

УДК 621.311

Р.В. Федюн (канд. техн. наук, доц.), А.Ю. Абакумов
ГБУЗ «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк
кафедра автоматики и телекоммуникаций
E-mail: frv76@list.ru, thornrenegade@gmail.com

АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕМ СПОРТИВНОГО КОМПЛЕКСА

Выполнен анализ системы теплоснабжения спортивного комплекса как объекта автоматического управления. Предложено представить систему автоматического управления теплоснабжением как совокупность контуров управления технологическими параметрами: давлением теплоносителя, температурой теплоносителя в контуре радиаторов, температурой теплоносителя в нагревательном теплообменнике. Разработаны математические модели предложенных контуров САУ теплоснабжением. Выбраны регуляторы и определены их настроечные параметры. Выполненное моделирование динамических процессов в САУ подтвердило эффективность предложенных законов управления.

Ключевые слова: *теплоснабжение, давление теплоносителя, температура теплоносителя, система автоматического управления, математическое моделирование, ПИД-регулятор.*

Общая постановка проблемы

Экономичность функционирования систем теплоснабжения является важной задачей, так как она в значительной мере влияет на затраты каждого среднего и крупного предприятия, а следовательно, оказывает влияние и на экономическую ситуацию государства в целом.

Система теплоснабжения спортивного комплекса представляет собой сложную распределенную систему, состоящую из радиаторов, трубопроводов, насосов, задвижек и теплообменников. Пользователи спортивного комплекса по своему усмотрению могут включать и отключать радиаторы в помещениях, при этом конфигурация системы будет меняться, и частота вращения насосов должна соответственно изменяться для того, чтобы давление в системе оставалось на заданном уровне. Помимо этого будет изменяться скорость теплообмена между системой и отапливаемыми помещениями, поэтому нужно регулировать количество поступающей горячей воды, изменяя процент открытия регулируемых клапанов, что в свою очередь тоже будет влиять на давление в системе отопления.

Таким образом, процесс теплоснабжения спортивного комплекса является многосвязным, многомерным объектом с распределенными параметрами, эффективное функционирование которого невозможно без современной системы автоматического управления.

Постановка задач исследования

Для создания системы автоматического управления процессом теплоснабжения спортивного комплекса необходимо решить следующие задачи:

- выполнить анализ особенностей процесса теплоснабжения спортивного комплекса с точки зрения автоматического управления;
- представить процесс теплоснабжения в виде совокупности взаимодействующих контуров;
- получить математическое описание объекта управления по каждому контуру;

© Федюн Р.В., Абакумов А.Ю., 2013

- разработать необходимые алгоритмы управления в САУ теплоснабжением спортивного контура с учетом технологических требований и ограничений;
- выполнить моделирование динамических режимов в контурах разработанной САУ для проверки эффективности предложенных алгоритмов управления.

Решение задач и результаты исследований

По трубам системы теплоснабжения циркулирует жидкий теплоноситель. С течением времени теплоноситель отдаёт своё тепло воздуху в отапливаемых помещениях. Температуру теплоносителя необходимо повышать до исходного уровня. Повышение температуры воды в системе отопления происходит благодаря теплообмену с горячей водой, циркулирующей по трубопроводу. Нагрев этой горячей воды происходит в теплообменнике, к которому подведены трубы с водой от энергоцентра. Вода из энергоцентра и трубопровода при этом не смешивается. Технологическая схема объекта представлена на рисунке 1.

