

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ И КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ОТОПЛЕНИЯ ЗДАНИЯ НА ОСНОВЕ МЕТОДА ИДЕНТИФИКАЦИИ ТЕПЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ

В.В. Абдуллин

В статье рассматривается система управления отоплением здания с коррекцией управляющего воздействия по прогнозной оценке температуры воздуха в помещениях. Вычисление прогнозной оценки производится на основе идентификации тепловых параметров здания в реальном времени. Описана концепция предлагаемой системы, приведена структурная схема. Показана возможность практического применения метода путем проверки на реальных данных.

Ключевые слова: идентификация; экспоненциальная фильтрация; тепловые параметры здания; реальное время; отопление.

Повышение эффективности систем отопления является важной задачей энергосбережения. Вместе с тем необходимо понимать, что первоочередной задачей модернизации систем отопления является обеспечение комфортного микроклимата, и лишь затем – экономия потребляемых ресурсов.

Для целей улучшения комфортности и повышения эффективности теплоснабжения корпуса ЗБВ ЮУрГУ была смонтирована автоматизированная система управления и контроля качества отопления корпуса ЗБВ, включающая в себя подсистему регулирования теплоснабжения и подсистему мониторинга качества отопления [1].

Для создания подсистемы мониторинга качества отопления в корпусе ЗБВ ЮУрГУ создана сеть датчиков для мониторинга температуры воздуха в помещениях. На первом этапе в различных помещениях здания установлены 24 цифровых сенсора температуры *Dallas 18B20*, объединенных сетью *MicroLan (1-wire)*. Второй этап (III квартал 2014 г.) предполагает установку до 30 дополнительных датчиков, объединенных в беспроводную сенсорную сеть *WirelessHART* [2–4].

Подсистема регулирования теплоснабжения представляет собой оборудование АИТП, установленное в тепловом узле здания. Для реализации алгоритмов управления был установлен свободно-программируемый контроллер *Segnetics SMH-2G*.

Управление отоплением осуществляется по трехуровневой схеме. Нижний и средний уровни реализованы с использованием стандартных алгоритмов: соответственно, ПИД-регулятор по уставке прямой воды в контуре отопления и температурный график зависимости температуры прямой воды от температуры наружного воздуха. На верхнем уровне предусмотрена коррекция выхода температурного графика отопления, при этом величина коррекции формируется посредством идентификации тепловых характеристик здания в реальном времени.

Структурная схема системы управления с идентификацией в реальном времени

Температура воздуха в помещениях здания $T_{\text{пом}}$ зависит от его объема, типа ограждающих конструкций, количества подаваемой тепловой энергии $Q_{\text{ист}}$, действия внутренних и внешних возмущающих факторов, включающих температуру наружного воздуха $T_{\text{нар}}$, солнечную радиацию $J_{\text{рад}}$, ветровое воздействие $V_{\text{вет}}$, внутреннее тепловыделение $Q_{\text{внут}}$ и аккумулируемую в здании теплоту $Q_{\text{ак}}$ (рис. 1).

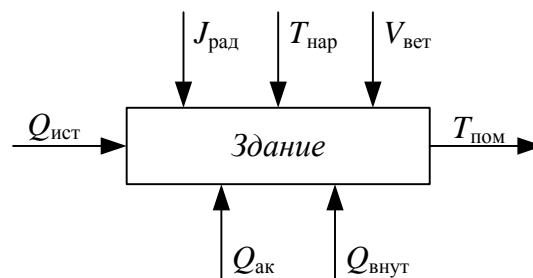


Рис. 1. Факторы, влияющие на температуру воздуха в помещении

Представленные на рис. 1 сигналы $T_{\text{пом}}$, $Q_{\text{ист}}$ и $T_{\text{нар}}$ доступны непосредственному измерению в реальных условиях, в отличие от сигналов $J_{\text{рад}}$, $V_{\text{вет}}$, $Q_{\text{внут}}$ и $Q_{\text{ак}}$, непосредственное измерение которых на практике затруднительно.

