

УДК 628.882/.889:697.87

О.Д. САМАРИН, канд. техн. наук, С.С. АЗИВСКАЯ (azivskaya@mail.ru),
Московский государственный строительный университет;
Ю.Д. ФЕДОРЧЕНКО, инженер-программист (jfedorchenko@gmail.com),
ООО «Акситех» (Москва)

Экспериментальное подтверждение результатов исследования теплового режима помещения при автоматизации климатических систем

Рассмотрены результаты экспериментальных исследований температуры воздуха в помещении жилого здания, оборудованного автоматизированной системой воздушного отопления. Проведен анализ полученных результатов, позволивший подтвердить теоретические зависимости для изменения температуры при переменных тепловых воздействиях в условиях автоматизации климатических систем.

Ключевые слова: теплопоступления, климатические системы, автоматическое регулирование, коэффициент передачи, натурные замеры.

В период с 17 по 31 октября 2012 г. были проведены натурные исследования нестационарного теплового режима помещения индивидуального жилого дома (коттеджа), расположенного в Московской области и оборудованного автоматизированной системой механической приточной вентиляции, выполняющей также функции воздушного отопления. Целью исследования было подтверждение полученных ранее аналитических зависимостей и результатов численных экспериментов, описывающих характер изменения температуры в помещении при автоматизации его климатических систем. При этом проводились замеры температуры наружного воздуха и внутреннего в характерных точках помещения, в том числе вдали от остекления и на поверхности, а также непосредственно у датчика системы автоматического регулирования (САР). Интервал времени для осуществления замеров был выбран таким образом, чтобы охватить начало отопительного периода, когда еще велик суточный ход температуры наружного воздуха и достаточно значительны колебания теплопоступлений от солнечной радиации через заполнения световых проемов, а значит, в помещении наблюдаются существенные периодические тепловые возмущения.

В процессе исследования в качестве средств измерений использовался комплект датчиков температуры «Термохрон» (США). Относительная погрешность измерений данных приборов находится в пределах $\pm 5-7\%$.

На рис. 1 представлено сопоставление экспериментальных данных с результатами расчетов по программе для ЭВМ, реализующей численную модель процессов в помещении, обслуживаемом автоматизированными климатическими системами.

Необходимые для работы программы геометрические размеры помещения и конструкции его ограждений принимались по чертежам и на основании натурных замеров, а теплофизические характеристики строительных материа-

лов – по приложению Д СНиП 23-02–2003 «Тепловая защита зданий». Изменение теплоизбытков во времени аппроксимировалось зависимостью, отражающей особенности суточных колебаний основных составляющих теплового баланса [1] – теплопоступлений бытовых, от освещения, от солнечной радиации и электробытовых приборов. Ее можно записать в следующем виде:

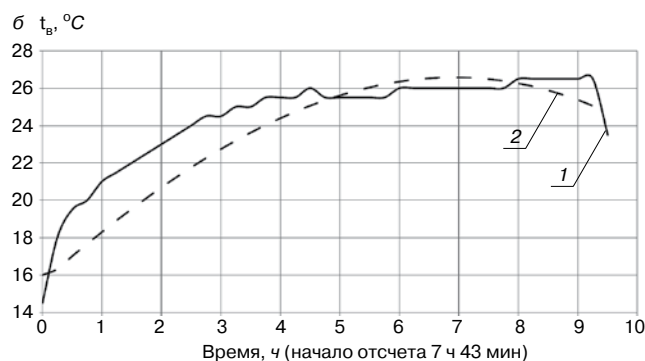
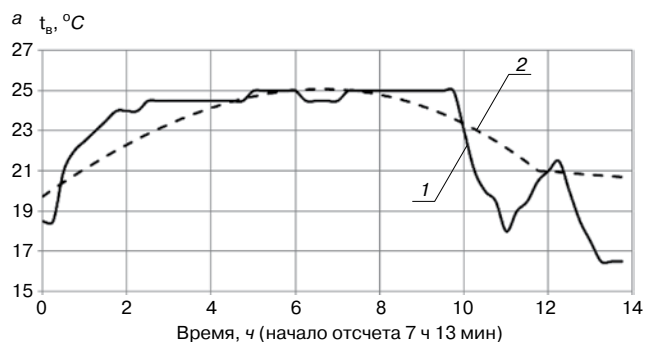


Рис. 1. Результаты сопоставления значений $t_{в}$: а – для 18 окт. 2012 г.; б – 31 окт. 2012 г. 1 – экспериментальные; 2 – расчетные

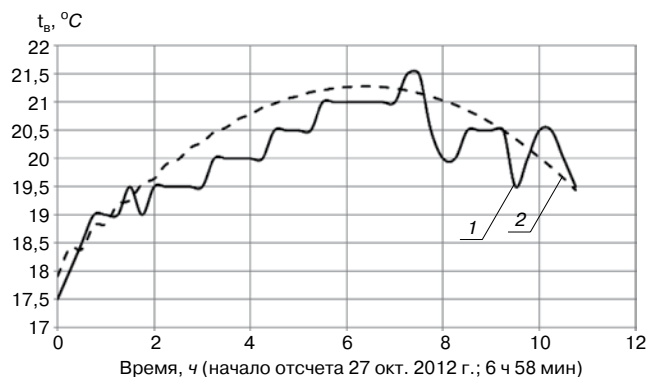


Рис. 2. Результаты сопоставления значений t_b , 27 окт. 2012 г.: 1 — экспериментальные; 2 — расчетные

