

А.Ю. Абакумов

Донецкий национальный технический университет, г. Донецк

кафедра автоматики и телекоммуникаций

E-mail: thornrenegade@gmail.com:

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕПЛООБЕСПЕЧЕНИЕМ СПОРТИВНОГО КОМПЛЕКСА

Выполнен анализ объекта управления, разработаны контуры стабилизации давления в системе отопления; температуры в системе отопления; температуры в нагревательном теплообменнике. Учтено влияние внешних факторов. Математическое моделирование, которое заключается в поиске передаточных функций, показало, что системы автоматического управления справляются с поставленными задачами.

Ключевые слова: теплообеспечение, объект управления, система автоматического управления, математическое моделирование, передаточная функция, стабилизация.

Общая постановка проблемы.

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 входного клапана.

Постановка задач исследования.

Для создания системы автоматического управления необходимо решить следующие задачи:

- стабилизация на заданном уровне давления путём управления частотой вращения вала насосов.;
- распределение нагрузки между двумя насосами с целью увеличения срока службы;
- стабилизация на заданном уровне температуры теплоносителя в контуре радиаторов. Стабилизация осуществляется с помощью управляемой задвижки, которую открывает/закрывает привод;
- стабилизация на заданном уровне температуры теплоносителя в нагревательном теплообменнике. К теплообменнику извне поступает горячая вода фиксированной температуры (от энергоцентра). Стабилизация осуществляется с помощью управляемой задвижки, которую открывает/закрывает привод.

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.

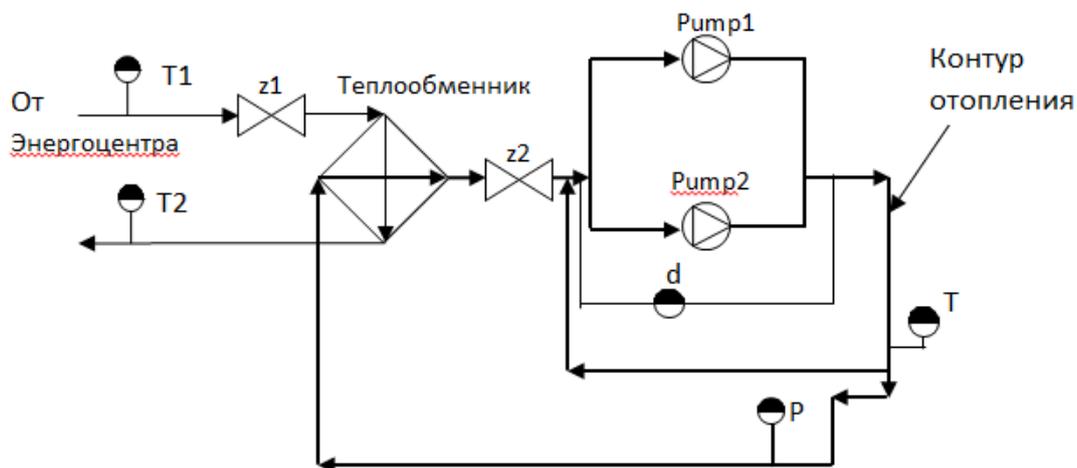


Рисунок 1 – Технологическая схема системы автоматического управления теплоснабжением спортивного комплекса

Исходя из всего вышеприведенного, можно выделить управляющие, управляемые величины и возмущающие воздействия.

Параметрами, с помощью которых система управления может воздействовать на ОУ, могут являться:

- частота вращения насосов;
- процент открытия задвижки перед отопительным контуром.

При этом параметрами ОУ, которые система должна регулировать, являются:

- давление воды в системе отопления;
- температура воды в системе отопления.

В качестве возмущающих воздействий в данной работе будут рассматриваться:

- влияние температуры окружающей среды (температура помещения);
- изменение пользователями конфигурации отопительной системы (включение/отключение радиаторов).

Построим математическую модель САУ давлением в отопительной системе.

