

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПАРОВОГО КОТЛА

И. А. ШАБАЛИН¹, М. Ю. ОЗЕРОВ²

¹ alleasyy@yandex.ru, ² 9014403649@mail.ru

¹ ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий» (УУНИТ)

² ЗАО УП «Росводоканал»

Аннотация. В рамках разработанной математической модели, созданной для управления блочной модульной котельной, предлагается её внедрение для управления паровым котлом в промышленности. Описывается принцип работы математической модели и способы регулирования работы котла, технология производства пара, внедрение математической модели для управления паровым котлом и подбор основного и вспомогательного оборудования САУ параметрами теплоносителя. Рассматривается реализация предложенного способа управления на основе ПО *MatLab Simulink*.

Ключевые слова: автоматизация, САУ, паровой котёл, математическая модель.

ВВЕДЕНИЕ

Системы автоматического управления (в дальнейшем САУ) уже сильно укоренились в повседневной жизни каждого человека. Это универсальное средство, которое можно адаптировать практически для любой среды для самых различных сфер и достижения разных целей, получило широкое распространение. Благодаря САУ можно осуществлять более точный мониторинг за состоянием рабочего оборудования, незамедлительное принятие мер по его управлению, продление его срока службы, экономичности, а также мгновенное осуществление защитных действий в случаях возникновения аварийных ситуаций в любое время суток и при любых условиях. На сегодняшний день, в условиях значительной затруднённости проведения ремонтных работ, замены оборудования или его составляющих, а также высокой стоимости и сложности изготовления некоторых составляющих САУ предоставляет возможность решения всех этих проблем, особенно в промышленности.

Как уже было сказано ранее, автоматизация парового котла будет происходить на основе энергоэффективной САУ водяным котлом [1]. Различия в том, что теплоносителем будет пар и он будет конденсироваться, после чего используется заново, после теплового потребителя. Это значит, что кроме давления и температуры воды, необходимо отслеживать и контролировать параметры пара.

Эта статья является продолжением работы, в которой была разработана энергоэффективная САУ блочной модульной котельной. В этой статье будет продемонстрировано, каким образом можно произвести автоматизацию парового котла и что САУ на самом деле очень гибки, и их можно адаптировать под любые условия.

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ПАРА

Паровой котёл работает при более высоких нагрузках, чем водяной, следовательно, необходимость соблюдения и поддержания всех требуемых параметров воды, от которых зависит долговечность работы оборудования и его эффективность, принимает особую значимость. Поэтому для производства пара из воды существует целая технология, состоящая из большого количества процессов, подготавливающих воду к производству пара.

Первым делом вода из водоёма забирается в водохранилище для отстаивания взвесей. Далее вода поступает в цех водоподготовки, где её тщательно очищают не только от оставшихся

взвешенных частиц (осветляют), но и удаляют прочие вредные примеси, такие как воздух, углекислый газ, кислород, кальций, магний.

Удаление газов и воздуха из воды происходит в деаэраторе. Для этого вода нагревается до температуры насыщения (104°C), а за счёт образования пузырьков при температуре насыщения, воздух и газы выводятся в паровую среду.

Далее очищенная вода при помощи питательного насоса поступает в паровой котёл. В зависимости от типа котла вода может проходить от одного цикла нагрева до множества, прежде чем станет паром. После этого пар направляется потребителю, где совершает работу.

Отработавший пар со сниженными показателями давления и температуры поступает в конденсатор, где за счёт холодной воды в трубах остужается и конденсируется. Далее конденсат последовательно проходит подогреватель низкого давления (ПНД) и подогреватель высокого давления (ПВД), после чего возвращается в котёл для прохождения цикла парообразования повторно.

На рис.1 представлена технология производства пара.

