

Повышение эффективности автоматизированной системы управления вентиляцией здания общежития 6000 м² с ИТП

Рецензия эксперта на статью получена 20.10.2025 [The expert review of the article was received on October 20, 2025]

В современных условиях развития технологий и требований к качеству систем обеспечения микроклимата вопросы автоматизации тепловых процессов приобретают особую актуальность. Автоматические системы регулирования (АСР) представляют собой неотъемлемую часть процессов подготовки приточного воздуха, обеспечивая требуемые параметры работы оборудования с необходимой точностью и надёжностью для создания полноценного комфорта в помещениях.

Система регулирования температуры воздуха на выходе из калорифера представляет собой один из базовых элементов систем вентиляции. Эффективность работы таких систем регулирования напрямую влияет на комфорт и безопасность людей в помещениях, а также на сохранность оборудования. Актуальность данного направления обусловлена необходимостью повышения комфортности микроклимата, создаваемого системами вентиляции, и повышением эффективности АСР [1–4]. Правильно спроектированная и настроенная система автоматического регулирования температуры воздуха приточно-вытяжной вентиляционной установки (ПВУ) позволяет достичь оптимального баланса между энергопотреблением и качеством поддержания заданных параметров. В комплекте с первичными приборами измерения температуры используют микропроцессорные преобразователи, обеспечивающие контроль и возможность регулирования измеряемых показателей.

В работе рассматривается система централизованного закрытого теплоснабжения. Подключение объекта выполнено по схеме с индивидуальным тепловым пунктом (ИТП) с погодозависимой автоматикой. Система вентиляции объекта подключена через ИТП, в её состав входят фильтры, электрический подогреватель воздуха первой ступени, нагнетатель воздуха, калорифер, шумоглушитель. Выходной сигнал всех датчиков — 4–20 мА.

Система регулирования температуры воздуха на выходе из калорифера представляет собой один из базовых элементов систем вентиляции. Эффективность работы таких систем регулирования напрямую влияет на комфорт и безопасность людей в помещениях, а также на сохранность оборудования

Датчик давления на выходе из калорифера предназначен в том числе для определения эффективности работоспособности системы и отсутствия нештатных ситуаций. В качестве первичного измерительного прибора принят микропроцессорный преобразователь давления АИР-10ЛН [5] мембранного типа. Тензорезисторы на мембране меняют электрическое сопротивление, первичный преобразователь выдаёт сигнал, поступающий на измеритель-регулятор ИРТ 5920Н.

УДК 621.1.016. Научная специальность: 2.1.3.

Повышение эффективности автоматизированной системы управления вентиляцией здания общежития 6000 м² с ИТП

Сергей Вадимович Гужов, к.т.н., доцент, Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт» (НИУ «МЭИ»); **Андрей Андреевич Арбатский**, к.т.н., генеральный директор ООО «НИИ «Энергоэффективных технологий микроклимата»»; **Елена Владимировна Крылова**, к.п.н., доцент, заместитель директора по учебной работе Института тепловой и атомной энергетики (ИТАЭ) НИУ «МЭИ»; **Виктория Алексеевна Белякова**, студент, НИУ «МЭИ»; **Анна Олеговна Сорокина**, студент, НИУ «МЭИ»

В статье рассмотрено автоматизированное управление системой приточно-вытяжной вентиляции и предложена её оптимизация для повышения эффективности. Рассмотрена тепловая схема ПВУ, подобраны основные датчики для измерения. Предложена улучшенная схема системы подготовки приточного воздуха с применением секции увлажнения. Показаны дополнительные датчики, необходимые для корректного функционирования установки. Выполнено исследование АСР температуры воздуха на выходе из калорифера, обеспечивающей поддержание заданного температурного режима с требуемой точностью. Предложена к использованию система с цифровым контроллером. Определена резонансная частота, получены значения прямых показателей переходного процесса. Предложенная система обладает достаточной устойчивостью и может быть рекомендована к практическому применению в системах вентиляции и отопления.