В работе предложен подход, основанный на оценке обобщенного температурного воздействия, которое характеризует интегральное действие указанных выше факторов. Применение данного подхода к идентификации тепловых режимов здания подробно изложено в работе [5].

Результатом идентификации является оценка прогнозного (упреждающего) значения температуры воздуха в помещении, учитывающего динамику тепловых процессов в здании. При этом горизонт прогноза определяется тепловой инерцией изменения температуры в здании в результате возмущающих факторов. В итоге, схема управления процессом принимает вид, представленный на рис. 2.

На рисунке: Q – тепловая мощность, измеряемая теплосчетчиком, $T_{\text{н}}$ – температура наружного воздуха, измеряемая датчиком АИТП, T_1 – температура прямой воды, T_1^* – уставка температуры прямой воды, ΔT_1 – ошиб-

ка рассогласования температуры прямой воды, T_n – температура воздуха в помещении, \tilde{T}_n – прогнозное значение температуры воздуха в помещении, T_1^* – уставка температуры воздуха в помещении, ΔT_n – ошибка рассогласования температуры воздуха в помещении, T_z – обобщенное температурное воздействие, $u = u_1 + u_n$ – сигнал управления, Б.Р. – базовый регулятор, К.Р. – корректирующий регулятор, Т.Г. – температурный график отопления, реализующий зависимость $T_1(T_n)$, М – блок «модель», реализующий модель объекта управления и алгоритм идентификации тепловых параметров здания в реальном времени, О.У. – объект управления.

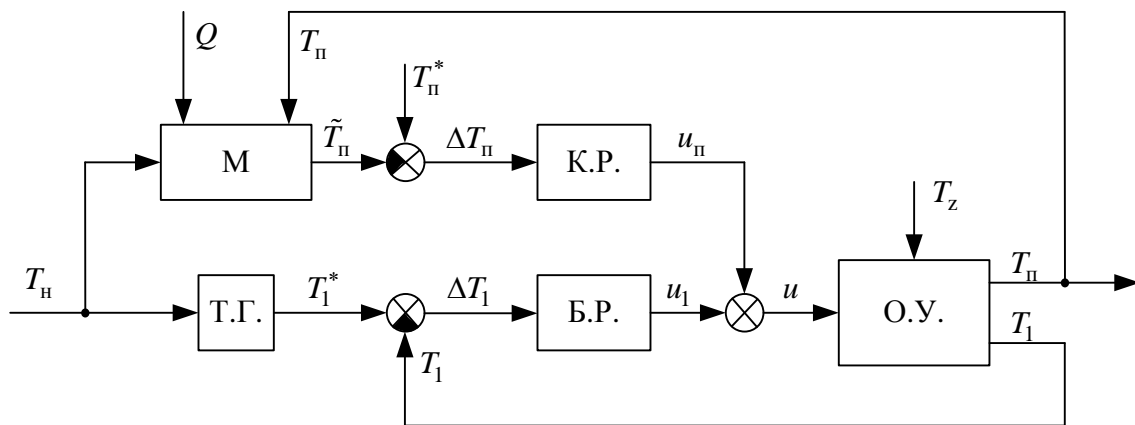


Рис. 2. Структурная схема системы управления отоплением с идентификацией тепловых параметров здания в реальном времени

Предложенная схема имеет 2 контура управления: базовый контур осуществляет регулирование подачи тепла в зависимости от температурного графика (базовый регулятор), корректирующий контур осуществляет коррекцию подачи тепла в здание в зависимости от прогнозного значения температуры воздуха в помещении, учитывающего действие возмущающих факторов, рассчитанное по модели в реальном времени.

Положительным свойством предложенной структуры является возможность построения системы управления с учетом действия возмущающих факторов без необходимости непосредственного измерения, что делает возможным ее широкое применение на практике. Дальнейшее развитие системы возможно за счет внедрения пофасадного и индивидуального регулирования: так, внедрение пофасадного регулирования в предложенной системе позволяет компенсировать суточные колебания температуры, вызванные изменением положения Солнца за окном.

