

УДК 621.226

А. С. Асташов, Е. Б. Королева

Применение регулирующего клапана в индивидуальном тепловом пункте

Асташов Артем Сергеевич — магистр 2-го курса кафедры «Теоретические основы электротехники и энергетики»

Королева Елена Борисовна — кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Теоретические основы электротехники и энергетики»

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. В статье рассматривается принцип функционирования регулирующего клапана как основного исполнительного механизма автоматизированного индивидуального теплового пункта (АИТП). Особое внимание уделяется преобразованию электрического управляющего сигнала в механическое перемещение затвора, дросселированию потока теплоносителя и реализации ПИД-закона регулирования для компенсации изменений в системе теплоснабжения.

Ключевые слова: регулирующий клапан, электрический привод, автоматизированный индивидуальный тепловой пункт

Темпы ввода в эксплуатацию многоквартирных домов (МКД) в 2025 году были на 19,2 % выше по сравнению с 2024-м [1]. Для обеспечения комфортного проживания в МКД применяют систему управления и менеджмента здания, основной частью которой служит автоматизированный тепловой пункт [2].

Автоматизированный индивидуальный тепловой пункт (АИТП) позволяет обеспечить дистанционное управление внутренними коммуникациями здания благодаря наличию комплекса систем автоматического регулирования температуры и давления теплоносителя, а также систем, обеспечивающих автономное управление насосным оборудованием [3].

Рассмотрим работу АИТП, установленного в МКД (рис. 1). На основании показаний прибора учета тепловой энергии до и после установки АИТП построена диаграмма зависимости суточного потребления теплоты на отопление в зависимости от температуры наружного воздуха. Установлено, что при средней температуре воздуха за отопительный период $-5,4^{\circ}\text{C}$ потребление тепловой энергии при использовании АИТП снизилось в 1,5 раза [4].

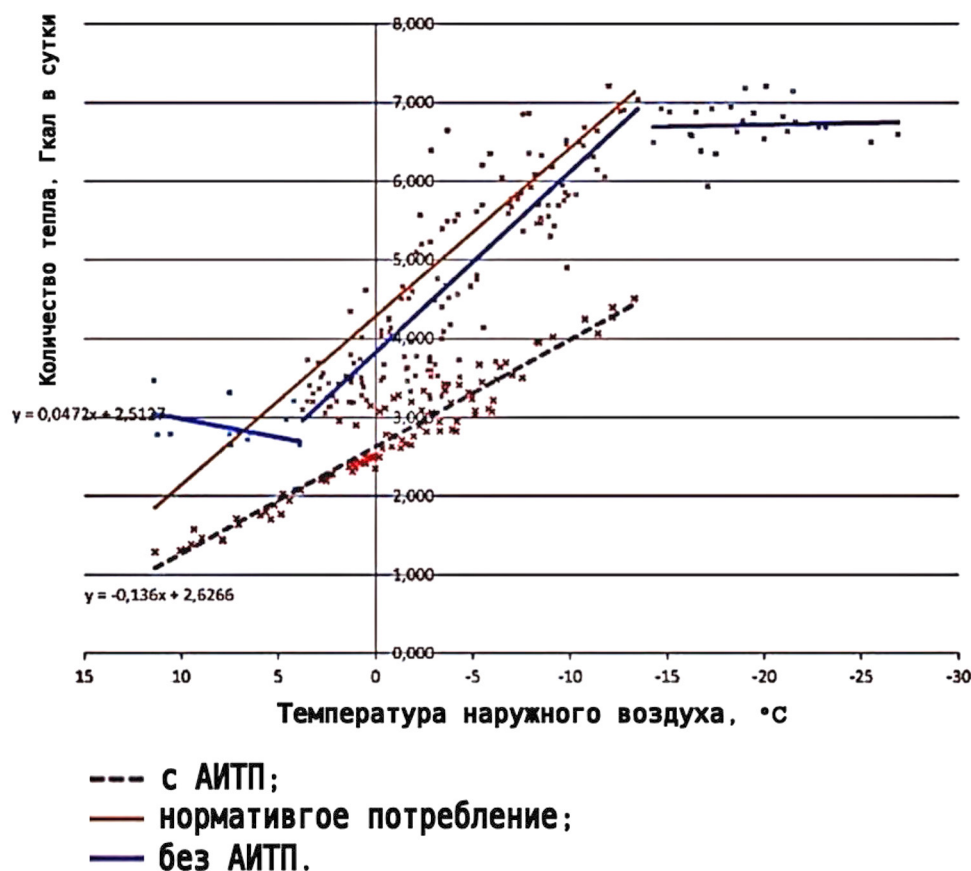


Рис. 1. Суточное потребление тепловой энергии до и после ввода в эксплуатацию АИТП с учетом линейной аппроксимации величин [4]

Основными элементами АИТП являются датчики температуры наружного воздуха и регулирующий клапан [5–7], который вместе с программируемым контроллером обеспечивает количественное регулирование теплоносителя в автоматическом режиме.