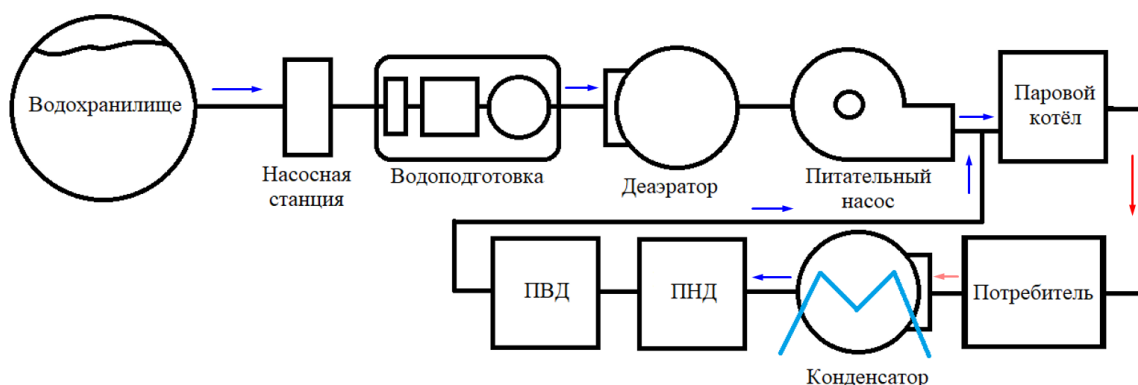


Рис. 1. Схема технологии производства.

РЕГУЛИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ

У теплоносителя, воды в промышленности самыми важными параметрами являются давление и температура. Несмотря на то, что они взаимосвязаны между собой, их регулирование осуществляется разными способами и оборудованием.

Существует два способа регулирования температуры: качественный и количественный. Качественный способ производится путём изменения температуры теплоносителя при его постоянном расходе. В количественном способе меняется расход теплоносителя, а его температура остаётся постоянной. Выберем качественный, так как это наиболее простой и широко распространённый способ регулирования [2].

Регулирование давления возможно тремя способами: дроссельный, старт-стопный и частотное регулирование оборотов рабочего колеса насоса. Дроссельный способ не является эффективным, так как при закрытии дросселя увеличивается нагрузка на насос. При старт-стопном регулировании увеличивается износ двигателя. Частотное регулирование обеспечивает плавную смену производительности без скачков, что обеспечивает качественное регулирование и повышает надёжность [3].

Частотное регулирование осуществляется следующим образом: в случае снижения давления теплоносителя с P_0 до P_1 , его дальнейшее восстановление осуществляется путём плавного повышения частоты вращения ротора насоса, что приводит к восстановлению давления теплоносителя от P_1 до P_0 (рис. 2) [4].

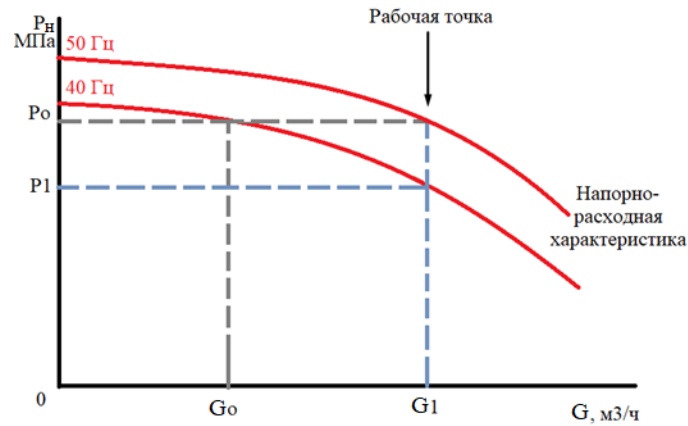


Рис. 2. Напорно-расходная характеристика насоса при увеличении частоты его питания

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ САУ

Для поддержания стабильной работы парогенерирующего оборудования, необходимо учитывать теплопотери, вызванные возмущающим фактором, снижающим температуру теплоносителя (температурой окружающей среды, в которой работает паровой котёл) (рис. 3).

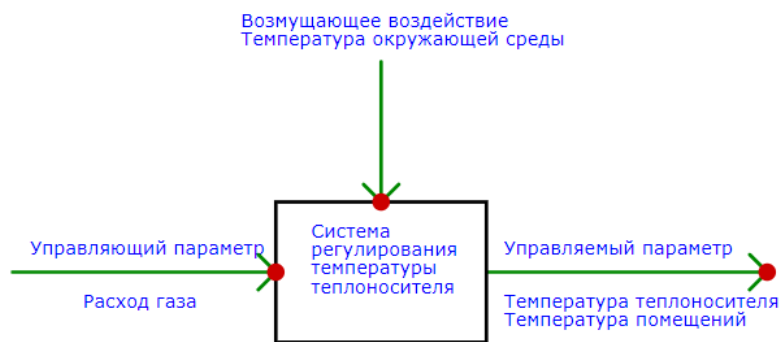


Рис. 3. Схема работы системы нагрева теплоносителя

Для обеспечения надёжности работы оборудования и плавности регулирования, управление температурой теплоносителя осуществляется путём применения ПИД-регулятора (рис. 4).