На основании приведенной схемы объекта, исходя из поставленных задач, получена следующая структурная схема (рисунок 2) :

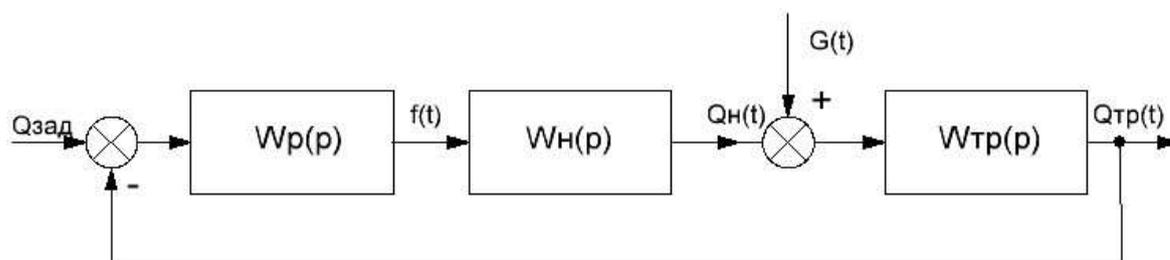


Рисунок 2 – структурная схема САУ давлением в отопительной системе.

Объектом регулирования САУ давлением в отопительной системе являются отопительные радиаторы, соединённые с системой и между собой трубами. Входным параметром является давление Q_n , нагнетаемое насосами, выходным – давление в самой системе радиаторов $Q_{тр}$. Возмущающим воздействием является изменение параметров объекта регулирования (обозначим как воздействие G), т.к. пользователи могут включать или выключать некоторые радиаторы для поддержания комфортной температуры, тем самым включая или исключая отдельные компоненты из общего контура.

Насос характеризуется частотой вращения ротора f на входе и давлением воды на выходе Q_n . 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.

Так как в данной системе насос представляет собой инерционный объект, в качестве передаточной функции насоса можно взять передаточную функцию апериодического звена первого порядка вида:

$$W_n = \frac{K_n}{T_p + 1}, \quad (1)$$

где K_n – коэффициент передачи насоса;

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

Для выбранного типа насосов эти значения 0.75 и 4 соответственно.

Систему труб выбранной длины можно промоделировать как инерционное звено первого порядка с постоянной времени примерно 25 секунд (2).

$$W_n = \frac{1}{T_{тр}p + 1}. \quad (2)$$

Из того, что пользователи могут включать и выключать радиаторы в помещениях по своему желанию, следует, что конфигурация объекта управления будет изменяться. Следовательно, будет меняться и передаточная функция объекта автоматизации.

Для управления системой выбран регулятор с ПИД-законом регулирования, который объединяет в себе качества ПИ- и ПД-регуляторов. Этот регулятор даёт нулевую статическую ошибку за счёт интегральной составляющей. Передаточная функция будет следующей:

$$W_p = K_p + \frac{K_i}{T_i p} + \frac{T_d p}{\tau_d + 1}. \quad (3)$$

На основе рекомендуемых значений и путём экспериментального уточнения были получены настройки $K_p = 15, T_d = 35, \tau_d = 1.5, K_i = 20, T_i = 35$. Имея данные значения, можно построить Модель САУ при использовании ПИД-закона регулирования. 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 поочередно, и срок службы каждого увеличивается в несколько раз.

В соответствии с разработанной структурной схемой объекта получим следующую модель (рисунок 3). Задатчиками режимов работы являются блоки Pump1 control и Pump2 control.

Переходный процесс представлен на рисунке 4.

Как видно из графика (рисунок 4), по качеству система соответствует требованиям – перерегулирование и ошибка очень малы (соответственно $\approx 5\%$ и ≈ 0). Возмущающее воздействие приводит лишь к небольшим колебаниям давления. Для физической системы требуется плавность изменения давления и отсутствие высоких давлений. Полученная модель системы соответствует этим требованиям, значит, можно сделать вывод: данный регулятор подходит для САУ давлением в отопительной системе.

