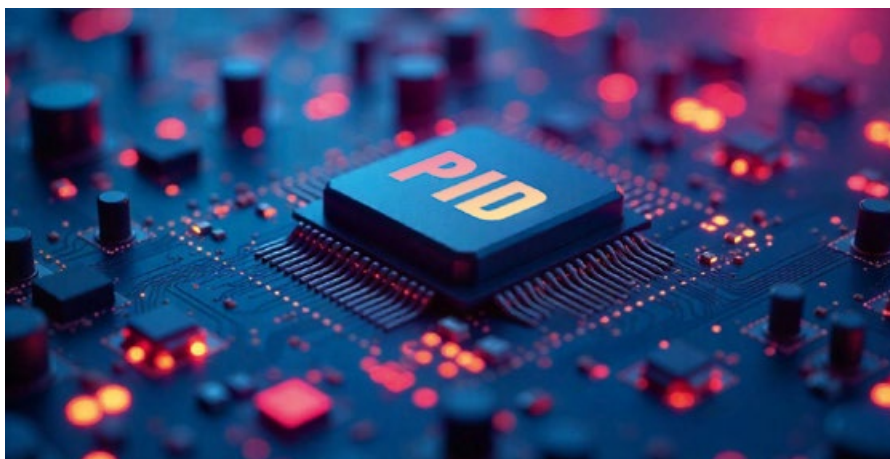




Повышение эффективности автоматизированной системы управления ИТП в городе Москве

Рецензия эксперта на статью получена 17.11.2024 [The expert review of the article was received on November 17, 2024]

Согласно указу Президента России №309 [1], одной из национальных целей развития Российской Федерации является «экологическое благополучие», в рамках чего планируется снижение выбросов загрязняющих веществ, оказывающих наибольшее негативное воздействие на окружающую среду и здоровье человека.

В этой статье уделено внимание повышению эффективности работы индивидуального теплового пункта, а именно повышению точности настройки регулятора расхода системы отопления с учётом тепловых характеристик здания, что, в свою очередь, приводит к снижению перерасхода теплоносителя и, как следствие, к сокращению количества сжигаемого топлива и уменьшению числа вредных выбросов с котельных и тепловых станций.

Процесс автоматизации теплового пункта неотъемлемо связан с метрологическим оборудованием в виде датчиков, преобразователей. Выбор контрольно-измерительных приборов связан с параметрами измеряемой среды. Поэтому выбираются приборы, которые удовлетворяют всем необходимым требованиям по диапазону измерения, допустимым погреш-

ностям, условиям работы в зависимости от их установки и прочее. Информация, получаемая от датчиков, используется для регулирования параметров. В частности, в этой статье рассматривается процесс регулирования расхода сетевой воды на отопление, необходимого для снижения перерасхода теплоносителя, исключения «перетоков» в зданиях и обеспечения комфортной жизнедеятельности граждан.

Обзор типовых настроек ПИД-регуляторов в ИТП

В настоящее время наиболее распространённым типом регулирования, применяемого для управления непрерывными технологическими процессами, является пропорционально-интегрально-дифференциальное (ПИД). Основная сложность использования ПИД-регулятора заключается в расчёте наиболее оптимальных параметров настройки коэффициентов.

Величина пропорциональной (П) составляющей позволяет изменять сигнал на выходе контроллера пропорционально ошибке. Основным недостатком использования лишь одного пропорционального управления является отклонение от установленного значения.

УДК 621.1.016. Научная специальность: 2.1.3.

Повышение эффективности автоматизированной системы управления ИТП в городе Москве

С. В. Гужов, к.т.н., доцент, Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт» (НИУ «МЭИ»); **А. А. Арбатский**, к.т.н., генеральный директор ООО «НИИ «Энергоэффективных технологий микроклимата»; **Д. Н. Темрина**, студент, НИУ «МЭИ»

Современные автоматизированные системы индивидуальных тепловых пунктов имеют системы управления, использующие П-, PI- или ПИД-регулятор. Ввод настроек в регулятор производится, как правило, при первом запуске на объекте и не меняется со временем. Часто коэффициенты регулятора принимаются не на основании расчётов или экспериментального определения характеристик, но из списка стандартных настроек. В таком случае ИТП функционирует не по идеально подобранному закону, и потому есть потенциал повышения энергетической эффективности. В статье приведён анализ способов настройки ПИД-регуляторов. Для примера здания высшей школы показаны результаты расчёта настроек регулятора.

Ключевые слова: общеобменная вентиляция, приточно-вытяжная установка, индивидуальный тепловой пункт, ПИД-регулирование, метод Циглера — Никольса, метод Чина — Хронеса — Ресвика, параметры ПИД-регулятора.

