

О численном расчете коэффициента ассимиляции переменных теплоступлений при автоматизации систем обеспечения микроклимата

К.т.н., доцент О.Д. Самарин;
аспирант С.С. Азиевская,*

ГОУ ВПО Московский государственный строительный университет

Ключевые слова: система автоматического регулирования; теплоустойчивость; коэффициент передачи; коэффициент ассимиляции; расчетная тепловая нагрузка

При проектировании автоматизированных систем вентиляции и кондиционирования воздуха (СВ и КВ) основной особенностью является необходимость расчета нестационарного теплового режима обслуживаемого помещения с учетом автоматического регулирования СВ и КВ и переходных процессов в их оборудовании, связанных с изменением параметров наружного и внутреннего воздуха с течением времени.

При этом сама СВ и КВ и ее система автоматического регулирования (САР) образуют для помещения отрицательную обратную связь по каналу «теплоступления $Q_{\text{возм}} - t_{\text{в}}$ », так как входной информацией для их работы является величина отклонения температуры внутреннего воздуха $t_{\text{в}}$ от заданного среднего уровня (уставки), а результатом их действия – тепловой поток $Q_{\text{рег}}$, который добавляется к $Q_{\text{возм}}$, полностью или частично компенсируя его и внося, таким образом, дополнительное стабилизирующее воздействие в систему «помещение–СВ/КВ–САР» [1].

Можно показать [2], что за счет совместного использования собственной теплоустойчивости помещения и регулирующего влияния САР максимальная величина $Q_{\text{рег}}$ может оказаться меньше наибольшего значения $Q_{\text{возм}}$. Следовательно, установленная мощность оборудования СВ и КВ, которая как раз и определяется параметром $Q_{\text{рег}}$, будет ниже максимальных теплоступлений. Это позволяет сократить габариты вентиляционных установок, а также размеры воздухопроводов, каналов и воздухораспределителей за счет снижения воздухообмена в помещении, который при обеспечении ассимиляции теплоизбытков должен вычисляться так же по величине $Q_{\text{рег}}$.

В работе [2] приводится приближенное выражение для расчета требуемой величины $Q_{\text{рег}}$ в зависимости от требований к качеству поддержания внутреннего микроклимата, характеристик помещения и САР при регулярных колебаниях $Q_{\text{возм}}$. Оно получено из уравнения теплового баланса помещения, обслуживаемого регулируемой СВ и КВ. Однако представляет интерес проверка данной формулы с помощью численного эксперимента, основанного на использовании математической модели, описывающей процессы нестационарного теплопереноса в легких и массивных ограждениях помещения и теплообмена на их внутренних поверхностях. Модель использует решение системы дифференциальных и алгебраических уравнений теплопереноса и теплового баланса методом конечных разностей [3] по разработанной авторами программе для ЭВМ на алгоритмическом языке Fortran [4].

В процессе расчетов осуществлялось сравнение результатов вычисления основного параметра – коэффициента ассимиляции переменных теплоступлений $K_{\text{асс}}$, представляющего собой отношение амплитуд колебаний $Q_{\text{рег}}$ и $Q_{\text{возм}}$, по методике [2] и по рассматриваемой численной модели при различных значениях эквивалентного коэффициента передачи СВ и КВ и САР $K_{\text{рег}}$ в условиях использования простейшего П-закона регулирования. По своему физическому смыслу величина $K_{\text{рег}}$, Вт/К, показывает в данном случае, на сколько ватт нужно изменять величину $Q_{\text{рег}}$ при отклонении $t_{\text{в}}$ от уставки $t_{\text{в,0}}$ на 1 К. Такое изменение и должна обеспечить соответствующим образом подобранная САР.

Исследования производились для помещения со следующими характеристиками:

- $\sum KF_{\text{л}}=4$ Вт/К – сумма произведений коэффициентов теплопередачи $K_{\text{л}}$, Вт/(м²·К), наружных «легких» ограждений помещения (условно безынерционных, например, окон) на их площади $F_{\text{л}}$, м²;
- показатель теплопоглощения инфильтрующимся воздухом $Lc_{\text{в}}\rho_{\text{в}} = 14$ Вт/К, где L – неорганизованный воздухообмен в помещении, м³/с, $c_{\text{в}}$ и $\rho_{\text{в}}$ – соответственно удельная теплоемкость, Дж/(кг·К), и плотность, кг/м³, этого воздуха;
- $\alpha_{\text{к,в}} = 3.7$ Вт/(м²·К) – коэффициент конвективного теплообмена на внутренних поверхностях;
- $\sum F_{\text{м}} = 74$ м² – площади массивных ограждающих конструкций, м²; $t_{\text{н}} = -28^{\circ}\text{C}$ – температура наружного воздуха [5];
- $t_{\text{в,0}} = +20^{\circ}\text{C}$ – контролируемое значение $t_{\text{в}}$ [6];
- амплитуда колебаний $Q_{\text{возм}}$ равна 1350 Вт.