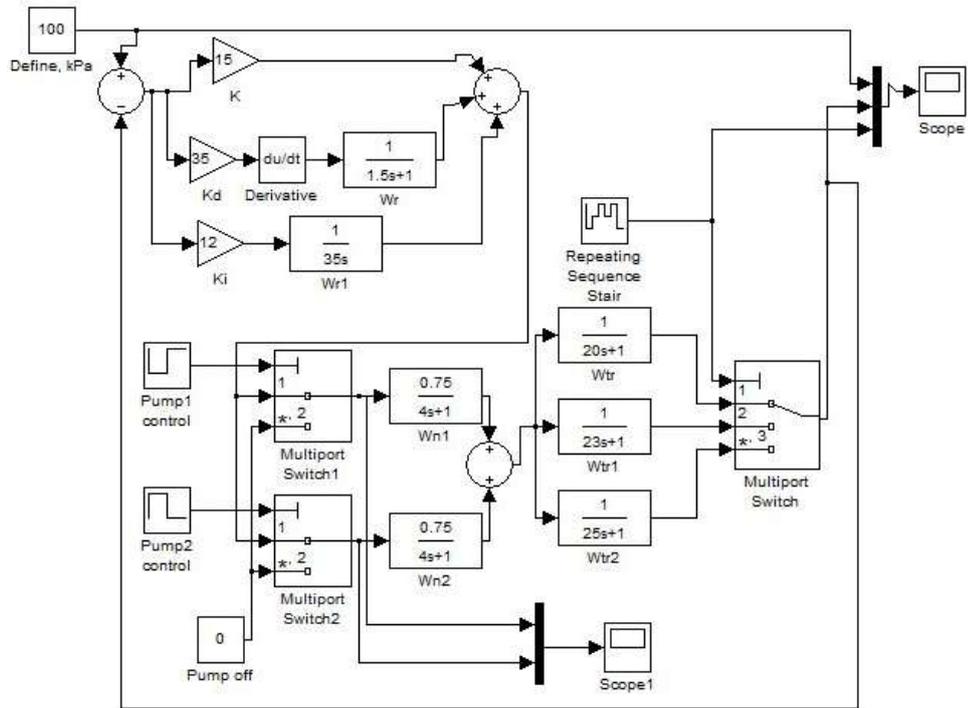


Рисунок 3 – Модель САУ давлением в отопительной системе при использовании ПИД-закона регулирования.

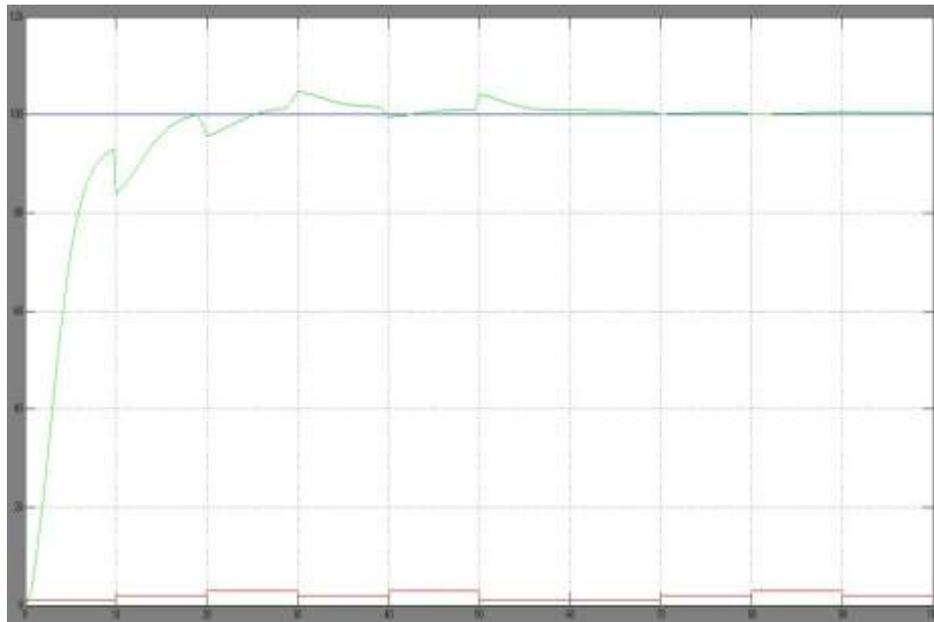


Рисунок 4 – Переходный процесс при использовании ПИД-закона регулирования.