Ключевые слова: автоматизированные системы управления (АСУ), автоматические системы регулирования (АСР), приточно-вытяжная вентиляционная установка, индивидуальный тепловой пункт, увлажнитель, датчик, теорема Котельникова — Шеннона, частотный показатель колебательности.

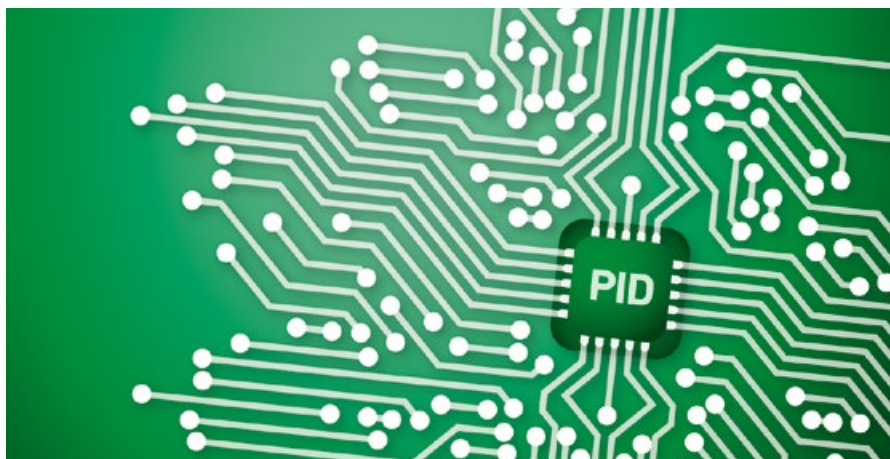
UDC 621.1.016. Scientific specialty number: 2.1.3.

Improving the efficiency of an automated ventilation control system for a 6000 m² dormitory building with an individual heating point

Sergey V. Guzhov, PhD (Engineering), Associate Professor, National Research University "Moscow Power Engineering Institute" (NRU "MPEI"); **Andrey A. Arbatsky**, PhD (Engineering), General Director of the "Research Institute of Energy-Efficient Microclimate Technologies", LLC; **Elena V. Krylova**, PhD (Engineering), Associate Professor, deputy director for Academic Affairs of the Institute Thermal and Nuclear Power Engineering of the NRU "MPEI"; **Victoria A. Belyakova**, student, NRU "MPEI"; **Anna O. Sorokina**, student, NRU "MPEI"

The article discusses the automated control of the supply and exhaust ventilation system and suggests its optimization to increase efficiency. The thermal scheme of the supply and exhaust air system is considered, the main sensors for measurement are selected. An improved scheme of the supply air preparation system using a humidification section is proposed. Additional sensors necessary for the correct operation of the installation are shown. An automatic adjustment system of the air temperature at the outlet of the heater has been studied, which ensures the maintenance of a set temperature regime with the required accuracy. A system with a digital controller is proposed for use. The resonant frequency is determined, and the values of the direct indicators of the transient process are obtained. The proposed system has sufficient stability and can be recommended for practical use in ventilation and heating systems.

Key words: automated control systems (ACS), automatic adjustment systems (AAR), supply and exhaust ventilation unit, individual heating unit, humidifier, sensor, Kotelnikov—Shannon theorem, frequency index of oscillation.



Для измерения и непрерывного преобразования значений объёмного расхода (объёма воздуха в помещении) в унифицированный цифровой сигнал постоянного тока используется вихревой расходомер-счётчик «Элемер-РВ» [6]. Результаты измерения отображает многоканальный видеографический регистратор РМТ 79 [7].

В систему фильтров ставятся два датчика — до фильтров и после. Сравнение показаний с двух приборов позволяет определить степень загрязнения фильтров и выявить целесообразность проведения процедуры очистки. Для проверки качества фильтрации ставятся пылемеры «Аэрокон-П» [8]. При загрязнении фильтров увеличивается сопротивление прохождению воздуха и возрастает перепад давления на самих фильтрах. Также установлен прибор АИР-10ЛН, измеряющий давление рабочей среды и преобразующий информацию в унифицированный сигнал 4–20 мА. Информация передаётся на технический измеритель-регулятор ИРТ 5920Н, где обрабатывается и отображается текущим значением.