Самарин О.Д., Азиевская С.С. О численном расчете коэффициента ассимиляции переменных теплоступлений при автоматизации систем обеспечения микроклимата

Теплофизические параметры материальных слоев массивных ограждений принимались в соответствии с [7] с учетом рекомендаций [8].

Уровень $K_{рег}$ в расчетах менялся от 0 до 290 Вт/К (при дальнейшем его увеличении теряется устойчивость конечно-разностной схемы при использованных шагах по времени и пространственной координате). Ясно, что при росте $K_{рег}$ и одном и том же значении амплитуды $Q_{возм}$ коэффициент $K_{асс}$ должен возрастать, поскольку возрастает доля регулирующего воздействия. На рис. 1 показаны результаты вычисления $K_{асс}$ при относительной величине конвективной составляющей q_k в теплопоступлениях, равной 1 (сплошные линии) и 0.4 (пунктирные). Тепловой поток, вносимый в помещение за счет работы СВ и КВ, во всех случаях считается чисто конвективным, так как имеются в виду воздушные системы. Черным цветом обозначены данные, полученные по методике [2], красным – по численной модели. В последнем случае значение $K_{асс}$ рассчитывалось непосредственно по определению, как отношение фактической амплитуды $Q_{рег}$ к заданной амплитуде $Q_{возм}$.

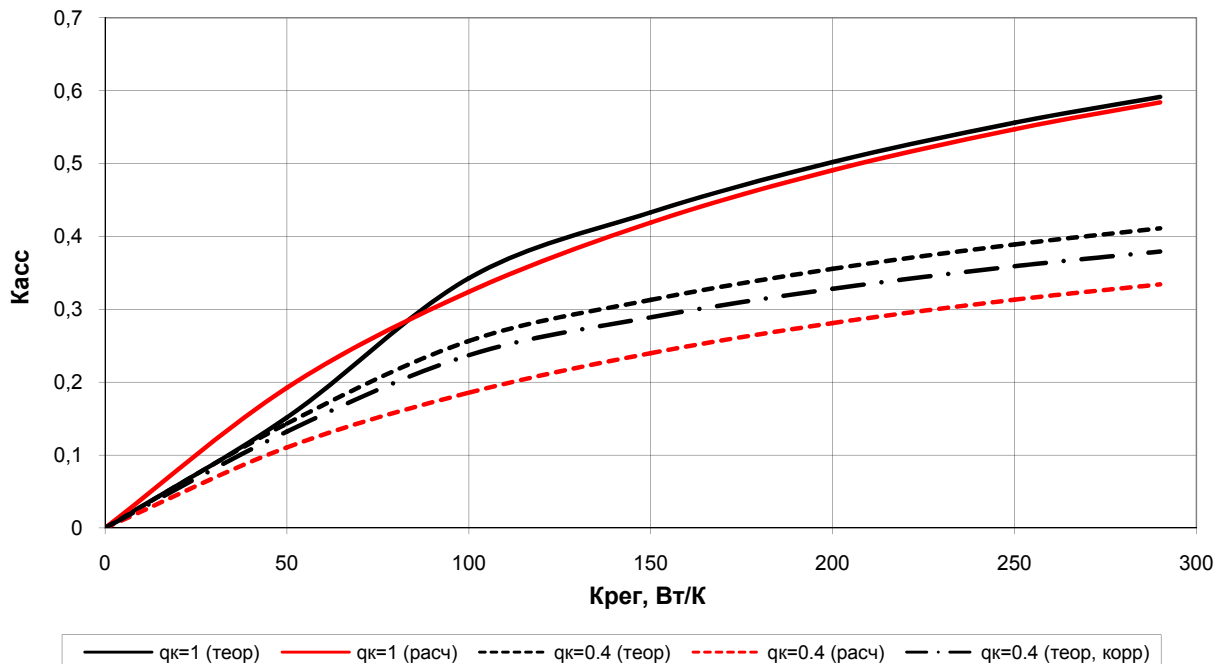


Рисунок 1. Зависимость коэффициента $K_{асс}$ от параметра $K_{рег}$ при различных q_k для характерного помещения