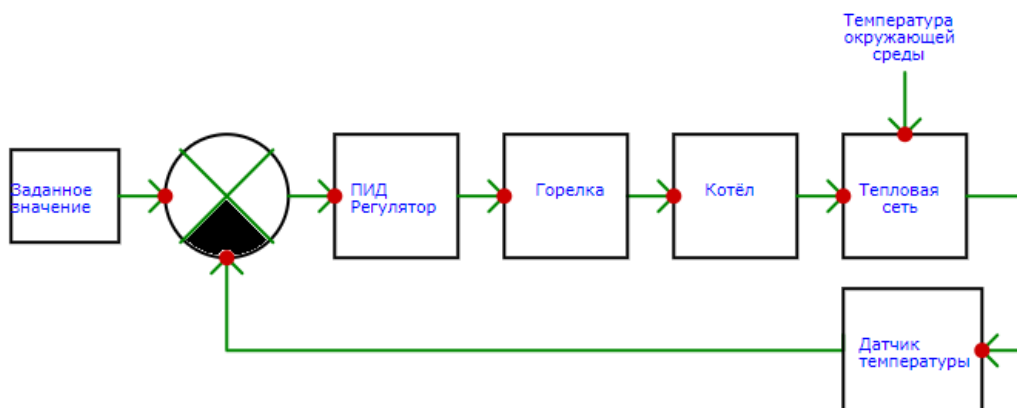


Рис. 4. Блок-схема САУ температурой теплоносителя

Таким же образом работает и система подпитки теплоносителя. Идеальных систем не бывает, поэтому утечки теплоносителя будут происходить в любом случае (утечка теплоносителя должна составлять не более 0,25% от среднегодового оборота объёма воды [5]), а для обеспечения требуемого давления их необходимо своевременно восполнять (рис. 5).

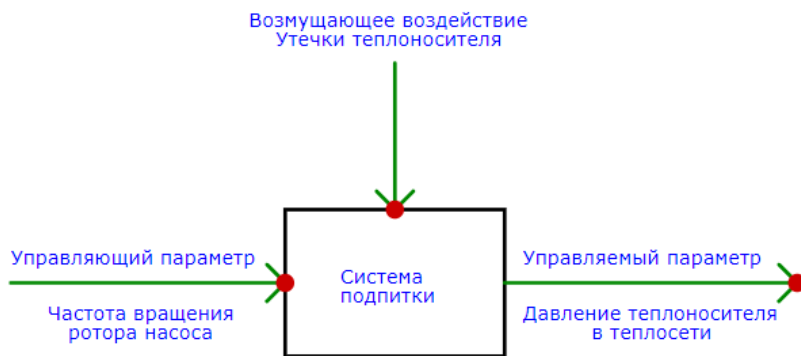


Рис. 5. Схема работы системы восполнения утечек теплоносителя

Частотное регулирование двигателем насоса также осуществляется посредством применения ПИД-регулятора (рис. 6).

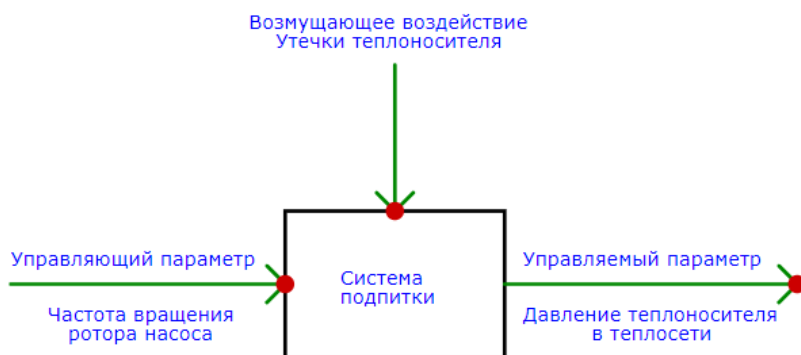


Рис. 6. Блок-схема САУ давлением теплоносителя

Приведённые выше схемы систем поддержания параметров теплоносителя реализованы в математической модели САУ в *MatLab Simulink*. Ниже представлена математическая модель САУ давлением теплоносителя (рис. 7).

