типа ДУ.

Регулирование питания паровых котлов производится путем поддержания уровня воды в паросборнике в заданных пределах. Автоматическое регулирование уровня воды осуществляется двухпозиционным регулятором, чувствительным элементом которого являются электроды ВРУ и НРУ. Один электрод установлен на нижнем регулируемом уровне — НРУ, второй — на верхнем — ВРУ.

Эти электроды жестко закреплены на уровнемерной колонке 1 и изолированы от ее корпуса. При этом уровень воды в колонке должен соответствовать уровню воды в котле.

Роль исполнительного механизма выполняют различные элементы в зависимости от типа питательного насоса и его схемы привода. При применении питательного насоса мембранного типа роль исполнительного органа регулятора выполняет электромагнитный исполнительный механизм 10 типа ЭИМ, управляющий клапаном перепуска масла в системе гидравлического привода насоса. После открытия клапана перепуска прекращается работа насоса без отключения его от вала работающего двигателя.

Если питательный насос работает от индивидуального электродвигателя, функции исполнительного органа регулятора выполняет магнитный пускатель, управляющий работой этого электродвигателя. В случае обесточивания катушки магнитного пускателя питательный насос останавливается.

Насос работает с номинальной производительностью до тех пор, пока уровень воды ниже ВРУ, при достижении ВРУ подача воды отключается до тех пор, пока уровень воды не станет ниже электрода НРУ и тогда насос вновь включается на номинальную производительность.

Таким образом, осуществляется двухпозиционное регулирование уровня воды. При одинаковой производительности питательного насоса время его работы и время холостого хода будут разными в зависимости от производительности котла.

Поддержание соотношения газа и воздуха, а также регулирование разрежения осуществляется путем электрической блокировки управления соленоидными клапанами двух режимов работы котла — большого и малого горения (СКБГ и СКМГ) и электромагнитными исполнительными механизмами, которые открывают воздушные заслонки на вентиляторе и дымососе.

Электромагнитный исполнительный механизм 11 (ЭИМ-МГ) работает совместно с соленоидным клапаном СКМГ, а электромагнитные исполнительные механизмы 12 и 23 (ЭИМ-БГ) — с соленоидным клапаном СКБГ, в результате чего достигается максимальное открытие заслонок вентилятора и дымососа при максимальном расходе газа.

В зависимости от типа используемых котлов и их оснащённости дымососами, вентиляторами, а также от режима работы котлов используются один или два ЭИМ. При отсутствии дымососа для поддержания постоянного разрежения в топке на линии подсоса воздуха в дымоход устанавливают саморегулирующуюся заслонку. В этом случае, а также при отсутствии вентилятора электромагнитные исполнительные механизмы не устанавливают.

*Перед пуском котла необходимо осуществить подготовительные мероприятия согласно утверждённой инструкции:*

1) при включении пакетного выключателя на блоке БУРС-1 подают напряжение на магнитные пускатели вентилятора, питательного насоса и дымососа, к цепям автоматики, загорается лампочка «Сеть»;

2) открывают с помощью ЭИМ-МГ и ЭИМ-БГ воздушные заслонки малого и большого горения, производят вентиляцию топки;

3) открывают трубопровод безопасности и подают газ к клапанам СКБГ и СКМГ;

4) после вентиляции топки (до 5 мин) нажимают кнопки «Пуск» на блоке БУРС-1, обращая внимание на то, чтобы к этому времени все контролируемые параметры автоматики безопасности находились в нормальных пределах;

5) закрывают воздушные заслонки с помощью ЭИМ-МГ и ЭИМ-БГ, открывают соленоидный клапан 20и подают напряжение на катушку зажигания 18 и далее к газовому электрозапальнику 17.

Если розжиг запального устройства неудачный, то в течение определенного времени (до 15 с) будут отключены схема зажигания и соленоидный клапан 20 запальника и загорится лампочка «Авария». Так как в это время воздушные заслонки будут открыты, начнется вентиляция топки. Повторный пуск котла производится после выявления и устранения причин неудачного розжига.

При удачном розжиге запального устройства отключается схема зажигания, открывается воздушная заслонка малого горения, открывается соленоидный клапан горения СКМГ и воспламеняется основная горелка 16.