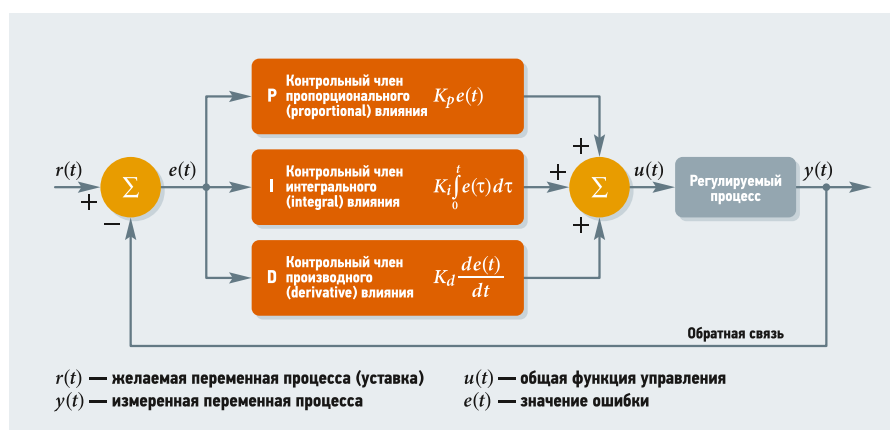
UDC 621.1.016. The number of scientific specialty: 2.1.3.

Improving the efficiency of the automated control system of the individual heating point in Moscow

S. V. Guzhov, PhD, Associate Professor, the Department of Heat and Mass Transfer Processes and Installations (HMTPI), National Research University "Moscow Power Engineering Institute" (NRU "MPEI"); **A. A. Arbatsky**, PhD, General Director of the "Research Institute of Energy-Efficient Technologies of Microclimate", LLC; **D. N. Temrina**, student, NRU "MPEI"

Modern automated systems of individual heating points have control systems that use a P-, PI- or PID-regulator. The settings in the regulator are usually entered during the first start-up at the facility and do not change over time. Often the regulator coefficients are accepted not on the basis of calculations or experimental determination of characteristics, but from a list of standard settings. In this case, the individual heating point does not function according to an ideally selected law, there is potential for increasing energy efficiency. The article provides an analysis of the methods for setting up PID regulators. For the example of a higher school building, the results of calculating the regulator settings are shown.

Keywords: general ventilation, supply and exhaust unit, individual heating point, PID regulation, Ziegler-Nichols method, Chien-Hrones-Reswick method, PID controller parameters.



❖ Принципиальная блок-схема ПИД-регулятора в управляющем контуре с обратной связью. ПИД-регулятор даёт возможность использования трёх контрольных членов пропорционального, интегрального и производного влияния на выход регулятора для применения точного и оптимального управления машинами и процессами, требующими автоматической регулировки

Во избежание ошибки добавляется управление контроллером с помощью интегральной составляющей, реализующей изменение выходного сигнала с течением времени для снижения имеющейся ошибки. Причём более длинное время интегрирования приводит к более медленному интегральному реагированию — и наоборот.

Для повышения качества работы системы в результате уменьшения времени реагирования интегральной (И) составляющей на возмущения используют дифференциальное управление, обеспечивающее сигнал, основанный на скорости изменения ошибки. Такой режим производит большее управляющее действие в случае изменения ошибки с большей скоростью, но при этом повышается чувствительность системы. При установлении слишком высокого значения постоянной времени в системе могут возникнуть колебания и неустойчивость.

Следовательно, настройка параметров ПИД-регулятора включает в себя определение коэффициента пропорциональности K_p , постоянной времени интегрирования T_i , а также дифференциального времени T_d .

Различают следующие способы настройки ПИД-регуляторов [2]:

1. Ручная настройка заключается в последовательном подборе параметров с поочерёдным занулением каждой из составляющих, отсюда, исходя из графиков переходного процесса, получают требуемые значения. Данный метод является эвристическим и требует больших знаний в области практического применения регуляторов для реальных автоматических систем регулирования. Подобный подход подразумевает настройку на действующем технологическом объекте, что может негативно сказываться на качестве его эксплуатации и провоцировать ситуации нарушения безопасности.