Конструктивно вентиляционная установка представляет собой совмещённые

металлические шкафы-отсеки. Для обеспечения возможности обнаружения неплотностей и утечек воздуха значения давления измеряются после каждого перехода в следующий отсек.

После отсека фильтров воздух проходит через электрический воздухонагреватель, который необходим для первичного подогрева воздуха до температуры не ниже +5 °С, что предотвращает обледенение вентилятора. Для задания и отслеживания данных параметров используются цифровой щитовой амперметр, цифровой ваттметр и цифровой щитовой вольтметр, а также термопреобразователь сопротивления ТС-1088, необходимый для мониторинга значения температуры подготавливаемого воздуха. Преобразованный в сигнал параметр отправляется на ИРТ 5920Н. Далее подогретый воздух проходит секцию центробежного вентилятора. Для мониторинга величин перепада давления после вентилятора устанавливается микропроцессорный преобразователь давления АИР-10ЛН и технический измеритель-регулятор ИРТ 5920Н.

После центробежного вентилятора поток воздуха проходит через секцию с калорифером, которая является второй ступе

пью подогрева. Перед калорифером для обеспечения эффективного и безопасного контроля температурного режима установлено средство теплотехнического измерения: термопреобразователь сопротивления ТС-1088 и измеритель-регулятор ИРТ 5920Н.

Последняя секция шумоглушения необходима для устранения турбулентных шумов, созданных генератором, и нейтрализации шума от вибрации элементов системы. Измерение уровня шума с учётом восприятия звука человеком выполняется прибором «Мегеон 92021» [9].

Повышение эффективности вентиляционной установки и её системы управления

Показанная вентиляционная установка обладает недостатком, состоящим в отсутствии возможности регулирования влажности подготавливаемого воздуха. Зимний воздух с низким уровнем абсолютной влажности после подогрева будет иметь низкий уровень относительной влажности, что будет отрицательно сказываться на самочувствии людей, находящихся в помещении. Также пересушенный воздух негативно влияет на мебель, отделку стен, на растения.

Для повышения качества воздуха в вентиляционную систему добавляется секция с увлажнителем. Увлажнитель устанавливается между секциями калорифера и шумоглушителя. Модернизации подверглась и система датчиков. В секции увлажнителя для мониторинга возможных утечек установлен датчик давления.

Датчики влажности необходимо устанавливать до и после увлажнителя — для определения влажности приточного воздуха и для определения эффективности её регулирования. Относительная влажность подготавливаемого воздуха в условиях города Москвы может составлять от 60 до 100 % [10]. В качестве первичного измерительного прибора устанавливается РОСА-10/М1 [11], который в комплекте с ИРТВ-5215 обеспечивает мониторинг влажности в вентиляционной системе.

Принцип действия датчика влажности РОСА-10 основан на прямой зависимости между ёмкостью чувствительного элемента преобразователя и относительной влажностью окружающей среды с последующим преобразованием электрической ёмкости чувствительного элемента в выходной электрический сигнал постоянного тока и компенсацией температурной зависимости.

В качестве чувствительного элемента температуры использован термопреобразователь сопротивления с НСХ Pt500.



Описание системы регулирования температуры воздуха на выходе из калорифера и объекта управления

Выбранная одноконтурная АСР состоит из объекта регулирования (температура воздуха), ПИ-регулятора и отрицательной обратной связи. Для регулирования в системе выбран ПИ-регулятор, как наиболее распространённый тип алгоритма регулирования заданной величины.

Перед началом расчёта автоматической системы регулирования необходимо изучить модель объекта, а именно рассмотреть временные и частотные характеристики по основному каналу. По известной передаточной функции определяется переходная характеристика с учётом запаздывания. Для расчёта одноконтурной АСР, представленной на рис. 1, принят частотный показатель колебательности $M = 1,55$. В расчёте для настроек ПИ-регулятора используется вспомогательная функция, по графику которой определяется первый пик в заданном частотном диапазоне. Резонансная частота, которая соответствует пику данной кривой, составляет $0,0168$ рад/с. Прямые показатели переходного процесса (рис. 2): время регулирования $t_{\text{пер}} = 580$ с; динамическое отклонение $y_{\text{дин}}(t) = 1,319$ % УС; степень затухания $\psi = 0,9$.