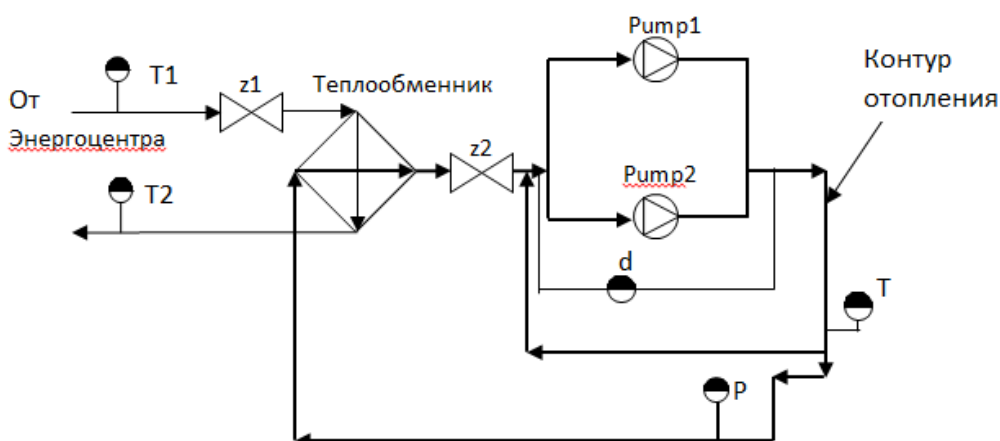


Рисунок 1 – Технологическая схема системы теплоснабжения спортивного комплекса

Исходя из всего вышеприведенного, можно выделить следующие контуры управления в САУ:

- контур стабилизации давления теплоносителя в системе теплоснабжения;
- контур распределения нагрузки между насосами с целью увеличения срока службы;
- контур стабилизации температуры теплоносителя в контуре радиаторов;
- контур стабилизации температуры теплоносителя в нагревательном теплообменнике.

Выполненный анализ процесса теплоснабжения спортивного комплекса позволил выделить управляющие, управляемые величины и возмущающие воздействия.

Управляющие воздействия: частота вращения насосов; процент открытия задвижки перед отопительным контуром. Управляемые величины: давление теплоносителя в системе отопления; температура теплоносителя в системе отопления; температура теплоносителя в теплообменнике. Основные возмущающие воздействия: влияние температуры окружающей среды (температура помещения); изменение пользователями конфигурации отопительной системы (включение/отключение радиаторов).

Получим математическую модель САУ давлением в отопительной системе. На основании приведенной схемы объекта, исходя из поставленных задач, получена следующая структурная схема данного контура управления (рисунок 2).

Объектом регулирования САУ давлением в отопительной системе являются отопительные радиаторы, соединённые с системой и между собой трубами. Входным параметром является давление P_H , нагнетаемое насосами, выходным – давление в самой системе радиаторов P_{Tr} . Возмущающим воздействием является изменение параметров объекта регулирования (обозначим как воздействие G), так как пользователи могут включать

или выключать некоторые радиаторы для поддержания комфортной температуры, тем самым включая или исключая отдельные компоненты из общего контура.

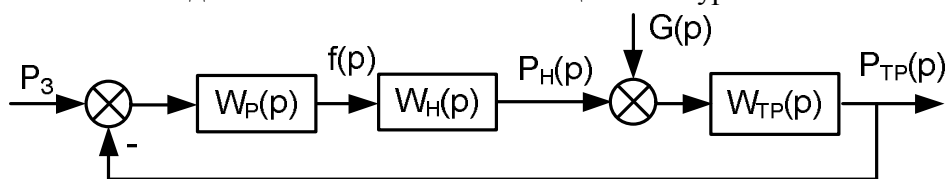


Рисунок 2 – Структурная схема САУ давлением в отопительной системе

Насос характеризуется частотой вращения ротора f на входе и давлением воды на выходе P_H . В контуре предусмотрено использование двух насосов для улучшения надёжности системы и повышения срока эксплуатации насосов. Но так как в каждый момент времени может быть задействован только один насос, и параметры насосов абсолютно одинаковы, для построения модели можно использовать упрощённый контур с одним насосом. В данной системе насос представляет собой инерционный объект, поэтому его математическое описание имеет вид [1]:

$$W_H(p) = \frac{k_H}{Tp + 1}, \quad (1)$$

где k_H – коэффициент передачи насоса;

T – постоянная времени насоса, зависящая от конструкции и режима работы насоса.

Для применяемого типа насосов эти значения $k_H = 0,75$ $T = 4$ с.