Критерии подбора регулирующего клапана — расчетный расход теплоносителя, перепад давления на клапане, пропускная способность, тип применяемого привода.

Расчетный расход теплоносителя $G_{\text{расч}}$ ($\text{м}^3/\text{ч}$) определяется по формуле:

$$G_{\text{расч}} = \frac{3600 \cdot Q}{C \cdot (T_{\text{вх}} - T_{\text{вых}})},$$

где C — удельная теплоемкость теплоносителя, $\text{кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$;

Q — мощность тепловой нагрузки, кВт ;

$T_{\text{вх}} - T_{\text{вых}}$ — разность между температурой подающего и обратного теплоносителя (температурный график), $^\circ\text{C}$.

Пропускная способность KV ($\text{м}^3/\text{ч}$):

$$KV = \frac{G_{\text{расч}}}{\sqrt{\Delta p}},$$

где $\sqrt{\Delta p}$ — квадратный корень из перепада давления на клапане, бар.

Устройство регулирующего клапана приведено на рис. 2.

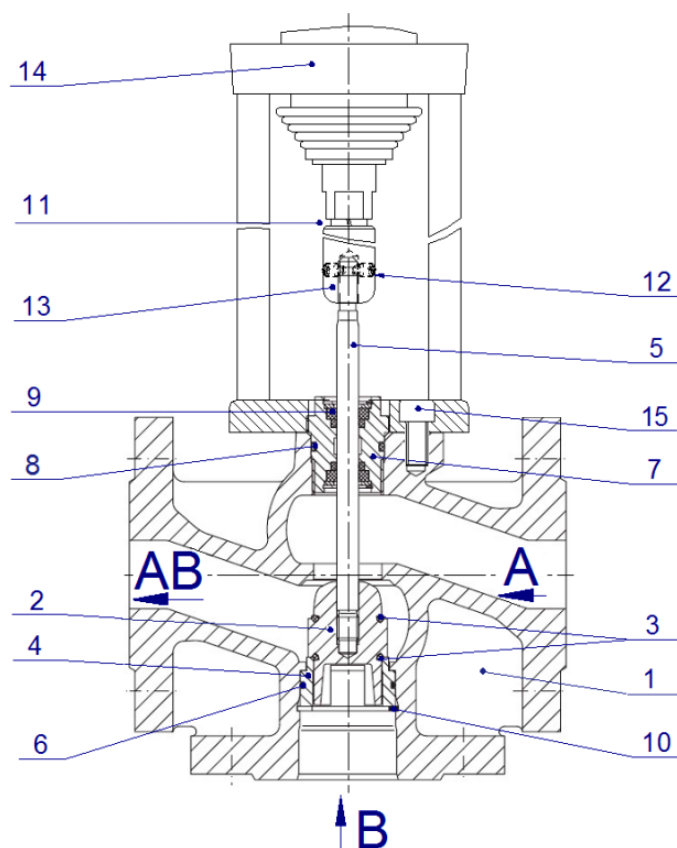


Рис. 2. Устройство регулирующего клапана: 1 — корпус клапана; 2 — плунжер; 3 — уплотнительные кольца плунжера; 4 — седло; 5 — шток; 6 — уплотнительное кольцо седла; 7 — втулка; 8 — уплотнение втулки; 9 — уплотнительный узел штока; 10 — кольцо стопорное; 11 — контргайка; 12 — винт стопорный; 13 — переходник; 14 — электропривод; 15 — винт крепежный

Для поддержания постоянного перепада давлений на седле регулирующего клапана разность давлений передается на плунжерный элемент и компенсируется силой, развиваемой электрическим приводом. Шток клапана реагирует на изменения в системе и регулирует перепад давления через пропускное отверстие клапана для поддержания заданного расхода. Помимо корпуса, клапан комплектуется электрическим приводом, который необходим для управления клапаном через систему

диспетчеризации. Привод с обратной связью подключается к контроллеру, который, в свою очередь, подключен к общей системе управления объектом.