$$Q_{возм} = 4 \cdot Q_{max} (\tau/12)(1 - \tau/12), \quad (1)$$

где τ — интервал времени, ч, с момента начала появления теплоступлений; Q_{max} — их максимальное значение, Вт. Иначе говоря, предполагается, что в течение активной половины суток величина $Q_{возм}$ сначала возрастает от нуля до Q_{max} , а затем опять убывает до нуля по параболическому закону и впоследствии остается равной нулю за оставшиеся 12 ч. Значение Q_{max} подбиралось исходя из наилучшего совпадения расчетных и измеренных значений t_b . Для сопоставления с данными 18 окт. 2012 г. было принято $Q_{max}=3750$ Вт, а для 31 окт. — $Q_{max}=6250$ Вт. Коэффициент передачи САР, показывающий изменение теплового потока от системы вентиляции и кондиционирования воздуха (В и КВ) при отклонении t_b от уставки на 1° , учитывался на минимальном уровне $K_{рег}=14$ Вт/К. Такое значение получается, поскольку в рассматриваемом здании регулируемая система вентиляции совмещена с воздушным отоплением, а расчетные теплотери помещения при $t_b=-28^\circ\text{C}$ по СНиП 23-01-99* «Строительная климатология» составляют около 670 Вт. Поэтому в отсутствие теплоступлений, если контролируемое значение t_b равно $+20^\circ\text{C}$ по ГОСТ 30494-2011 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях», при ее отклонении на 1° теплотери изменяются на $670 \cdot 1 / (20 + 28) = 14$ Вт, и именно на такую величину должен корректироваться тепловой поток от системы, что по определению и требует значения $K_{рег}=14$ Вт/К.

Легко видеть, что результаты численных расчетов достаточно хорошо соответствуют данным натуральных замеров, как в отношении качественного поведения зависимости t_b от времени, так и с точки зрения количественного совпадения. Во всяком случае, расхождение кривых на графиках, как правило, является величиной того же порядка, что и погрешность используемых измерительных приборов. Следовательно, использованная численная модель адекватно отражает действительные тепловые процессы в системах В и КВ и обслуживающих их САР, а полученные на ее основе выводы обладают высокой степенью достоверности. Одновременно получаем, что принятая аппроксимация поведения $Q_{возм}$ (1) весьма правдоподобно описывает реальный характер изменения теплоизбытков, и такой зависимостью можно пользоваться при создании идентификационных моделей САР.

Заметим, что количественную оценку соответствия экспериментальных и теоретических результатов можно осуществить и путем сопоставления с упрощенным аналитическим решением. В частности, из [2] можно получить, что при автоматическом регулировании систем В и КВ справедливо следующее соотношение:

$$\frac{A_{Q_{возм}}}{A_{t_b}} \approx 0,9(K_{рег} + P_{ном}), \quad (2)$$

где $A_{Q_{возм}}$ и A_{t_b} — амплитуды колебаний $Q_{возм}$, Вт; t_b , °C; $P_{ном}$ — показатель теплопоглощения помещения, Вт/К. Для рассматриваемого помещения по данным расчета, использующего имеющиеся размеры и теплотехнические характеристики ограждающих конструкций [3], $P_{ном}=368$ Вт/К, поэтому $0,9(K_{рег} + P_{ном})=344$ Вт/К. В качестве A_{t_b} можно взять максимальное отклонение t_b от исходного уровня, и тогда для графика на рис. 1, а $A_{t_b} = 6,5^\circ$, а на рис. 1, б — уже 8° . Следовательно, теоретические значения $A_{Q_{возм}}$, под воздействием которых должны наблюдаться такие A_{t_b} , из выражения (2) должны быть равны соответственно $6,5 \times 344 = 2236$ Вт и $8 \times 344 = 2752$ Вт. Поскольку ранее было принято, что теплоступления действуют только в течение 12 ч в сутки из 24, очевидно, что сравнивать $A_{Q_{возм}}$ нужно с величиной $Q_{max}/2$. Тогда в первом случае $Q_{max}/2=1875$ Вт, и его расхождение с оценкой по формуле (2) составляет -16% , а во втором $Q_{max}/2=3125$ Вт с расхождением $+14\%$, что с учетом точности исходных данных, численных расчетов и аналитических зависимостей можно признать вполне удовлетворительным.

Для сравнения на рис. 2 показано сопоставление с натурными замерами для 27 окт. 2012 г., когда осуществлялось активное регулирование системы воздушного отопления при $K_{рег}=250$ Вт/К. Величина Q_{max} при этом считалась равной 3750 Вт, как и 18 окт. В данном случае по графику отклонение $A_{t_b}=4^\circ$, а $0,9(K_{рег} + P_{ном})=556$ Вт/К. Отсюда по выражению (2) теоретическое значение $A_{Q_{возм}}$ получается на уровне $4 \times 556 = 2225$ Вт, и $Q_{max}/2=1875$ Вт отличается от него на те же 16% , что и для 18 окт.

Таким образом, результаты сопоставления замеров как с теоретическим, так и с численным решением свидетельствуют о достоверности всех трех подходов к решению задачи о нестационарном тепловом режиме помещения, обслуживаемого автоматизированными климатическими системами, и о возможности использования разработанных аналитических и численных моделей при создании адаптивных САР для систем обеспечения микроклимата зданий.

Список литературы

1. Кувшинов Ю.Я., Самарин О.Д. Основы обеспечения микроклимата зданий. М.: Изд-во АСВ, 2012. 200 с.
2. Самарин О.Д., Азивская С.С. О численном расчете коэффициента ассимиляции переменных теплоступлений при автоматизации систем обеспечения микроклимата // Инженерно-строительный журнал. 2011. № 5. С. 31–33.
3. Богословский В.Н. Строительная теплофизика. М.: Высшая школа, 1982. 415 с.