Построим математическую модель САУ температурой в отопительной системе.

На основании приведенной схемы объекта, исходя из поставленных задач, разработана структурная схема, представленная на рисунке 5.

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.

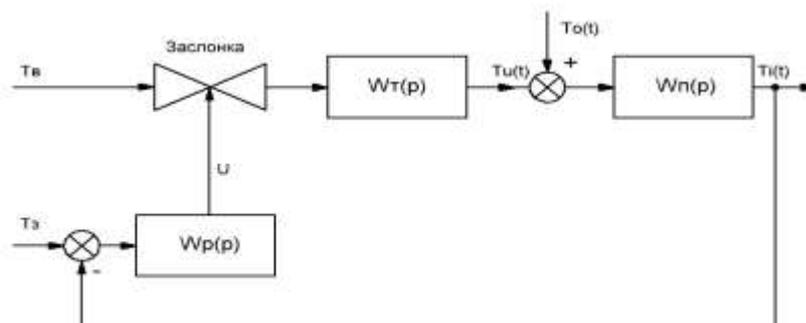


Рисунок 5 – структурная схема САУ температурой отопительной системы.

В основном контуре вода нагревается в теплообменнике, к которому подводится горячая вода с заданной температурой. Таким образом, получаем постоянную заданную температуру в основном контуре $T_в$. Необходимо поддерживать определённое значение температуры T_3 в контуре радиаторов. Возмущающим воздействием является температура внешней среды – $T_o(t)$.

Получив дифференциальное уравнение, которое описывает объект, и применив ряд преобразований, получим уравнение (4), которое показывает, как температура воды в радиаторах связана с подачей тепла из основного контура и температурой окружающей среды.

$$T_i(s) = \frac{K}{(\tau s + 1)} Q_i(s) + \frac{1}{(\tau s + 1)} T_o(s). \quad (4)$$

Где Q_i – количество тепла переданное на радиаторы;
 K - коэффициент эффективности обогрева.

Создадим модель процесса теплообмена в объекте регулирования (рисунок 6). Как видно из анализа системы, влияние поступающего тепла на температуру T_i может быть представлено с помощью системы первого порядка с коэффициентом усиления K и постоянной времени τ . Воздействие температуры внешней среды может быть представлено как система первого порядка с единичным коэффициентом усиления и постоянной времени τ .

Вода, подаваемая в контур с радиаторами, имеет температуру T_u . Эта температура достигается в результате передачи тепла от горячей воды в теплообменнике. Многочисленные теоретические и экспериментальные исследования показали, что в первом приближении передаточная функция теплообменного аппарата описывается типовым аperiodическим звеном первого порядка

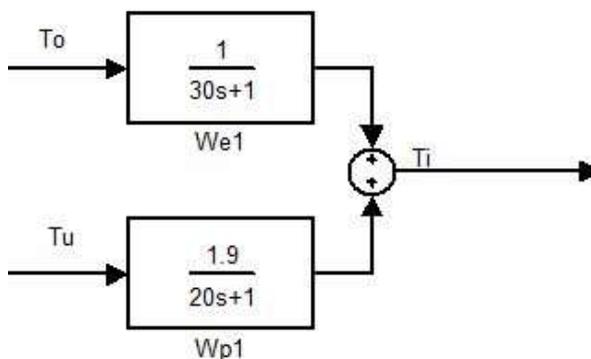


Рисунок 6 – Модель объекта управления.

В качестве регулятора используется заслонку, 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. Работу привода, открывающего и закрывающего заслонку, можно представить в виде интегрирующего звена.

Таким образом, получим модель САУ температурой отопительной системы вида, как на рисунке 7.