Систему труб выбранной длины с достаточной степенью точности можно представить в виде [2]:

$$W_{TR}(p) = \frac{1}{T_{TR}p + 1}. \quad (2)$$

Для данного контура управления выбран ПИД-регулятор с передаточной функцией в следующей форме:

$$W_P(p) = k_{II} + \frac{k_H}{T_{II}p} + \frac{T_d p}{\tau_d p + 1}. \quad (3)$$

На основе рекомендуемых значений и путём экспериментального уточнения были получены настройки $k_{II} = 15$; $T_d = 35$; $\tau_d = 1,5$; $k_H = 20$; $T_{II} = 35$. Используя данные значения, получена модель САУ давлением в системе теплоснабжения с предложенным алгоритмом управления. В связи с тем, что давление в системе нужно поддерживать круглосуточно, а насос при непрерывном режиме работы быстрее выходит из строя, в систему добавлен ещё один насос. Эти насосы включаются поочерёдно, и срок службы каждого увеличивается в несколько раз. Структурная схема модели САУ давлением в системе теплоснабжения приведена на рисунке 3.

Результаты моделирования динамических процессов в САУ давлением представлены на рисунке 4. Анализ результатов моделирования показал удовлетворительное качество переходных процессов в рассмотренном контуре управления давлением в отопительной системе. Как видно из графика (рисунок 4), перерегулирование не превышает 5%, а установившееся значение сигнала ошибки стремится к нулю. Возмущающее воздействие приводит к небольшим допустимым колебаниям давления. В рассматриваемой системе теплоснабжения требуется плавность изменения давления, отсутствие высокого давления и его резких скачков. Таким образом, предложенный ПИД-закон управления с полученными настройками наиболее подходит для САУ давлением в отопительной системе.

На основании приведенной схемы объекта управления и поставленных задач,

разработана структурная схема САУ температурой отопительной системы, которая приведена на рисунке 5.