Легко видеть, что при $q_k=1$ численный расчет дает весьма близкую сходимость с аналитическим – во всяком случае, отклонение не превышает по абсолютной величине 0.05, а, как правило, оказывается значительно меньше. Это вполне укладывается в обычную погрешность инженерных методов. Следует только иметь в виду, что для минимизации расхождения необходимо несколько уточнить предлагаемую в [2] формулу для вычисления показателя теплопоглощения ограждающих конструкций помещения в условиях автоматического регулирования СВ и КВ и принимать коэффициент в ее числителе равным 1.25 независимо от средней теплоинерционности ограждений и величины q_k :

$$P_{опр} = \frac{1.25}{1/\Sigma YF + q_k/\Sigma \alpha F}, \text{ Вт/К}, \quad (1)$$

где ΣYF – суммарный показатель теплоусвоения внутренних поверхностей ограждений [9], Вт/К;

$\Sigma \alpha F$ – то же для конвективного теплообмена;

$$\Sigma \alpha F = \alpha_{к.в} \Sigma F, \text{ Вт/К}.$$

Здесь $\Sigma F = \Sigma F_m + F_l$ – суммарная площадь поверхностей, обращенных в помещение, м^2 . В зарубежной литературе до некоторой степени подобный подход к определению характеристик помещения есть, например, в работе [10] и соответствующих нормах [11]. Значения параметров ΣYF и $\Sigma \alpha F$ рассчитывались автоматически по рассмотренной программе. Таким образом, полученное уточнение приводит к дальнейшему упрощению соотношения для $P_{опр}$. По сути, в данном случае произведена идентификация аналитической модели по результатам численного эксперимента с одновременным выявлением факторов, влиянием которых на искомую величину можно пренебречь.

Самарин О.Д., Азивская С.С. О численном расчете коэффициента ассимиляции переменных теплопоступлений при автоматизации систем обеспечения микроклимата

При $q_k=0.4$, что более точно отражает наиболее часто встречающиеся условия с преимущественным поступлением в помещение лучистой теплоты, например, от солнечной радиации, сходимость оказывается несколько хуже, но все же и здесь максимальное отклонение не превышает 0.08–0.09. Заметим, что приближенный аналитический метод во всей области изменения $K_{рег}$ дает несколько преувеличенное значение K_{acc} , т.е. с некоторым запасом, что само по себе является положительным обстоятельством. Для снижения погрешности и доведения ее до 0.05 целесообразно уточнить предложенную в [2] зависимость для B_o – поправочного коэффициента к K_{acc} , учитывающего, что $q_k < 1$, опять-таки в сторону упрощения, а именно исключения из нее множителя 0.7 при отношении $\Sigma YF / \Sigma \alpha F$:

$$B_o = \frac{1 + q_k \Sigma YF / \Sigma \alpha F}{1 + \Sigma YF / \Sigma \alpha F}, \text{ (безразмерный)}. \quad (2)$$

Соответствующий график приведен на рис. 1 черной штрихпунктирной линией.

Таким образом, мы подтвердили, что расчетную тепловую нагрузку на помещение, обслуживаемое автоматизированными СВ и КВ, действительно можно определять по методике [2]:

$$Q_{рег} = Q_{ср} + K_{acc} A_q, \text{ Вт, где } K_{acc} = A(1 - B \cdot R_{дин}) B_o. \quad (3)$$

Здесь $R_{дин} = \frac{A_{тв} P_{ном}}{A_q}$ – динамический коэффициент регулирования СВ и КВ (также безразмерный);

A и B – параметры, зависящие в общем случае от применяемого закона регулирования и некоторых других условий.

При П-законе можно ориентировочно принимать при $R_{дин} > 0.75$ $A=1.15$, $B=1$; при $R_{дин} < 0.75$ $A=1$, $B=0.9$. Обозначения A_q и $Q_{ср}$ представляют собой соответственно амплитуду колебаний и среднее значение величины $Q_{возм}$, а $A_{тв}$ – допустимое отклонение t_b от уставки, задаваемое исходя из условий комфортности [6] или (в зарубежной практике) [12]. Показатель теплопоглощения помещения $P_{ном}$ в рассматриваемых условиях равен $P_{орг} + L_{св} P_{в}$. При этом значения $P_{орг}$ и B_o следует вычислять по уточненным формулам (1)-(2). Методика сохраняет инженерный вид и доступна для использования в инженерной деятельности.