Расчёт АСР с цифровым контроллером и анализ переходных процессов

По теореме Котельникова — Шеннона для того, чтобы система с цифровым регулятором вела себя не хуже системы с аналоговым регулятором, необходимо, чтобы интервал квантования был меньше величины π/ω_{max} , где $\omega_{\text{max}} = 0,449$. На основа-

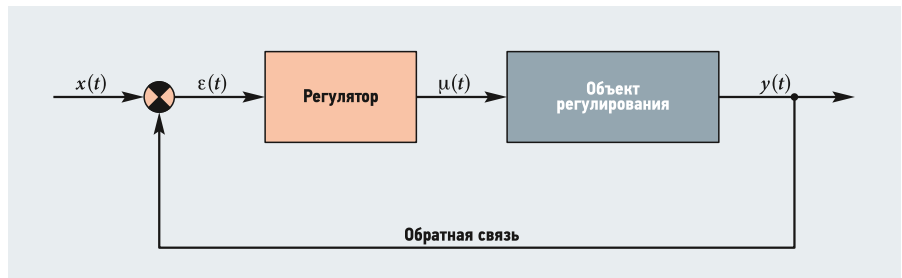


Рис. 1. Одноконтурная автоматическая система регулирования температуры воздуха на выходе из калорифера

нии расчёта построены переходные процессы в системах с цифровым и аналоговым регуляторами при возмущении на вход объекта (рис. 3).

На основании проведённого анализа АСР температуры воздуха в ПВУ установлено, что наиболее эффективными являются системы с качественным и количественно-качественным регулированием.

Определены основные параметры объекта исследования и его характеристики, построена математическая модель объекта в виде передаточной функции с учётом запаздывания.

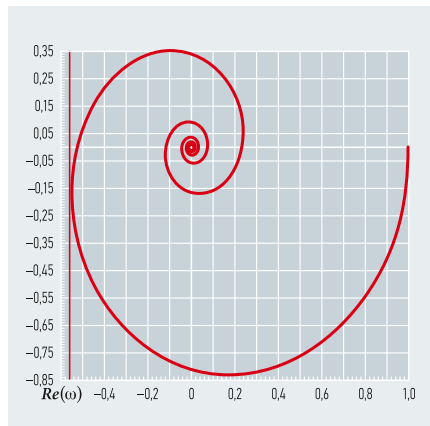


Рис. 2. Годограф КЧХ объекта

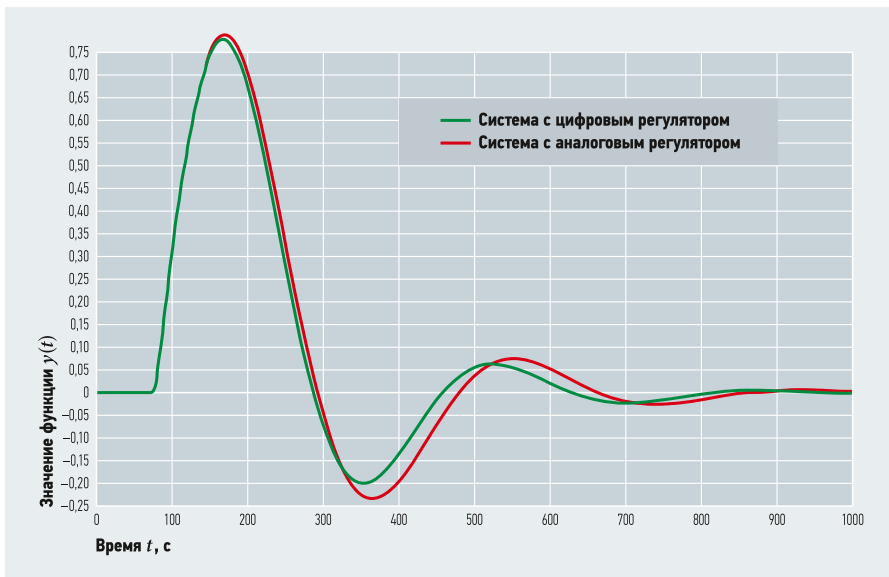


Рис. 3. График переходных процессов в системах с цифровым и аналоговым регуляторами при возмущении на вход объекта в программе SimInTech