Моделирование на реальных данных

Описанный в источнике [5] метод был проверен на модели с использованием реальных данных, собранных в корпусе 3БВ ЮУрГУ в ходе отопительного сезона 2013/2014. В качестве входных данных модели использовались показания теплосчетчика $Q_0(t)$ с поправкой на расход тепла на

подготовку ГВС, а также регистрируемая контроллером АИТП температура наружного воздуха $T_n(t)$ (рис. 3). Для получения значений третьего входного параметра – температуры воздуха в помещении $T_p(t)$ – в различных помещениях здания были установлены электронные самописцы *Dallas DS1921*. На основе данных с самописцев вычислена средняя температура воздуха по зданию (рис. 4, серая тонкая линия), из которой посредством цифровой фильтрации выделяется базовый тренд (рис. 4, черная толстая линия), отражающий только влияние $Q_0(t)$ и $T_n(t)$. Выбранный метод фильтрации – экспоненциальная фильтрация в гармоническом базисе, однако допустимо использовать иные методы фильтрации с малыми значениями сдвига выходного сигнала.

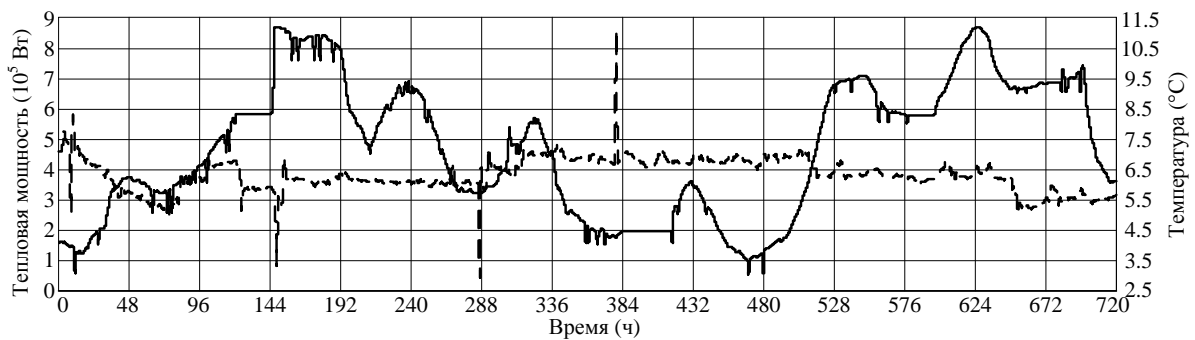


Рис. 3. Входные сигналы. $Q_0(t)$ (Вт) – пунктир; $T_{out}(t)$ ($^{\circ}\text{C}$) – сплошная линия

Сигналы q_0 и $T_z(t)$ вычисляются в соответствии с методом, представленным в источнике [5]. Расчетное значение и прогнозная оценка удельных теплотерь приведены на рис. 5. Как видно из графика, флуктуации прогнознй оценки весьма велики и в разные моменты времени существенно отличаются от расчетного значения. Флуктуации обусловлены влиянием различных внешних факторов (рис. 1), их можно снизить путем дополнительной фильтрации входных сигналов $Q_0(t)$ и $T_n(t)$. Это также позволяет уменьшить величину обобщенного температурного возмущения $T_z(t)$ (рис. 6).