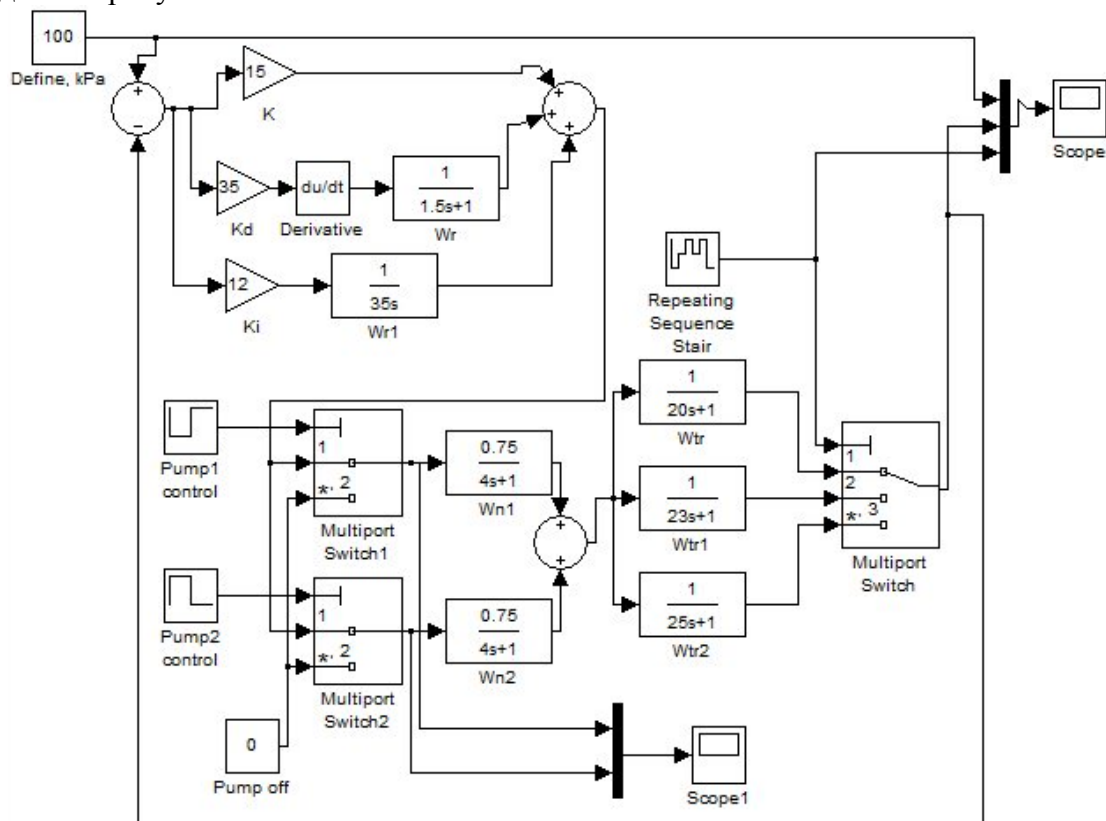


Рисунок 3 – Модель САУ давлением в отопительной системе при использовании ПИД-закона регулирования

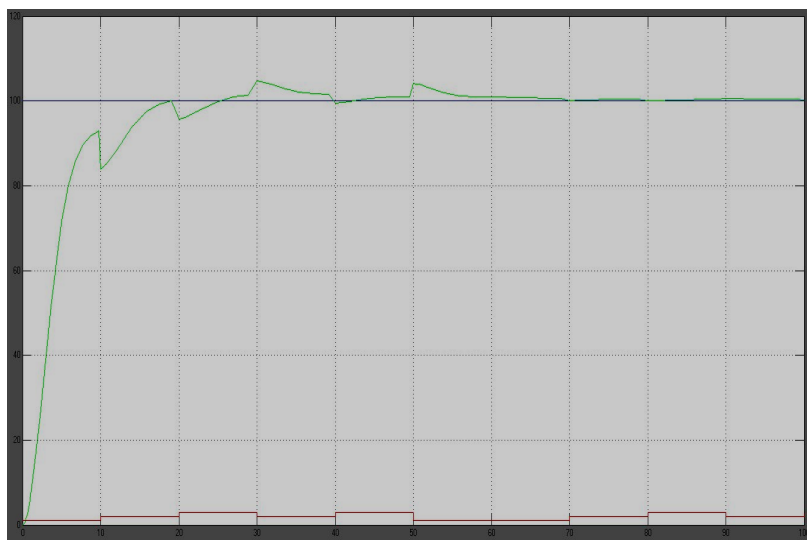


Рисунок 4 – Переходный процесс в САУ давлением с ПИД-законом управления

Объектом регулирования САУ теплоснабжения является контур системы отопления с радиаторами $W_n(p)$, выходной параметр – температура теплоносителя (в нашем случае воды) в контуре $T_i(t)$, которую нужно поддерживать на заданном уровне путём изменения количества тепла, передаваемого в контур с радиаторами из основной системы.

В основном контуре вода нагревается в теплообменнике, к которому подводится горячая вода с заданной температурой. Таким образом, получаем постоянную заданную

температуру в основном контуре T_B . Необходимо поддерживать определённое значение температуры T_3 в контуре радиаторов. Возмущающим воздействием является температура внешней среды – $T_o(t)$.

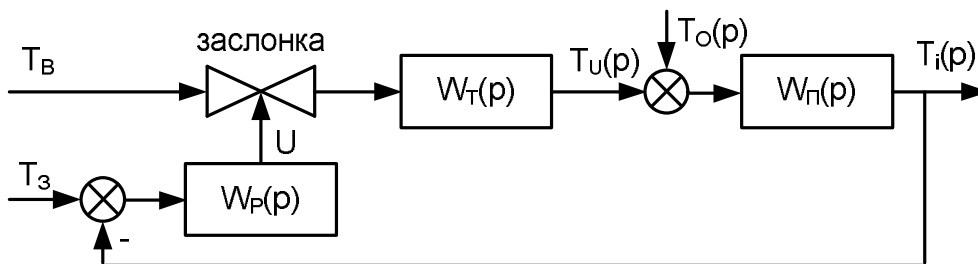


Рисунок 5 – Структурная схема САУ температурой отопительной системы

Дифференциальное уравнение в операторной форме, которое показывает связь между температурой воды в радиаторах с подачей тепла из основного контура и температурой окружающей среды имеет вид:

$$T_i(s) = \frac{k}{(\tau_1 s + 1)} Q_i(s) + \frac{1}{(\tau_2 s + 1)} T_o(s), \quad (4)$$

где $Q_i(s)$ – количество тепла, переданное на радиаторы;

$T_i(s)$ - температура теплоносителя в радиаторе; $T_o(s)$ - температура внешней среды;

k - коэффициент эффективности обогрева;

τ_1 - постоянная времени теплоотдачи от поступающего тепла;

τ_2 - постоянная времени влияния температуры внешней среды.