Рассчитана одноконтурная автоматическая система регулирования (АСР) температуры воздуха с ПИ-регулятором и найдены параметры регулятора так, чтобы частотный показатель колебательности не превышал заданного значения, а именно: $M = 1,55$, $k_p = 0,622$ % УП/% УС, $k_i = 0,012$. Методом подбора определён оптимальный интервал квантования $T = 7$ с.

Построены переходные процессы, по которым можно сделать вывод, что теорема Котельникова — Шеннона выполняется, и система с цифровым регулятором ведёт себя подобно системе с аналоговым регулятором.

Данная система обладает достаточной устойчивостью и может быть рекомендована к практическому применению в системах вентиляции и отопления.

1. Варшавский П.Р., Поляков С.А. Архитектура распределённой системы для интеллектуального анализа данных на основе прецедентов // Вестник МЭИ, 2023. №4. С. 155–161.
2. Аракелян Э.К., Косой А.А. Выбор и оценка приоритетных направлений повышения интеллектуальности АСУТП ТЭС // Вести в электроэнергетике, 2022. №5. С. 52–57.
3. Мезин С.В., Дементьев Д.А. Сравнительный анализ работы классических многомерных систем управления и систем с нейрорегулятором на примере реального объекта // Вестник МЭИ, 2024. №2. С. 117–125.
4. Горелов М.В., Горячева Е.М., Юркина М.Ю. Сравнение коэффициентов тепловой аккумуляции многоэтажных зданий // Энергобезопасность и энергосбережение, 2018. №3. С. 16–20.
5. АИР-10LH — малогабаритные микропроцессорные четырёхдиапазонные датчики давления с поддержкой HART-протокола [Электр. текст]. ООО НПП «Элемер». Режим доступа: elemer.ru. Дата обращения: 14.01.2026.
6. «Элемер-РВ» — расходмеры-счётчики вихревые [Электр. ресурс]. ООО НПП «Элемер». Режим доступа: elemer.ru. Дата обращения: 10.01.2026.
7. РМТ 79 — видеографический многоканальный регистратор [Электр. текст]. ООО НПП «Элемер». Режим доступа: elemer.ru. Дата обращения: 12.01.2026.
8. «Аэрокон-П» — пылемер (измеритель массовой концентрации аэрозольных частиц) [Электр. текст]. ООО «ЭкоСфера». Режим доступа: ekosf.ru. Дата обращения: 16.01.2026.
9. Шумомер «Метеон 92021» k0000034216 [Электр. текст]. ВсеИнструменты.ру. Режим доступа: vseinstrumenty.ru. Дата обращения: 14.01.2026.
10. Архив погоды в Москве (центр, Балчуг) [Электр. текст]. RP5.RU — прогноз погоды. Режим доступа: rp5.ru. Дата обращения: 20.06.2025.
11. РОСА-10 / M1 / M2 — преобразователи измерительные температуры и влажности [Электр. текст]. ООО НПП «Элемер». Режим доступа: elemer.ru. Дата обращения: 15.01.2026.

References — see page 128.

Improving the efficiency of an automated ventilation control system for a 6000 m² dormitory building with an individual heating point. Pp. 112–114.