Контроллер, используя пропорционально-интегрально-дифференциальный закон, определяет, насколько и как быстро необходимо переместить шток регулирующего клапана, чтобы скомпенсировать отклонение текущей температуры от заданной установки:

$$u(t) = K_p \cdot e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \cdot \frac{de(t)}{dt},$$

где $u(t)$ — выходной сигнал регулятора (например, напряжение 0–10 В, управляющее положением клапана);

$e(\tau)$ — ошибка (невязка) между уставкой и текущим значением параметра ($T_{\text{уставка}} - T_{\text{текущая}}$);

K_p, K_i, K_d — коэффициенты пропорциональной, интегральной и дифференциальной составляющих соответственно.

Пропорциональная составляющая K_p — реакция, прямо пропорциональная текущей ошибке. Чем больше отклонение температуры, тем сильнее перемещается шток клапана. Эта составляющая обеспечивает быстроедействие, но при использовании только ее одной регулирование всегда происходит с остаточной статической ошибкой (температура никогда не достигнет точно уставки).

Интегральная составляющая K_i учитывает историю ошибки — накопленную сумму отклонений во времени. Если ошибка существует долго, интегральная часть нарастает и заставляет клапан продолжать движение до полного устранения статической ошибки. K_i отвечает за поддержание требуемого значения температуры T в установившемся режиме.

Дифференциальная составляющая K_d реагирует на скорость изменения ошибки. Если температура резко понижается (например, из-за открытия дверей в здании), дифференциальная часть создает упреждающее воздействие, заставляя клапан быстро открыться, чтобы скомпенсировать возмущение еще до того, как ошибка станет большой.

Чаще всего в современных системах АИТП регулирующие клапаны комплектуются трехпозиционными приводами или приводами с аналоговым управляющим сигналом 0–10 В / 4–20 мА.

Связь между контроллером и приводом клапана осуществляется посредством сигналов, которые классифицируются на аналоговые и дискретные. Аналоговое управление — распространенный метод плавного регулирования в АИТП. Выделяют два основных типа сигналов:

1. Токовая петля 4–20 мА: сила тока изменяется в диапазоне от 4 до 20 мА и пропорциональна степени открытия клапана. Например, 4 мА — клапан закрыт, 12 мА — открыт наполовину, 20 мА — открыт полностью. Преимущество этого метода — высокая помехоустойчивость, что позволяет передавать сигнал на большие расстояния без искажений.

2. Сигнал напряжения 0–10 В (или 2–10 В): уровень напряжения также пропорционален положению клапана. Этот стандарт широко распространен для управления модулирующими приводами, которые обеспечивают максимальную точность регулирования.

В современных умных приводах распространены цифровые промышленные протоколы, которые обеспечивают не только точное позиционирование, но и расширенную диагностику. Наиболее распространены следующие протоколы: Modbus RTU, BACnet MS/TP, Profibus, Ethernet/IP. Дистанционное управление регулирующими клапанами в АИТП является базовым элементом современных внутренних систем зданий.

Сравнивая разные варианты узлов регулирования, можно утверждать, что наличие регулирующего клапана позволяет обеспечить постоянный расход теплоносителя через контур АИТП (см. таблицу).

ТАБЛИЦА. Сравнение узлов регулирования

Наименование	Преимущества	Недостатки
Узел с двухходовым клапаном	Самый доступный и распространенный вариант	Перерасход теплоносителя через контур АИТП
Узел с автоматическим регулятором расхода	Сбалансированная схема по параметрам «стоимость / затраты на эксплуатацию»	Дороже первого варианта
Узел с двухходовым клапаном и регулятором перепада давления	Обеспечивает поддержание расхода вне зависимости от изменений характеристик системы отопления	Наиболее дорогостоящий вариант, так как в стоимость входит регулятор перепада давления

Применение регулирующих клапанов в составе АИТП позволяет обеспечить дистанционное управление основными параметрами внутренних систем зданий. Качество регулирования во время переходных процессов в системе теплоснабжения напрямую связано с выбором пропускной характеристики клапана, точностью позиционирования привода и авторитетом клапана на регулируемом участке сети.