Соленоидный клапан запальника СКЗ и клапан СКМГ будут работать совместно в течение выдержки времени теплового реле (до 100 с). Далее отключается соленоидный клапан запальника, открывается воздушная заслонка большого горения с помощью ЭИМ-БГ и загорается лампочка «Нормальная работа».

После этого необходимо закрыть трубопровод безопасности, а тумблер на блоке БУРС-1 после прогрева секций котла перевести в положение

«Нормальная работа». Это обеспечит включение соленоидного клапана большого горения СКБГ и его работу в режиме зависимости от общекотельного регулятора. При этом питание к нему подается одновременно с подачей питания на блок БУРС-1.

Когда заданное давление воды в котле достигнуто, открывают вентиль на трубопроводе горячей воды. Соответственно в паровом котле при достижении заданного давления пара (300 кПа) открывают паровую задвижку.

*Чтобы остановить котел, выполняют следующие операции:*

1) перекрывают подачу газа к соленоидным клапанам и нажимают кнопку «Стоп», в результате чего произойдет отключение соленоидных клапанов, погаснут лампочка «Нормальная работа» и пламя в топке котла, загорится лампочка «Факела нет»;

2) открывают трубопровод безопасности и после вентиляции топки отключают питание блока БУРС-1М с помощью пакетного выключателя на лицевой панели блока;

3) отключают электродвигатели вентилятора, дымососа, питательного насоса и убеждаются, что погасли лампочки «Факела нет» и «Сеть».

#### ***Контрольные вопросы:***

1. Что осуществляет система автоматики для микрокотлов (АМК)? Какие параметры поддерживает в заданных пределах?
2. Для чего предусмотрена система АМКО? Что она обеспечивает?
3. Основное назначение приборов и устройств системы АМКО?
4. В чем заключается принцип работы автоматики безопасности котла?
5. Что входит в состав приборов и устройств системы АМКО?
6. Какие подготовительные мероприятия необходимо осуществить перед пуском котла?
7. Какие выполняют операции, чтобы остановить котел?



## **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 15**

**Тема:** «Автоматическое регулирование процессов водоподготовки».

**Цель работы:** Изучить способы автоматического регулирования процессов водоподготовки.

**Содержание отчета:**

1. Конспект общих сведений данной работы.
2. Краткое описание автоматического регулирования процессов водоподготовки.

### **Общие сведения**

Повышенные требования к качеству воды, поступающей для питания паровых котлов или подпитки теплосети, вызывают осложнения цикла водоподготовки, особенно в тех случаях, когда источником водоснабжения являются поверхностные источники.

Наряду с регулированием таких процессов, как подогрев исходной воды или поддержание постоянного уровня в баках декарбонизированной воды, возникают задачи, связанные с автоматизацией работы осветлителей и программным управлением процессом восстановления фильтров (механических, H- или Na-катионитовых).

*Автоматизация осветлителя включает:*

- регулирование нагрузки осветлителя;
- поддержание постоянной температуры воды к осветлителю;
- поддержание определенного соотношения между количеством воды, поступающей на осветление, и количеством регенерируемой воды (вода, возвращаемая в осветлитель после промывки механических фильтров);
- дозирование раствора реагентов.

### **Автоматическое регулирование процессов водоподготовки**

Регулирование производительности осветлителя (рис. 15.1) осуществляется по уровню в баке осветленной воды. Регулятор воздействует на подачу воды к осветлителю. Уровень в баке зависит от производительности

установки для водоподготовки и расходов на ее собственные нужды (например, помывка фильтров).

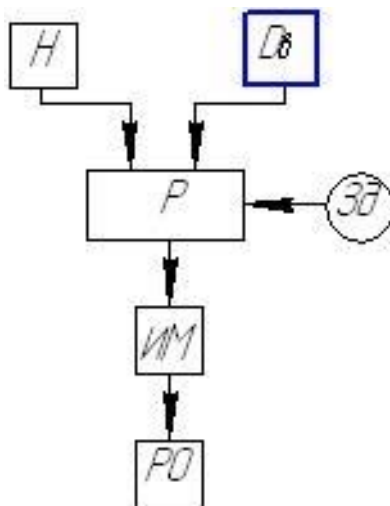
Следует иметь в виду, что при стабильной нагрузке осветлителя улучшаются условия сохранения слоя взвешенного осадка (шлама), улучшается качество осветленной воды, облегчается работа дозирующих устройств.