Sergey V. Guzhov, PhD (Engineering), Associate Professor, National Research University "Moscow Power Engineering Institute" (NRU "MPEI"); **Andrey A. Arbatsky**, PhD (Engineering), General Director of the "Research Institute of Energy-Efficient Microclimate Technologies", LLC; **Elena V. Krylova**, PhD (Engineering), Associate Professor, deputy director for Academic Affairs of the Institute Thermal and Nuclear Power Engineering of the NRU "MPEI"; **Victoria A. Belyakova**, student, NRU "MPEI"; **Anna O. Sorokina**, student, NRU "MPEI"

1. P.R. Varshavskiy, S.A. Polyakov. *Arhitektura raspredelennoj sistemy dlja intellektual'nogo analiza dannykh na osnove pretsedentov* [Architecture of a distributed system for intelligent data analysis based on precedents]. *Vestnik MJeI* [Bulletin of the Moscow Power Engineering Institute]. 2023. No. 4. Pp. 155–161. [In Russian]
2. Je.K. Arakelian, A.A. Kosoy. *Vybor i otsenka prioritnykh napravlenij povysheniya intellektual'nosti ASUTP TJeS* [Selection and assessment of priority areas for improving the intelligence of an automated process control system for a thermal power plant]. *Vesti v jelektronergetike* ["News in the electric power industry" Magazine]. 2022. No. 5. Pp. 52–57. [In Russian]
3. S.V. Mezin, D.A. Dement'ev. *Sravnitel'nyj analiz raboty klassicheskikh mnogomernykh sistem upravleniya i sistem s nejroregulyatorom na primere real'nogo ob'ekta* [Comparative analysis of the operation of classical multivariate control systems and systems with a neuroregulator using the example of a real object]. *Vestnik MJeI* [Bulletin of the Moscow Power Engineering Institute]. 2024. No. 2. Pp. 117–125. [In Russian]
4. M.V. Gorelov, E.M. Goryacheva, M.Ju. Yurkina. *Sravnenie koefitsientov teplovoj akumulatsii mnogoetazhnykh zdaniy* [Comparison of Heat Accumulation Coefficients of Multi-Story Buildings]. *Jenergobezopasnost' i jenergoberezhenie* ["Energy Safety and Energy Saving" Magazine]. 2018. No. 3. Pp. 16–20. [In Russian]
5. AIR-10LKh — *malogabaritnye mikroprotsessornye chetyrehdiapazonnye datchiki davleniya s podderzhkoj KhART-protokola* [AIR-10LH small-sized 4-range pressure sensors with microprocessor with HART protocol support]. OOO NPP "JeIemer" ["Elemer Scientific and Production Enterprise", LLC]. Web-source: elemer.ru. Access date: January 14, 2026. [In Russian]
6. "JeIemer-RV" — *rashodomery-schetchiki vikhrevye* [Elemer-RV vortex flow meters]. OOO NPP "JeIemer" ["Elemer Scientific and Production Enterprise", LLC]. Web-source: elemer.ru. Access date: January 10, 2026. [In Russian]
7. RMT 79 — *videograficheskij mnogokanal'nyj registrator* [RMT 79 videographic multichannel recorder]. OOO NPP "JeIemer" ["Elemer Scientific and Production Enterprise", LLC]. Web-source: elemer.ru. Access date: January 12, 2026. [In Russian]
8. "Ajerokon-P" — *pylemer (izmeritel' massovoj kontsentratsii ajerozol'nykh chastits)* [Aerocon-P dust meter (aerosol particle mass concentration meter)]. OOO "EcoSfera" ["EcoSphera", LLC]. Web-source: ekosf.ru. Access date: January 16, 2026. [In Russian]
9. Shumomer "Megeon 92021" k0000034216 [Megeon 92021 sound level meter No. k0000034216]. *VseInstrumenty.ru*. Web-source: vseinstrumenty.ru. Access date: January 14, 2026. [In Russian]
10. *Arhiv pogody v Moskve (tsentr, Balchug)* [Weather archive in Moscow (center, Balchug)]. RP5. RU reliable prognosis. Web-source: rp5.ru. Access date: June 20, 2025. [In Russian]
11. ROSA-10 / M1 / M2 — *preobrazovateli izmeritel'nye temperatury i vlazhnosti* [DEW-10 / M1 / M2 temperature and humidity measuring transducers]. OOO NPP "JeIemer" ["Elemer Scientific and Production Enterprise", LLC]. Web-source: elemer.ru. Access date: January 15, 2026. [In Russian]