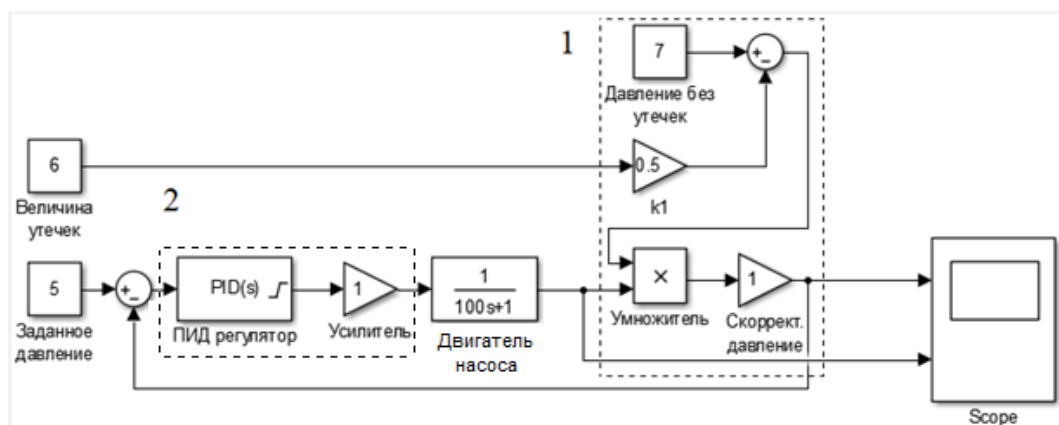


Рис. 7. Математическая модель САУ давлением теплоносителя:
1 – контур насоса; 2 – контур регулирования частоты питания насоса

Описать работу данной математической модели можно следующей формулой:

$$P_n = P_0(1 - k_1 \cdot G_{ут}),$$

где P_n – давление насоса;

k_1 – коэффициент величины утечек, характеризует воздействие утечек на давление теплоносителя;

$G_{ут}$ – величина утечек теплоносителя.

$$k_1 = \frac{P_0 - P_1}{G_{ут}},$$

где P_1 – величина давления теплоносителя при утечках.

Для упрощения математической модели и её исследования линеаризуем напорно-расходную характеристику насоса, пренебрегая функцией напора теплоносителя от величины его утечек $F(G_{ут})$:

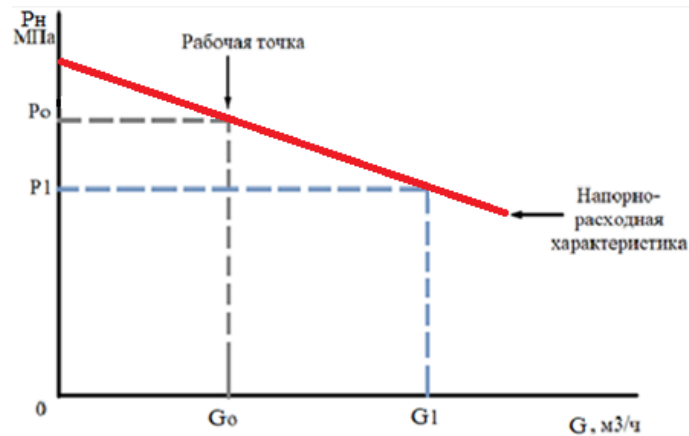


Рис. 8. Линеаризованная напорно-расходная характеристика насоса

Математическая модель САУ температурой теплоносителя, приведённая ниже, выполненная в соответствии с математическими выражениями, приведёнными ниже.

Проанализируем, как работает система регулирования температуры теплоносителя. Есть два важных параметра: управляемый – расход газа и наблюдаемый – температура теплоносителя. Второй напрямую зависит от первого. Чем больше газа мы потратим при сжигании, тем больше выделится и тем больше можно транспортировать потребителю для обеспечения его требуемым количеством тепла.