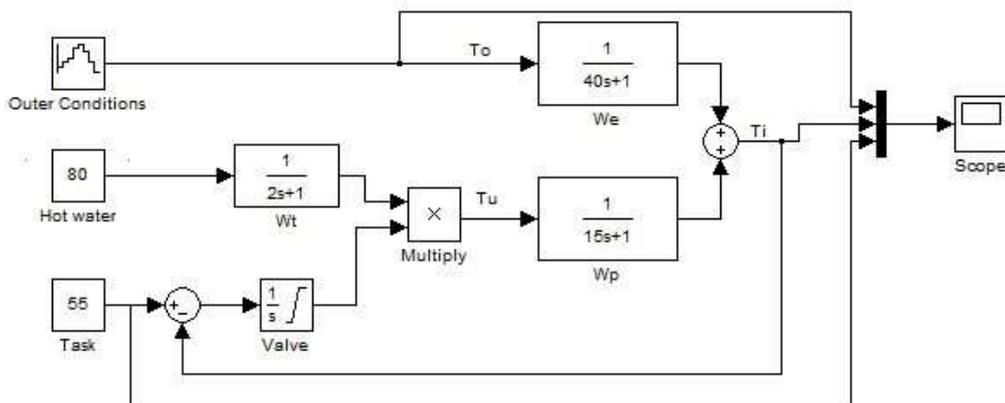


Рисунок 7 - модель САУ температурой отопительной системы.

В результате моделирования был получен график изменения температуры в системе отопления (рисунок 8).

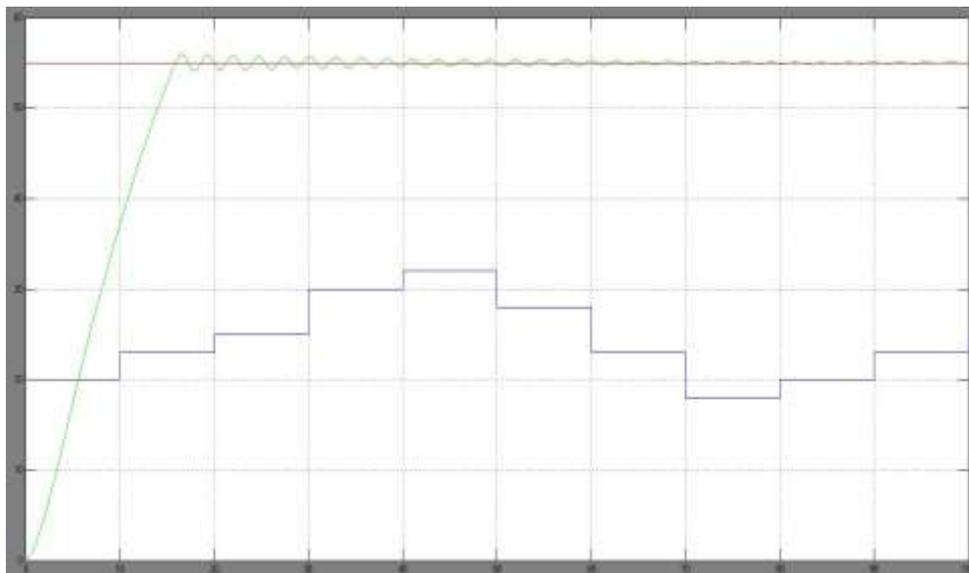


Рисунок 8 – Переходный процесс в САУ температурой отопительной системы

Кривая переходного процесса на рисунке 8 имеет небольшую 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.

Исходя из структурной схемы всего объекта, можно получить следующую структурную схему текущей 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 $W_{ex}(p)$.

Исходя из вышеперечисленного, разработаем модель САУ и промоделируем происходящие в ней процессы (рисунки 10 и 11).

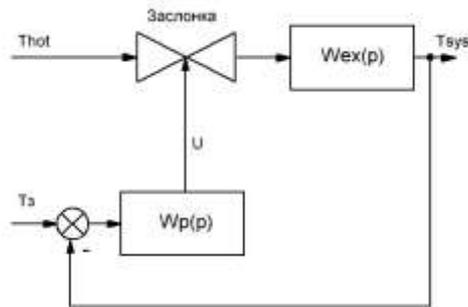


Рисунок 9 – структурная схема САУ температурой нагревательного теплообменника.