Литература

1. Калмаков А. А. и др. Автоматика и автоматизация систем теплогазоснабжения и вентиляции. М. : Стройиздат, 1986. 479 с.
2. Самарин О. Д. Теплофизика. Энергосбережение. Энергоэффективность. М. : АСВ, 2009. 296 с.
3. Теория теплообмена / Под ред. А.И. Леонтьева. М. : Изд-во МГТУ, 1997. 684 с.
4. Самарин О. Д., Азивская С. С. Принципы расчета нестационарного теплового режима помещения, обслуживаемого автоматизированными системами обеспечения микроклимата // Известия вузов. Строительство. 2011. № 1. С. 59–62.
5. СНиП 23-01-99^{*}. Строительная климатология. М. : ГУП ЦПП, 2004.
6. ГОСТ 30494-96. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях. М. : ГУП ЦПП, 1999.
7. СП 23-101-2004. Проектирование тепловой защиты зданий. М. : ГУП ЦПП, 2004.
8. СНиП 23-02-2003. Тепловая защита здания. М. : ГУП ЦПП, 2003.
9. Богословский В. Н. Строительная теплофизика. М. : Высшая школа, 1982. 415 с.
10. Keller B., Magyari E. A simple calculation method of general validity for the design-parameters of a room/building, minimizing its energy and power demand for heating and cooling in a given climate. Zurich, 1998. 57 p.
11. EN ISO 13786. Thermal Performance of Building Components – Dynamic thermal characteristics – Calculation methods.
12. ISO 7730. Ergonomics of the thermal environment — Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria.

*Олег Дмитриевич Самарин, Москва, Россия

Тел. раб.: +7(499)188-36-07; эл. почта: samarin1@mtu-net.ru

doi: 10.5862/MCE.23.1

On numerical calculation of an assimilation factor of variable heat ingress at automation of micro-climate systems

**O.D. Samarin;
S.S. Azivskaya,**

*Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia,
+7(499)188-36-07; e-mail: samarin1@mtu-net.ru*

Key words

automatic control system; thermostability; gain; assimilation factor; computational heat load

Abstract

In the paper the nature of activity of the automated ventilating systems and air conditionings (V and AC) under condition of their regulation "on deviation" is reviewed.

The analysis of processes descending in V and AC and maintained room is given.

The outcomes of numerical calculation of a non-steady thermal mode of a room with the computer program designed by authors are adduced. The confrontation of the obtained outcomes to the data designed before an approximated analytical technique is conducted. The identification of analytical model with selection of best values of numerical constants is carried out.

The presentation is illustrated by a significant amount of a graphic stuff.

References

1. Kalmakov A. A. and others. *Avtomatika i avtomatizatsiya sistem teplogazosnabzheniya i ventilyatsii* [Automation of heat and gas supply systems and ventilation]. Moscow : Stroyizdat, 1986. 479 p. (rus)
2. Samarin O. D. *Teplofizika. Energoberezhenie. Energoeffektivnost* [Thermophysics. Energy saving. Energy efficiency]. Moscow : ASV, 2009. 296 p. (rus)
3. *Teoriya teplomassoobmena* [Theory of heat mass exchange] / Pod red. A.I. Leonteva. Moscow : Izd-vo MGTU, 1997. 684 p. (rus)
4. Samarin O. D., Azivskaya S. S. *Izvestiya vuzov. Stroitelstvo*. 2011. No. 1. Pp. 59–62. (rus)
5. *SNiP 23-01-99* Stroitel'naya klimatologiya* [Building climatology]. Moscow : GUP TSPP, 2004. (rus)
6. *GOST 30494-96. Zdaniya zhilye i obshchestvennye. Parametry mikroklimate v pomeshcheniyakh* [Residential and public buildings. Indoor microclimate]. Moscow : GUP TSPP, 1999. (rus)
7. *SP 23-101-2004. Proektirovanie teplovoy zashchity zdaniy* [Design of thermal protection of buildings]. Moscow : GUP TSPP, 2004. (rus)
8. *SNiP 23-02-2003. Teplovaya zashchita zdaniya* [Thermal protection of buildings]. Moscow : GUP TSPP, 2003. (rus)
9. Bogoslovskiy V. N. *Stroitel'naya teplofizika* [Building thermophysics]. Moscow : Vysshaya shkola, 1982. 415 p. (rus)
10. Keller B., Magyari E. *A simple calculation method of general validity for the design-parameters of a room/building, minimizing its energy and power demand for heating and cooling in a given climate*. Zurich, 1998. 57 p.
11. *EN ISO 13786. Thermal Performance of Building Components – Dynamic thermal characteristics – Calculation methods*.
12. *ISO 7730. Ergonomics of the thermal environment – Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria*.

Full text of this article in Russian: pp. 31-33