Согласно выражению (4) получена модель процесса теплообмена в объекте регулирования, структурная схема которой приведена на рисунке 6.

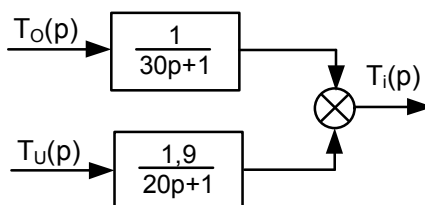


Рисунок 6 – Модель процесса теплообмена

В качестве исполнительного механизма используется заслонка, которую можно открывать от 0 до 100%. Заслонка помещается перед объектом управления, и в случае, если температура недостаточна, открывается больше, если температура превысила требуемую – закрывается. Инерционностью изменения положения заслонки можно пренебречь в связи с тем, что инерционность объекта управления на порядок больше. Модель привода, открывающего и закрывающего заслонку, можно представить в виде интегрирующего звена.

Таким образом, получим модель САУ температурой отопительной системы, структурная схема которой приведена на рисунке 7. В результате моделирования был получен график изменения температуры в системе отопления (рисунок 8).

Кривая переходного процесса на рисунке 8 имеет допустимую колебательность, статическая ошибка отсутствует. По результатам моделирования можно сделать вывод, что регулятор температуры с поставленной задачей справляется, отклонения от требуемой температуры пренебрежительно малы, внешние возмущающие воздействия не оказывают заметного негативного влияния на регулируемый параметр.

Синтез САУ температурой в нагревательном теплообменнике производится аналогично вышеприведенному синтезу САУ температурой в отопительной системе.