Список источников

1. Федеральная служба государственной статистики (Росстат). Строительство. Жилищное строительство: статистическая информация, методологические пояснения, таблицы Excel // Федеральная служба государственной статистики: официальный сайт. М., 2026. URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/14458> (дата обращения: 23.04.2026).
2. Галеев Р. Р. Варианты модернизации индивидуальных тепловых пунктов // Тинчуринские чтения — 2021 «Энергетика и цифровая трансформация»: материалы международной молодежной научной конференции: в 3 т. (Казань, 28–30 апреля 2021 года) / под общ. ред. Э. Ю. Абдуллазянова. Казань: Астор и Я, 2021. Т. 2. С. 96–100.
3. Суханова К. В. Анализ эффективности применения автоматизированных индивидуальных тепловых пунктов в жилых зданиях // Новые информационные технологии как основа эффективного инновационного развития: сборник статей международной научно-практической конференции (Волгоград, 17 января 2021 года). Уфа: ООО «Омега Сайнс», 2021. Т. 1. С. 93–95.
4. Замалеев М. М., Носков С. Л. Энергетическая эффективность установки автоматизированных тепловых пунктов // Состояние и перспективы развития электро- и теплотехнологии (XXI Бенардосовские чтения): материалы международной научно-технической конференции (Иваново, 2–4 июня 2021 года). Иваново: Ивановский государственный энергетический университет им. В. И. Ленина, 2021. Т. 2. С. 86–89.
5. Асташов А. С., Королева Е. Б. Обеспечение качественного регулирования калориферов с использованием автоматического балансировочного клапана с приводом в составе узла обвязки // Проблемы безопасности и эффективности технических систем: сборник докладов конференции с международным участием, посвященной 205-й годовщине начала научно-педагогической деятельности Бенуа Поля Эмиля Клапейрона в Институте Корпуса инженеров путей сообщения (Санкт-Петербург, 13 мая 2025 года). СПб.: ПГУПС, 2025. С. 101–103.
6. Фролов А. Ф., Спиридонова Е. В., Липатов А. В. Использование балансировочных клапанов в системах отопления // Исследования в строительстве, теплогазоснабжении и энергообеспечении: материалы международной научно-практической конференции (Саратов, 17–18 ноября 2016 года) / под ред. Ф. К. Абдразакова. Саратов: Саратовский государственный аграрный университет им. Н. И. Вавилова, 2016. С. 317–320.
7. Кудрин М. Ю., Старенький М. А. Подбор запорно-регулирующей арматуры в условиях импортозамещения // Проблемы безопасности и эффективности технических систем: сборник докладов конференции с международным участием (Санкт-Петербург, 15 мая 2024 года). СПб.: ПГУПС, 2024. С. 127–131.

A. S. Astashov, E. B. Koroleva

Application of a Control Valve in an Individual Heating Unit

Astashov Artem Sergeevich — 2nd-Year Master's Degree Student at the Department "Theoretical Foundations of Electrical Engineering and Power Engineering"

Koroleva Elena Borisovna — PhD in Engineering, Associate Professor, Associate Professor of the Department "Theoretical Foundations of Electrical Engineering and Power Engineering"

Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, Saint Petersburg, Russia

Abstract. The article discusses the principle of operation of the control valve as the main actuator of an automated individual heating point (AIHP). Special attention is paid to converting the electrical control signal into mechanical movement of the gate, throttling the coolant flow, and implementing the PID control law to compensate for changes in the heat supply system.

Keywords: control valve, electric actuator, automated individual heating point

УДК 512.563

Р. С. Веселов, Р. Г. Гильванов

Применение полиномов Жегалкина для оптимизации логических правил в экспертных системах

Веселов Роман Сергеевич — студент 2-го курса кафедры «Информационные и вычислительные системы»

Гильванов Ринат Гафганович — кандидат военных наук, доцент кафедры «Информационные и вычислительные системы»

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. Представлено исследование применения полинома Жегалкина для оптимизации логических правил в экспертных системах. Приведены методы построения и преимущества полинома Жегалкина. Методы исследования: анализ алгоритмов преобразования логических функций, сравнение методов построения полинома Жегалкина и формализация. Результаты выявляют потенциал интегрирования полинома Жегалкина в вычислительную технику.

Ключевые слова: полином Жегалкина, экспертные системы, искусственный интеллект, оптимизация логических правил, быстрое преобразование Фурье