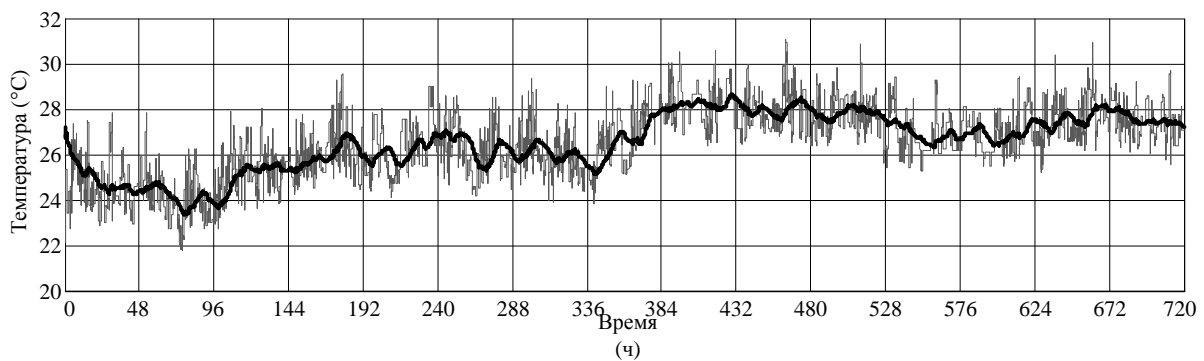


Рис. 4. Среднее значение $T_n(t)$. Тонкая серая линия – до фильтрации; жирная черная линия – после фильтрации

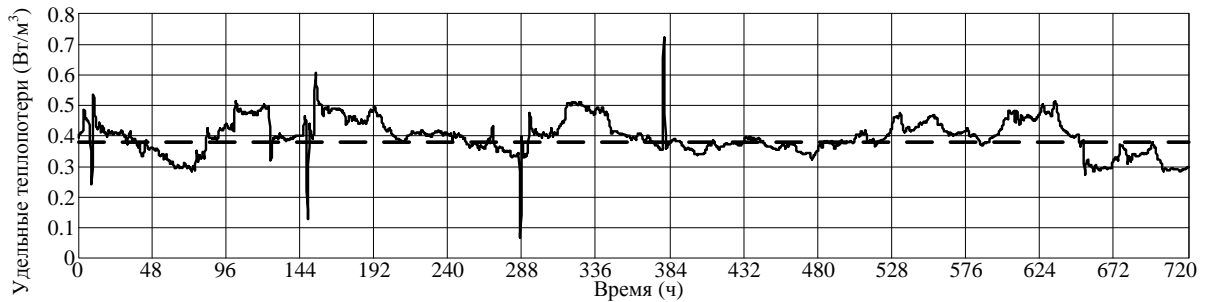


Рис. 5. Удельные тепловых потерь. Расчетное значение (среднее) – пунктир; прогнозируемая оценка – сплошная линия

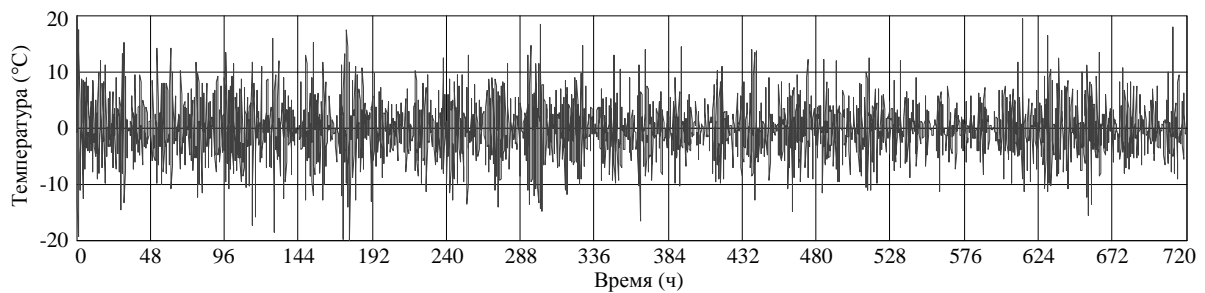


Рис. 6. Обобщенное температурное возмущение

На рис. 7 изображена ошибка идентификации $T_n(t)$. Как видно из графика, ошибка идентификации не превышает $\pm 0,5^\circ\text{C}$, что является приемлемым значением и согласуется с теоретическими расчетами [5].