Стабилизация нагрузки достигается созданием в баке осветленной воды нерегулируемого объема (20—25 % емкости бака), в пределах которого изменение уровня не вызывает срабатывания регулятора. Это осуществляется увеличением зоны нечувствительности регулятора.

Для улучшения работы АСР в качестве обратной связи вводится дополнительный импульс по расходу воды на осветлитель.

При резкопеременных нагрузках с большими амплитудами рекомендуется отключать воздействие регулятора при снижении расхода воды к осветлителю до 30 и повышении до 125 % номинального.

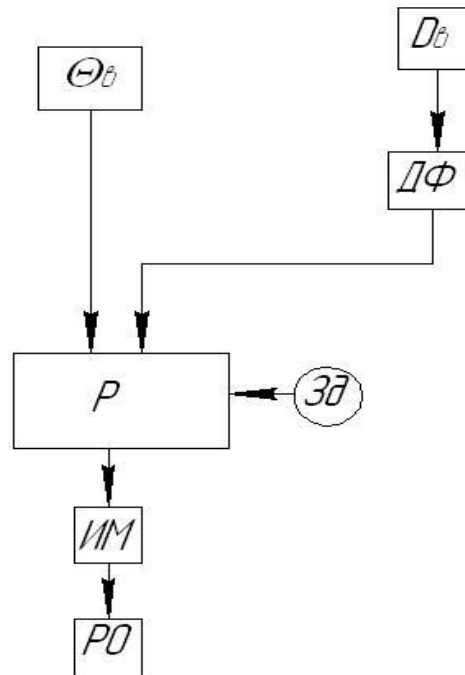
При установке группы осветлителей у каждого предусматривается свой бак и индивидуальный регулятор производительности.



**Рис. 15.1 - Структурная схема регулирования производительности осветителя:**

*Dв* — расход воды к осветителю, *H* — уровень в баке осветленной воды, *P* — регулятор производительности, *Зд* — задатчик, *ИМ* — исполнительный механизм, *РО* — регулировочный орган.

Регулирование температуры воды, подаваемой к осветлителю (рис. 15.2), должно осуществляться с точностью  $\pm 1$  °С. Отклонение свыше 1 °С, ведет к нарушению процесса кристаллизации в осветлителе. Регулятор получает импульс по температуре воды за подогревателем и воздействует на подачу теплоносителя к подогревателю или к группе параллельно работающих подогревателей.



**Рис. 15.2 - Структурная схема регулирования температуры воды к осветлителю:**

$\Theta_{в}$  — температура воды за подогревателем,  $D_{в}$  — расход воды за подогревателем,  $P$  — регулятор температуры,  $ДФ$  — дифференциатор,  $Z_{д}$  — задатчик,  $ИМ$  — исполнительный механизм,  $РО$  — регулировочный орган.

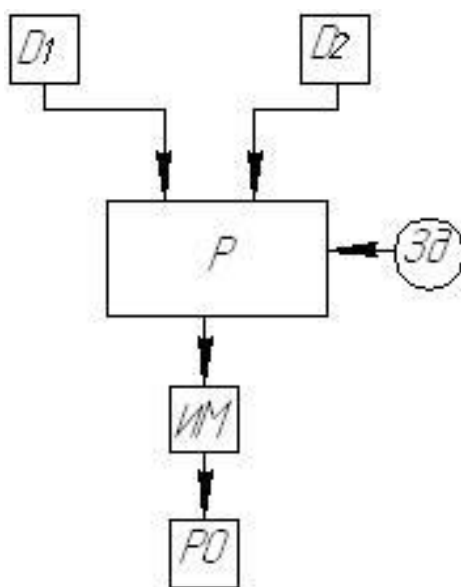
При резкопеременных нагрузках следует вводить дополнительный импульс по скорости изменения расхода воды через подогреватель и устанавливать регуляторы на каждый подогреватель.