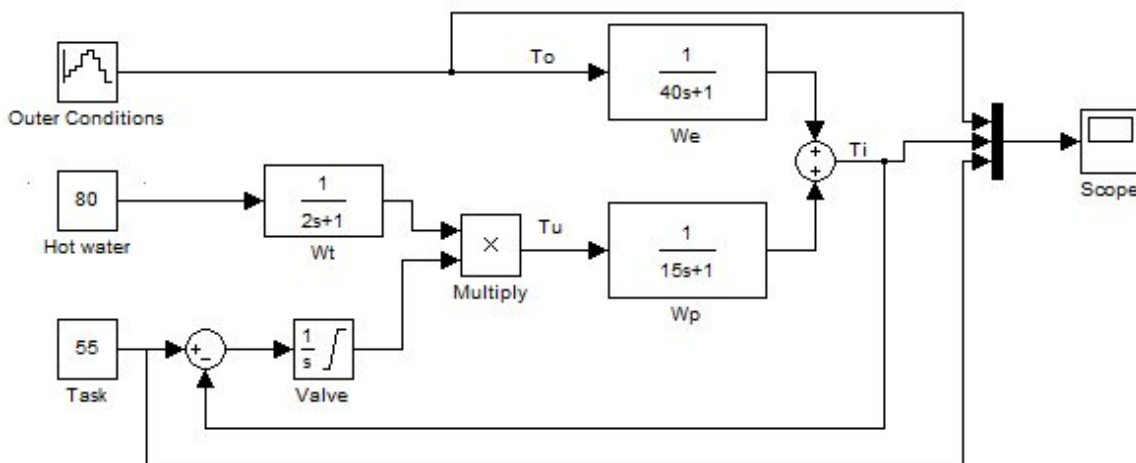


Рисунок 7 – Структурная схема модели САУ температурой отопительной системы

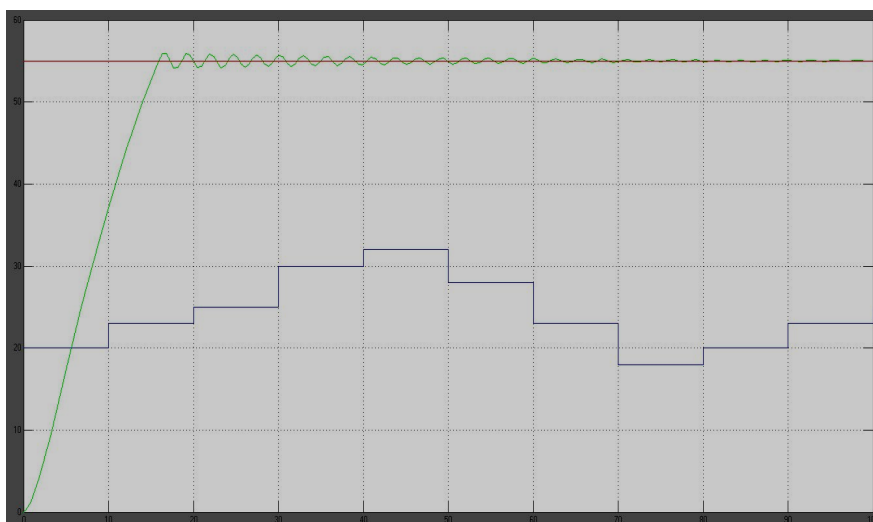


Рисунок 8 – Переходный процесс в САУ температурой отопительной системы

Исходя из структурной схемы всего объекта, получена следующая структурная схема данной подсистемы (рисунок 9).

Горячая вода (T_{hot}) поступает на заслонку. Положение заслонки изменяется двигателем ($W_p(p)$). Входом для двигателя является разность заданной температуры (T_z) и текущей температуры в контуре (T_{sys}). Теплообменник представлен передаточной функцией $W_{ex}(p)$.

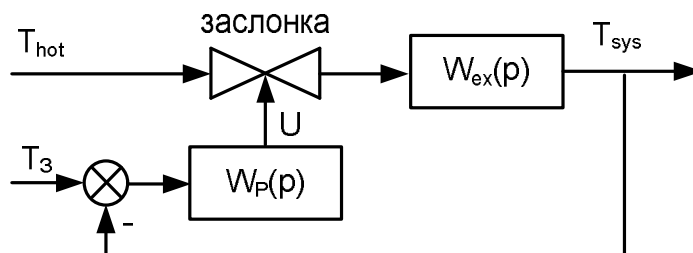


Рисунок 9 – Структурная схема САУ температурой нагревательного теплообменника

Исходя из выше перечисленного, разработана модель САУ и выполнено моделирование динамических процессов в ней (рисунки 10 и 11).

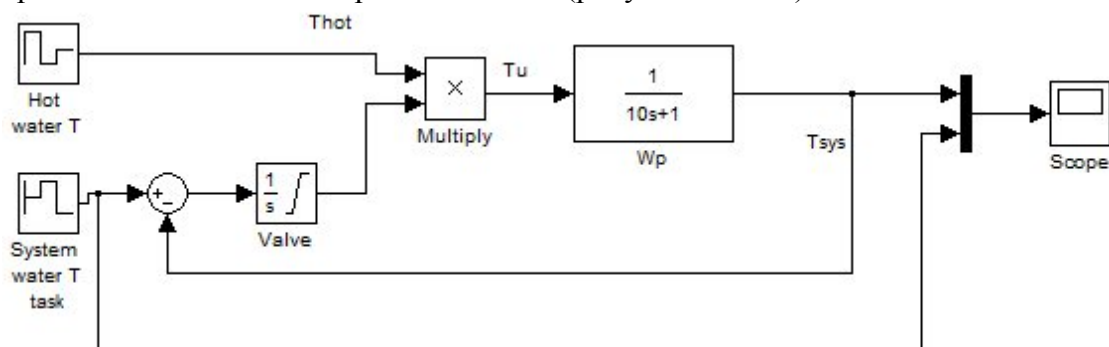


Рисунок 10 – Структурная схема модели САУ температурой нагревательного теплообменника



Рисунок 11 – Переходный процесс в САУ температурой нагревательного теплообменника

Для моделирования реальных условий функционирования и оценки реакции системы на различные задающие и возмущающие воздействия (температура горячей воды от энергоцентра Hot water T и заданное значение температуры на выходе теплообменника System water T task, которое необходимо поддерживать) они представлены повторяющейся последовательностью предварительно заданных значений: 95, 90, 92 °С для воды на входе и 80, 85, 75 °С для воды на выходе системы.