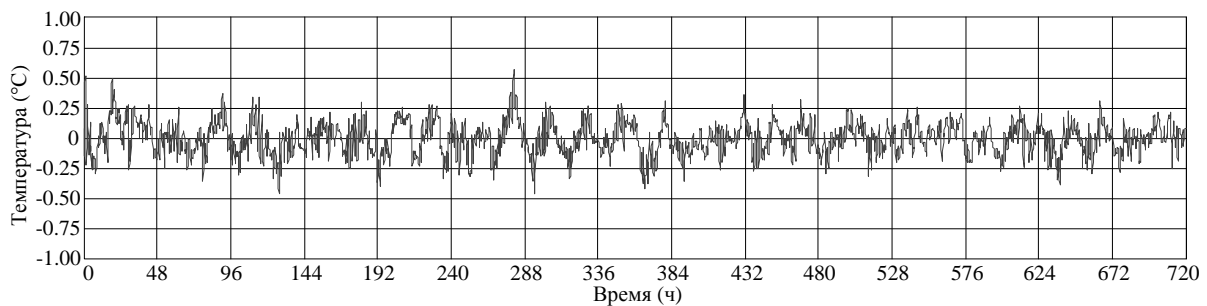


Рис. 7. Ошибка идентификации для $T_n(t)$

Выводы и дальнейшие исследования

На текущий момент выполнена программно-аппаратная реализация (средствами контроллера) базового контура регулирования. Работа блока «модель» корректирующего контура проверена на реальных данных, полученных с объекта.

В ходе проведенных экспериментов на реальных измеренных данных в целом установлена работоспособность предложенного ранее в [5] метода идентификации и возможность его практического применения.

Предложенную систему также возможно использовать для целей ана-

лиза: оценки энергоэффективности (как здания в целом, так и отдельных помещений), выявления перетопов и недотопов, автоматической балансировки стояков, выявления недобросовестных жильцов и т.д.

Выбранное здание – учебно-лабораторный корпус университета – является типичным представителем многоэтажных зданий [4], таким образом, полученные результаты могут быть распространены на большинство жилых и офисных многоэтажных зданий.

Следующий этап – программно-аппаратная реализация корректирующего контура (блоки «модель», «корректирующий регулятор») для работы на объекте в реальном времени. Цель – энергосбережение при условии обеспечения стабильной комфортной температуры воздуха в здании с учетом влияния на систему постоянных и переменных факторов (возмущений).

Дальнейшие этапы исследования также предполагают размещение дополнительных датчиков и построение распределенной сети интеллектуальных устройств на базе беспроводной сенсорной сети стандарта *WirelessHART*.

Библиографический список

1. Шнайдер, Д.А. Подход к оперативному анализу эффективности теплоснабжения зданий / Д.А. Шнайдер, В.В. Абдуллин, А.А. Басалаев // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление и радиоэлектроника». – 2011. – Вып. 13. – № 2(219). – С. 70–73.
2. Абдуллин, В.В. Применение сетей стандарта *WirelessHART* в системах автоматизированного энергоменеджмента зданий / В.В. Абдуллин // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление и радиоэлектроника». – 2012. – Вып. 13. – № 23(282). – С. 210–212.
3. Абдуллин, В.В. Экспериментальное исследование сетей стандарта *WirelessHART* в системах автоматизированного энергоменеджмента / В.В. Абдуллин // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление и радиоэлектроника». – 2012. – Вып. 13. – № 35(294). – С. 110–114.
4. Shnayder, D.A. A WSN-based system for heat allocating in multiflat buildings / D.A. Shnayder, V.V. Abdullin // 2013 36th International Conference on Telecommunications and Signal Processing (TSP) Proceedings. – July 2–4, 2013. Rome, Italy. – pp. 181–185.
5. Abdullin, V.V. Method of Building Thermal Performance Identification Based on Exponential Filtration / V.V. Abdullin, D.A. Shnayder, L.S. Kazarinov // Proceedings World Congress on Engineering 2013. Volume III. – July 3–5, 2013. London, U.K. – pp. 2226–2230.

[К содержанию](#)