Возмущающим фактором здесь будут потери тепла при теплоотдаче воздуху помещения и ещё ряд других, например, такие как потери тепла из-за неидеальной теплоизоляции трубопровода. Предположим, что главным и единственным возмущающим фактором будет температура окружающей среды. Изменение температуры воздуха окружающей среды приводит к изменению температуры воздуха в помещении. В свою очередь, изменение температуры теплоносителя приводит к изменениям температуры воздуха жилого или производственного помещения. Взаимосвязь этих параметров между собой можно отразить следующими формулами:

$$Q_k = 100qV_{газ}\eta_k,$$

где Q_k – мощность отопительного котла, кВт;

q – низшая удельная калорийность природного газа, в среднем составляет 9.2 кВт/м³;

$V_{газ}$ – объемный расход природного газа в час, м³;

η_k – коэффициент полезного действия газового котла.

Определим количество тепла, которое поступает на обогрев помещения ($Q_{п}$).

$$Q_{п} = Q_k \cdot k_c,$$

где k_c – коэффициент сети теплоснабжения. Показывает, какая часть тепла Q_k транспортируется до контролируемого помещения.

Температуру воздуха в контролируемом помещении $t^{\circ}_{пом}$ можно определить из формулы:

$$t^{\circ}_{пом} = \frac{Q_{п} - Q_{п.т.}}{m},$$

$Q_{п.т.}$ – потери тепла в помещении, кДж;

m – коэффициент, учитывающий конструктивные особенности помещения, объём, материал стен, оборудования в помещении.

$$Q_{п.т.} = (t^{\circ}_{пом} - t^{\circ}_{н.в.})C_{п.т.},$$

$t^{\circ}_{н.в.}$ – температура воздуха окружающей среды;

$C_{п.т.}$ – коэффициент, учитывающий потери тепла из помещения (теплоёмкость ограждающих конструкций, стен, потолка, пола, окон, дверей)