Как видно из рисунка 11, значение довольно точно следует за требуемым уровнем, процесс плавный, с достаточным быстродействием, с допустимой колебательностью. Показатели качества САУ соответствуют требуемым.

Выводы

1. Выполненный анализ процесса теплоснабжения позволил представить его в виде совокупности взаимодействующих контуров управления, а также выделить управляемые координаты, управляющие и возмущающие воздействия по каждому из контуров САУ.

2. Предложенные математические модели процесса теплоснабжения позволили исследовать динамические процессы в объекте управления, по результатам которых сделан вывод о необходимости синтеза новых алгоритмов управления.

3. Использование предложенных регуляторов с соответствующими настройками позволило устранить статическую ошибку, улучшить динамические показатели качества, а также скомпенсировать возмущающие воздействия по каждому из рассмотренных контуров управления, что подтверждается результатами моделирования.

Список использованной литературы

1. Автоматизация систем отопления и ГВС [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://tss-k.ru/node/9>. – Дата доступа: 15.03.2013.
2. Автоматизация систем отопления [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://erectiondesign.com/automatization.html>. – Дата доступа: 15.03.2013.

Надійшла до редакції:
29.03.2013р.

Рецензент:
д-р техн. наук, проф. Скобцов Ю.О.

Р.В. Федюн, А.Ю. Абакумов

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»

Автоматичне управління теплозабезпеченням спортивного комплексу. Виконано аналіз системи теплопостачання спортивного комплексу як об'єкта автоматичного управління. Запропоновано представити систему автоматичного управління теплопостачанням як сукупність контурів управління технологічними параметрами: тиском теплоносія, температурою теплоносія в контурі радіаторів, температурою теплоносія в нагрівальному теплообміннику. Розроблено математичні моделі запропонованих контурів САУ теплопостачанням. Обрані регулятори і визначені їх параметри настройки. Виконане моделювання динамічних процесів в САУ підтвердило ефективність запропонованих законів управління.

Ключові слова: теплопостачання, тиск теплоносія, температура теплоносія, система автоматичного управління, математичне моделювання, ПІД-регулятор.

R.Fedyun, A. Abakumov

Donetsk National Technical University

Automatic Control of Heat Supply in a Sport Complex. Heating system of a sports complex is a complex distributed system consisting of radiators, pipes, pumps, valves and heat exchangers. The analysis of this subject showed that the process of heating a sports complex is a multi-connected, multi-dimensional object with distributed parameters, the efficient functioning of which is impossible without modern automation systems. Analysis of the heating process of a sports complex allowed identifying the following control loops in ACS: circuit of stabilizing coolant pressure in the heating system, circuit of load distribution between the pumps in order to increase the service life, circuit of coolant temperature stabilization in the radiator circuit, circuit of coolant temperature stabilization in the heat exchanger. We obtained a mathematical description and developed a mathematical model of the block diagram of the circuit of coolant pressure stabilizing. The PID controller is proposed to be used for this circuit. Analysis of simulation results showed satisfactory performance of transients in the above circuit of pressure control in the heating system. Based on this scheme of the control object and formulated tasks we developed a block diagram ACS of heating system temperature. The skeleton diagram of the model of the control loop is based on the equation of heat transfer process in the controlled system and the mathematical description of control valve and actuator. Analysis of simulation results showed that the resulting curve of the transition process has a margin of oscillation, static error is absent. According to simulation results, we can conclude that the temperature controller copes with the given task, deviations from the desired temperature are small enough to be ignored, external disturbances do not have a significant negative impact on the controlled parameter. The analysis of the temperature control process in the heating coil was carried out. As a result, the mathematical description of the control loop was obtained.

Keywords: heating, control object, automatic control system, mathematical modeling, transfer function, stabilization.