2. Метод Циглера — Никольса основан на вычислении коэффициентов регулятора при помощи эмпирических формул, которые требуют построения переходной характеристики объекта и определения графическим способом из них необходимых параметров. В качестве критерия настройки используется декремент затухания. На данный момент разработано множество формул, применяемых в зависимости от конкретной системы автоматического управления, но в этом и заключается проблема использования метода, поскольку он обладает низкой универсальностью. Рассматриваемый метод учитывает только два параметра для описания объекта, поэтому полученные результаты настройки могут сильно отличаться

Для повышения качества работы системы в результате уменьшения времени реагирования интегральной составляющей на возмущения используют дифференциальное управление, обеспечивающее сигнал, основанный на скорости изменения ошибки. Такой режим производит большее управляющее действие

от оптимальных, а также в него не закладываются требования к запасу устойчивости, что может неблагоприятно сказываться на безопасности работы системы. Существенным преимуществом является простота применения и доступность даже для персонала средней квалификации.

3. Метод Чина — Хронеса — Ресвика схож с предыдущим способом настройки, заключающемся в определении коэффициентов по эмпирическим зависимостям, но в этом способе критерием качества настройки служит максимальная скорость нарастания при отсутствии перерегулирования, что позволяет достичь большего запаса устойчивости.

4. Численные методы оптимизации [3] предполагают выбор критерия минимизации с последующим автоматическим вычислением коэффициентов. Обладая оптимальными значениями параметров, не требующих дальнейшей подстройки, подобный способ осложняется низкой надёжностью, длительностью процесса поиска минимума, в связи с чем имеет ограниченное применение.

Для индивидуального теплового пункта, имеющего небольшую скорость изменения рабочих параметров, для использования выбираем ПИД-регулятор с зануленной Д-составляющей.



❖ Главное учебное здание НИУ «МЭИ» (корпуса А, Б, В, Г, Д) в городе Москве

Фото: А.И. Нагаев, БРЭ, old.bigness.ru

Описание объекта

Объектом исследования стал индивидуальный тепловой пункт, обеспечивающий передачу тепловой энергии из центральной сети к корпусу Е НИУ «МЭИ». Объект расположен в климатических условиях города Москвы, что подразумевает следующие параметры согласно [4]: абсолютная минимальная температура за весь период наблюдения $t_{\min} = -43^{\circ}\text{C}$, температура наиболее холодной пятилетки $t_{\text{нх}}^{\text{Б}} = -26^{\circ}\text{C}$, средняя температура за отопительный период $t_{\text{н}}^{\text{ср.о}} = -2,2^{\circ}\text{C}$, средняя относительная влажность воздуха наиболее холодного месяца $\varphi_{\text{нх}} = 84\%$, продолжительность отопительного периода — 205 суток, преобладающим направлением ветра за декабрь–февраль является западное. Здание введено в эксплуатацию в 1930-х годах, стены и перекрытия выполнены из кирпича.

Основные характеристики здания представлены в табл. 1.

В качестве исходных данных был взят температурный график работы тепловой сети от ТЭЦ-11. В индивидуальном тепловом пункте водоподогреватели горячего водоснабжения подключены по двухступенчатой последовательной схеме, система отопления присоединена независимо.

Расчёт настроек регулятора

Для наиболее часто встречающихся на практике переходных характеристик объектов по регулирующим каналам, особенностью которых является отсутствие в их составе колебательных составляющих, исследуемый объект управления может быть представлен в виде последовательного соединения апериодического звена и звена запаздывания.

Расчёт параметров ПИД-регулятора будем вести по вспомогательной функции при ограничении на частотный показатель колебательности при $M = 1,55$.

• • Характеристики здания

Параметр	Величина
Этажность здания	9
Длина / ширина здания, м	110 / 36
Длина / высота стен на одном этаже, м	984 / 4,5
Температура внутреннего / наружного воздуха, °C	22 / -20
Дата постройки	1929
Количество помещений с раковинами на этаже	2
Год установки дверей	2005
Число окон в здании	960
Длина / высота типового окна, м	1,8 / 3,0
Дата установки окон	1929
Число дверей	480



Фото: Владимир Карасев, 2ГИС, 2gis.ru

• • «Лабораторный» корпус Е НИУ «МЭИ» в городе Москве

Выбираем показатель, исходя из обеспечения допустимого запаса устойчивости $1,5 \leq M \leq 1,7$ [5]. В качестве критерия оптимальности принимаем линейный интегральный показатель.

По графику вспомогательной функции определяем резонансную частоту, достигаемую при первом положительном максимуме функции, оптимальное значение интегральной составляющей, в результате чего определяем оптимальные настройки ПИД-регулятора.

Построение переходного процесса в объекте управления осуществляется с помощью среды моделирования **Simulink**. На вход в систему подаётся воздействие единичной величины, задаваемое в блоке **step**. На вход в ПИД-регулятор по каналу обратной связи через сумматор **sum** передаётся сигнал рассогласования. Настройки блока **PID controller** задаются исходя из их расчёта по вспомогательной функции. Передаточная функция инерционного звена первого порядка отображается в **Transfer fcn**. Для этого в его настройки вносятся значения коэффициента передачи и постоянной времени звена. Запазды-

вание системы задаётся в **Transport delay**. На выходе системы в блоке **scope** получаем искомый переходный процесс.