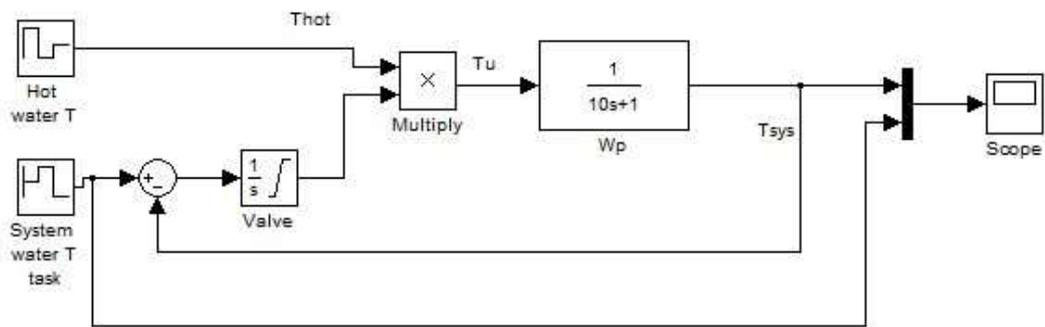


Рисунок 10 - модель САУ температурой нагревательного теплообменника.



Рисунок 11 – Переходный процесс в САУ температурой нагревательного теплообменника

Для моделирования реальных условий, и для оценивания реакции системы на задаваемые оператором данные, эти данные (температура горячей воды от энергоцентра Hot water T и заданное значение температуры на выходе теплообменника System water T task, которое необходимо поддерживать) представлены повторяющейся последовательность предварительно заданных значений. Это 95, 90, 92⁰С для воды на входе и 80, 85, 75⁰С для воды на выходе системы, т.е. для регулируемого параметра.

Как видно из рисунка 11, значение довольно точно следует за требуемым уровнем, процесс плавный, довольно быстрый, с небольшой колебательностью. САУ справляется с поставленной перед ней задачей хорошо.

Выводы.

В ходе работы была разработана структурная схема объекта и модели, довольно точно описывающие комплекс теплоснабжения спортивного комплекса.

Управление частотой вращения ротора насоса при помощи ПИД-закона дало хорошие результаты при моделировании и доказало свою эффективность по сравнению с другими законами.

Использование в качестве регулятора управляемой заслонки для контуров САУ температурой отопительной системы и нагревательного теплообменника позволило добиться хороших показателей функционирования системы, простоты реализации и дешевизны эксплуатации.

Список использованной литературы

1. Автоматизация систем отопления и ГВС [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://tss-k.ru/node/9>. – Дата доступа: 15.03.2012.
2. Автоматизация систем отопления [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://erectiondesign.com/automatization.html>. – Дата доступа: 15.03.2012.

Надійшла до редакції:
[дата].

Рецензент:
[должность, фамилия]

A. Abakumov. Automatic control system of heat supply in sport complex. The analysis of control object was made, designed pressure stabilizing circuit in the heating system, temperature stabilizing circuit in the heating system, temperature stabilizing circuit in the heat exchanger. The influence of external factors were taken into account. Mathematical modeling, which consists of finding the transfer functions showed that the automatic control system copes with the tasks.

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

А.Ю. Абакумов. Система автоматичного управління теплозабезпеченням спортивного комплексу. Виконано аналіз об'єкта управління, розроблені контури стабілізації тиску в системі опалювання; температури в системі опалювання; температури в нагрівальному теплообміннику. Враховано вплив зовнішніх чинників. Математичне моделювання, що полягає у пошуці передатної функції, виявило, що системи автоматичного управління справляються з поставленими задачами.

Ключові слова: теплозабезпечення, об'єкт управління, система автоматичного управління, математичне моделювання, передатна функція, стабілізація.