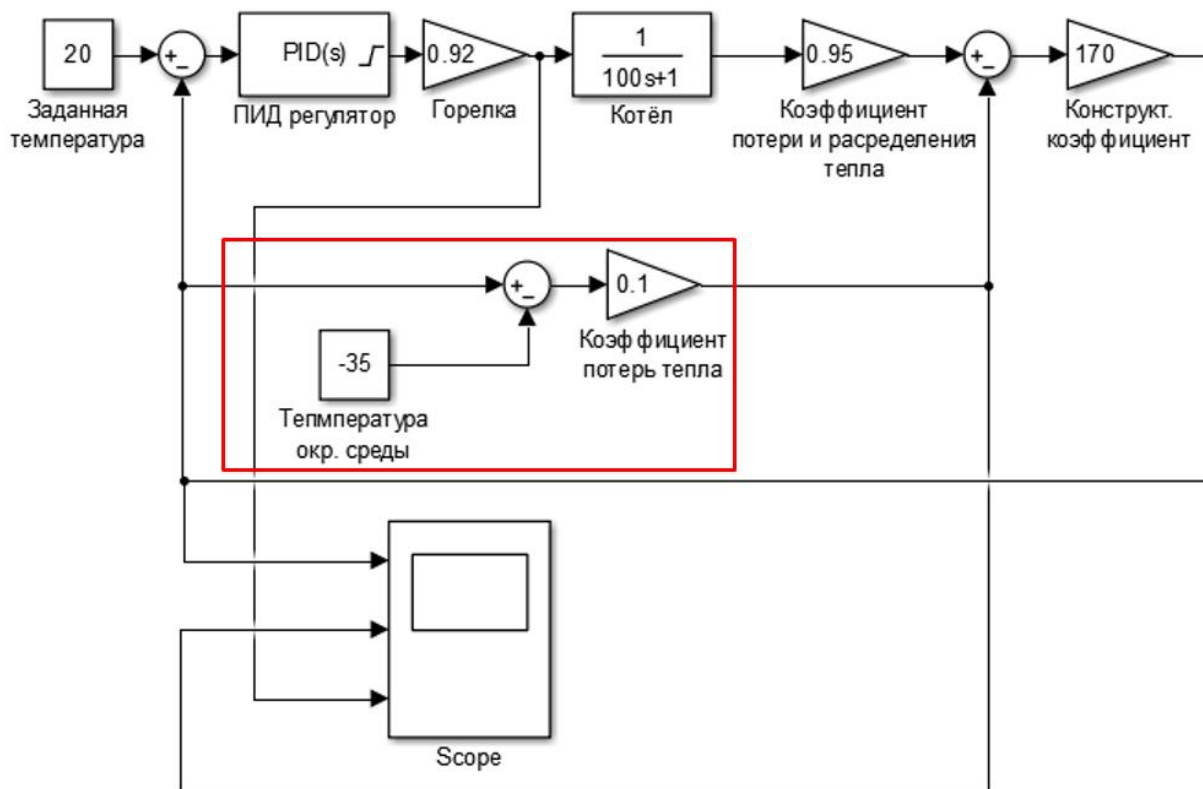


Рис. 9. Математическая модель САУ температурой теплоносителя

Заданное значение температуры подаётся на ПИД регулятор, который регулирует степень открытия клапана горелки, определяя этим её производительность. Котёл представлен апериодическим инерционным звеном, имитирующим его работу. Имитацию коэффициентов k_c и $C_{п.т.}$ представляет собой усилитель после апериодического звена. После него установлен усилитель, имитирующий конструкционный коэффициент m . Далее, выделенный красным контур, имитирующий воздействие на температуру теплоносителя возмущающий фактор, установлен после всех участвующих звеньев. Это будет точным решением, так как температура воздуха окружающей среды начинает влиять на температуру теплоносителя уже на выходе из котла, и только потом оказывает влияние конструкционный коэффициент.

Как меняется температура теплоносителя при сжигании газа, видно из характеристики, приведённой на рис. 10 для качественного метода регулирования системы отопления:

Разработанная математическая модель САУ температурой теплоносителя изменяет его температуру линейно некоторое время [9]. Позже характеристика изменения его температуры начинает принимать криволинейный характер, что видно из исследования математической модели САУ [6].