Согласно полученному переходному процессу, система имеет следующие показатели качества при возмущении на входе регулятора: динамическое отклонение $y_{\text{дин}} = 0,35$; максимальное отклонение $y_{\text{max}} = 1,35$; время регулирования $t_{\text{рег}} = 5000$ с; степень затухания $\psi = 0,929$.

Заключение

Для повышения эффективности автоматизированной системы управления тепловым пунктом, расположенного в корпусе Е Национального исследовательского университета «МЭИ» в городе Москве (улица Красноказарменная, д. 13, стр. 1), были проанализированы основные характеристики объекта, влияющие на тепловую инерционность здания и его основные тепловые потери. По составленному техническому плану были определены основные характеристики здания, в котором расположен тепловой пункт, основные параметры настройки ПИД-регулятора. Расчёт оптимальных настроек проводился на регуляторе расхода, установленном перед системой отопления, по основным законам теории автоматического управления с исходными данными, полученными с прибора учёта за один отопительный сезон. •

табл. 1

Параметр	Величина
Длина типовой двери, м	0,8
Высота типовой входной двери, м	2,2
Высота подвала, м	4,5
Число шкафов	960
Число диванов	6
Число столов	2592
Число навесных шкафчиков	598
Максимальное число посетителей (мужчин / женщин)	756 / 504
Среднее время пребывания посетителей в сутки	0,5
Число детей	0

1. О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года: Указ Президента РФ от 07.05.2024 №309.
2. Назараматов Ш.М.У., Абдулрахим К.К. Исследование оптимальных методов настройки параметров для ПИД-регуляторов // Общество, 2023. №2. С. 24–29.
3. Денисенко В.В. ПИД-регуляторы: вопросы реализации. Часть 1 // Современные технологии автоматизации, 2008. №1. С. 86–99.
4. СП 131.13330.2020. Строительная климатология [СНиП 23-01-99*] (с Изм. №1, 2) / Дата введ.: 25.06.2021.
5. Макаров И.М., Менский Б.М. Линейные автоматические системы. Изд. 2-е, перераб. и доп. — М.: Машиностроение, 1982. 584 с.

References — see page 80.

Improving the efficiency of the automated control system of the individual heating point in Moscow. Pp. 36–38.

Sergey V. Guzhov, PhD, Associate Professor, the Department of Heat and Mass Transfer Processes and Installations (HMTPI), National Research University "Moscow Power Engineering Institute" (NRU "MPEI"); **Andrey A. Arbatsky**, PhD, General Director of the "Research Institute of Energy-Efficient Technologies of Microclimate", LLC; **Darya N. Temrina**, student, NRU "MPEI"

1. *O natsional'nykh tsel'jakh razvitiia Rossijskoj Federatsii na period do 2030 goda i na perspektivu do 2036 goda* [On the national development goals of the Russian Federation for the period up to 2030 and for the future up to 2036]. *Ukaz Prezidenta RF ot 07.05.2024 №309* [Decree of the President of the Russian Federation No. 309 of May 7, 2024]. [In Russian]
2. Sh.M.U. Nazarmamatov, K.K. Abdulrahim. *Issledovanie optimal'nykh metodov nastroyki parametrov dlja PID-regulyatorov* [Study of optimal methods for adjusting parameters for PID controllers]. *Obshchestvo* ["The Society" Magazine]. 2023. No. 2. Pp. 24–29. [In Russian]
3. V.V. Denisenko. *PID-regulyatory: voprosy realizatsii. Chast' 1* [PID controllers: implementation issues. Part 1]. *Sovremennye tekhnologii avtomatizatsii* ["Modern automation technologies" Magazine]. 2008. No. 1. Pp. 86–99. [In Russian]
4. *SP 131.13330.2020* [The Code of Practice on Design and Construction (The Code of Practice of Russia) No. 131.13330.2020]. *Stroitel'naja klimatologija [SNiP 23-01-99*] (s Izm. №1, 2)* [Construction climatology {Building Rules & Regulations (National Codes and Standards of Russia) No. 23-01-99*} (with Amendments No. 1, 2)]. Date of impl.: June 25, 2021. [In Russian]
5. I.M. Makarov, B.M. Mensky. *Linejnye avtomaticheskie sistemy* [Linear automatic systems]. 2nd edition, rev. and exp. Moscow. *Mashinostroenie* ["Engineering Industry" Publishers]. 1982. 584 p. [In Russian]