Кроме исходной воды, в осветлителе поступает вода, собираемая после отмывки механических фильтров.

Как правило, фильтры отмываются осветленной водой, в которую во время отмывки попадают взвешенные частицы, способствующие процессу образования шлама в осветлителях.

Чтобы не нарушать процесс шламообразования в осветлителе, расход регенерируемой воды должен составлять 10—12 % расхода исходной воды, поступающей на осветлитель (рис. 15.3).

Регулятор соотношения подачи регенерируемой воды в осветлитель поддерживает нужное соотношение расходов, воздействуя на подачу регенерационной воды в осветлитель.



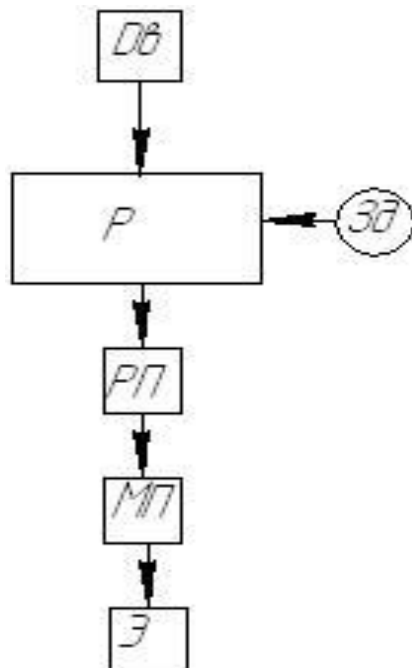
**Рис. 15.3 - Структурная схема регулирования расхода регенерируемой воды к осветлителю:**

$D1$  — расход регенерируемой воды в осветлитель,  $D2$  — расход исходной воды в осветлитель,  $P$  — регулятор расхода,  $Зд$  — задатчик,  $ИМ$  — исполнительный механизм,  $РО$  — регулировочный орган.

Подача реагентов в исходную воду производится насосами-дозаторами. Теоретически дозировку реагентов следует регулировать по импульсу, отражающему качество обрабатываемой воды.

Однако надежные дешевые и простые в эксплуатации приборы промышленность в настоящее время не выпускает. Поэтому дозировка

реагентов выполняется насосом-дозатором пропорционально расходу обрабатываемой воды (рис. 15.4).



**Рис. 15.4 - Структурная схема регулирования дозировки реагента по расходу исходной воды:**

*Дв* — расход исходной воды, *Р* — регулятор, *Зд* — задатчик,  
*РП* — промежуточное реле, *МП* - магнитный пускатель,  
*Э* — электродвигатель насоса-дозатора.

В осветлитель подаются известковое молоко (для снижения жесткости воды и создания кристаллических осадков), коагулянт и полиакриламид (для процесса удаления из воды грубодисперсных и коллоидных примесей).

Количество подаваемого известкового молока зависит от качества обрабатываемой воды, а коагулянта и полиакриламида — от количества воды. Поэтому предусматриваются отдельные регуляторы для дозирования указанных реагентов.

В схемах водоподготовки применяются Н- и Na-катионитовые фильтры. Фильтры диаметром более 3 м поставляются комплектно с мембранными клапанами, позволяющими автоматизировать процесс восстановления фильтров.

***Контрольные вопросы:***

1. Что включает в себя автоматизация осветлителя?
2. Как осуществляется регулирование производительности осветлителя?
3. Как осуществляется регулирование температуры воды, подаваемой к осветлителю?
4. Как осуществляется регулирование расхода регенерируемой воды к осветлителю?
5. Как осуществляется регулирование дозировки реагента по расходу исходной воды?

## **СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Плетнев Г.П. Автоматизированное управление объектами тепловых электростанций: Учеб. пособие. – М.: Энергоиздат, 2014. – 362 с;
2. Наладка и эксплуатация водяных тепловых сетей: Справочник/Манюк В.И., Каплинский Я.И., Хиж Э.Б. и др. – М.: Стройиздат, 2018. – 432 с;
3. Беляев Г.В., Кузишин В., Смирнов Н.И. Технические средства автоматизации в теплоэнергетике: Учеб. пособие. – М.: Энергоатомиздат, 2017. – 320 с.