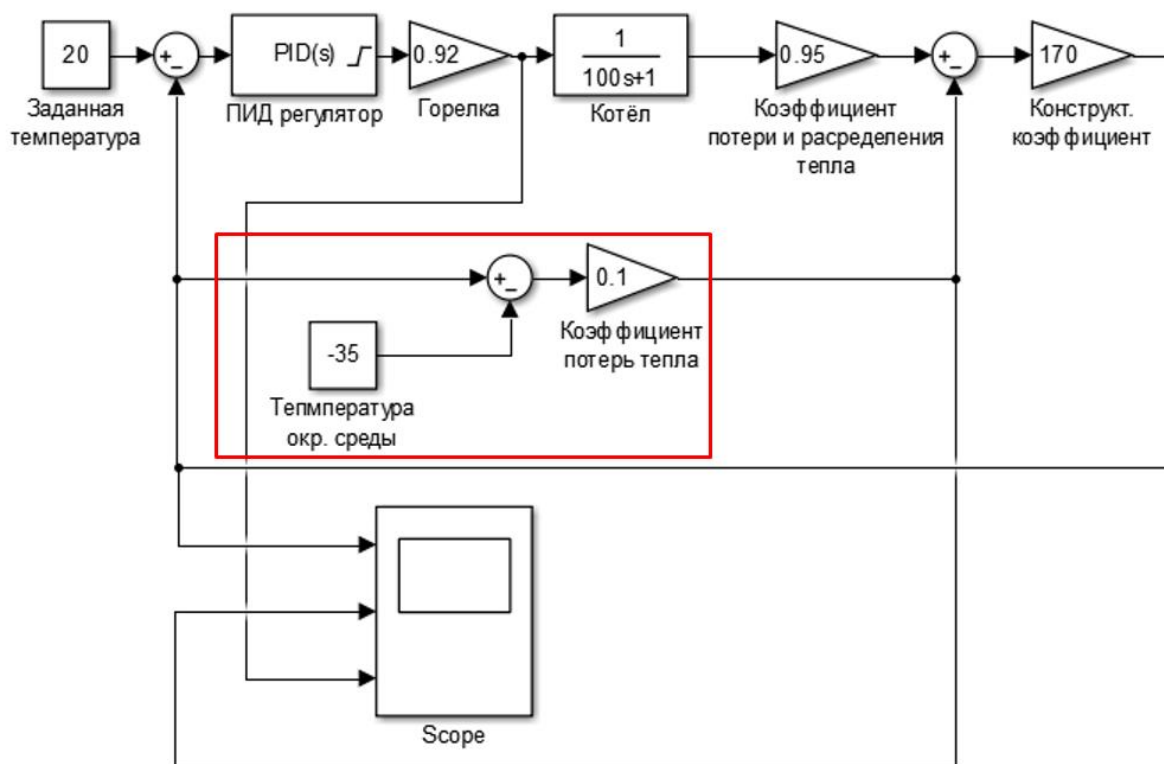


Рис. 10. Характеристика качественного метода регулирования температуры

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной статье представлена возможность адаптации и внедрения энергоэффективной системы управления блочной котельной для управления паровым котлом высокой производительности.

САУ парового котла высокой производительности отличается большим количеством процессов, требующих их постоянного контролирования, которое необходимо для обеспечения высокой надёжности оборудования, его экономичности, энергоэффективности, а также особенностью работы парового котла для производства пара.

Как видно из математических моделей и приведённых выше схем, внедрение в промышленность САУ паровым котлом возможно, так как для его управления необходимо лишь учесть референсные значения, относительно которых и будет осуществляться их контроль. Для осуществления контроля за температурой и давлением пара и воды необходимо учитывать технологию производства пара, характеристики оборудования и цели контроля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шабалин И.А. Разработка энергоэффективной системы управления блочной котельной: маг., 13.04.01. Уфа, 2022. 61 с.
2. Основы централизованного теплоснабжения: учеб. пос./А.А. Кудинов, С.К. Зиганшина. Самара: Самар. гос. техн. ун-т. 2007. 136 с.
3. Гордейчик А.В., Попов А.В., Усачев А.П. Оценка эффективности частотного регулирования производительности насосных агрегатов ВНС и КНС. Электронный ресурс. URL: https://dspace.susu.ru/xmlui/bitstream/handle/0001.74/25040/2018_266_kazakovatp.pdf?sequence=1 (дата обращения 31.05.2022).
4. Частотно-регулируемый электропривод насосных установок. М.: Машиностроение, 2013. 176 с.
5. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации (утв. приказом Минэнерго РФ от 19 июня 2003 г. N 229) (Докипедия: Приказ Минэнерго РФ от 19 июня 2003 г. N 229"Об утверждении Правил технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации").
6. Свистунов В.М., Пушняков Н.К. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха агропромышленного комплекса и жилищно-коммунального хозяйства: Учеб. для вузов. СПб.: Политехника, 2001. 423 с.

ОБ АВТОРАХ

ШАБАЛИН Илья Алексеевич, маг. каф. АТИТ. Дипл. теплоэнергетик и теплотехник (УГАТУ, 2022). Готовит дис. о энергоэффективным управлением паровым котлом.

ОЗЕРОВ Михаил Юрьевич, к.т.н.. каф. АСУ. Дипл. Инженер по автоматизации (Уфимский авиационный институт, 1979).

METADATA

Title: Automation of a steam boiler.

Authors: I.A. Shabalin¹, M.Y. Ozerov²

Affiliation:

¹ Ufa I University of Science and Technology (UUST), Russia.

² Closed joint stock company unitary enterprise 'Rosvodokanal', Russia

Email: ¹ alleasy@yandex.ru, ² 9014403649@mail.ru.

Language: Russian.

Source: Molodezhnyj Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa University of Science and Technology), no. 2 (28), pp. 139-146, 2023. ISSN 2225-9309 (Print).

Abstract: Within the framework of the developed mathematical model, created to control a block-modular boiler house, it is being implemented to control a steam boiler in industry. Determine the principle of operation of the mathematical model and control of the boiler operation, steam production technology, apply the mathematical model to control the steam boiler and select the main and auxiliary equipment of the coolant automatic control system parameter. The implementation of the proposed effective control based on the MatLab Simulink software is considered.

Key words: automation, automatic control system, steam boiler, mathematical model.

About authors:

SHABALIN, Ilya Alekseevich, Master, student of the Dept. of Aviation Heat engineering and Heat power engineering (UUST, 2023).

OZEROV, Mikhail Yurievich, Cand. of Tech. Sci., Dept. of Automated Systems. Dipl. Automation engineer (Ufa Aviation Inst., 1979).