

УДК 621.311: 568.264

В. А. МАЛЯРЕНКО, д-р техн. наук, профессор

Национальная академия городского хозяйства, г. Харьков

В. Н. ГОЛОЩАПОВ, канд. техн. наук, Н. А. ОРЛОВА

Институт проблем машиностроения НАН Украины им. А. Н. Подгорного, г. Харьков

ТЕПЛОВЫЕ РЕЖИМЫ ЗДАНИЙ - ОСНОВА ЭФФЕКТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМОЙ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

В данной работе представлена модель управления тепловыми режимами зданий с учетом внешних возмущающих воздействий. Показана взаимосвязь коэффициентов теплоотдачи на наружной поверхности здания со скоростью и направлением ветра, предлагается методика управления тепловым режимом зданий.

У даній роботі наведено модель керування тепловим режимом будинків з урахуванням навколишніх впливів. Показано взаємозв'язок коефіцієнтів тепловіддачі на зовнішній поверхні будинку зі швидкістю і напрямком вітру, пропонується методика керування тепловим режимом будинків.

Повышение эффективности систем теплоснабжения наиболее целесообразно проводить на основе решения оптимизационной задачи управления тепловым режимом здания. В этом случае оптимальный расход энергии на отопление может быть обеспечен лишь тогда, когда в любой момент времени в заданной зоне здания подача тепла соответствует минимально необходимым значениям, обеспечивающим потребительские комфортные параметры системы (микроклимата). Таким образом, основной задачей управления тепловым режимом является перевод объекта из вероятностного состояния в детерминированное. Т. е. для создания эффективной схемы управления тепловым режимом здания необходимо выработать соответствующее управляющее воздействие, позволяющее вернуть объект в стационарный режим.

В настоящее время для оценки температуры внутреннего воздуха в зданиях при расчетах систем теплоснабжения широкое распространение получило уравнение Соколова Е. Я., которое имеет следующий вид [1]

$$t_{\text{в}} = t_{\text{н}} + \frac{Q_0}{(q_0 \cdot V)} + \frac{t'_{\text{в}} - t_{\text{н}} - \frac{Q_0}{(q_0 \cdot V)}}{\frac{\tau}{e\beta}}, \quad (1)$$

где Q_0 – подача теплоты в здание;

q_0 – удельная отопительная характеристика;

V – объем здания по наружному обмеру;

$t_{\text{н}}$ – температура наружного воздуха;

$t'_{\text{в}}$ – температура внутреннего воздуха в здании при $\tau=0$;

τ – время;

β – коэффициент аккумуляции здания.

Уравнение (1) является приближенным, описывающим динамику переходного процесса при нагреве или остывании здания и не учитывает динамические свойства помещения (изменение температуры наружного воздуха, скорость и направление ветра, дополнительные внутренние тепловыделения, инсоляцию).

Начало отопительного сезона связано с процессом остывания здания, которое происходит в результате воздействия погодных условий. Для восстановления теплового равновесия

необходимо выработать соответствующий регулирующий импульс, пропорциональный возмущениям. Восстановив тепловое равновесие в помещении, необходимо поддерживать температуру внутреннего воздуха на заданном уровне, изменяя температуру источника с учетом внешних возмущающих воздействий. Это связано с выбором временного интервала изменения температуры наружного воздуха. Нестационарный тепловой режим помещения рассматривается как процесс, включающий отдельные периоды остывания и нагрева на определенном временном интервале, длительность которого можно оценить путем контроля изменения температуры наружного воздуха в интервале 3, 6, 12 и 24 часа на протяжении нескольких отопительных периодов. С учетом сказанного выбран временной интервал для отопительных сезонов 2001-2002, 2002-2003, 2003-2004 годов города Харькова 12 часов [2].

Адекватность модели теплового режима помещения реальным климатическим условиям зависит от граничных условий на наружных ограждающих поверхностях, а именно: на стеновых, светопрозрачных поверхностях, а также на перекрытиях первого и последнего этажа. При проведении теплотехнических расчетов, согласно [3], коэффициент теплоотдачи на наружной поверхности, вычисляемый для скорости ветра 9-10 м/с при постоянных теплофизических характеристиках воздуха, принимает постоянное значение $\alpha_n = 23 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C})$.

В то же время, при натекании потока воздуха на поверхность в зависимости от скорости ветра, его направления и расположения поверхности существенно изменяется структура течения воздуха, т.е., вблизи наветренной, боковой или подветренной поверхности формируются области торможения, отрывные области с различной степенью развития пограничного слоя. В зависимости от этого на поверхности стен здания изменяется и коэффициент теплоотдачи [4, 5]. Так, при скорости ветра 5 м/с на боковых поверхностях α_n изменяется от 8,8 до 6,5 $\text{Вт}/(\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C})$, на заветренной - от 1,2 до 0,75 $\text{Вт}/(\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C})$, на наветренной от 39,57 до 15,81 $\text{Вт}/(\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C})$, что в 2 и более раза отличается от значений приведенных в [3].

В данной работе, исходя из составления уравнения теплового баланса с учетом нестационарной теплопроводности через ограждающие конструкции при несимметричных граничных условиях на ее внутренней и наружной поверхности разрабатываются следующие математические модели:

- определения регулирующего воздействия-модель управления температурой внутреннего воздуха, реализующая процесс нагрева помещения при постоянной температуре источника тепла происходит;
- управления тепловым источником помещения при постоянной температуре внутреннего воздуха и изменении температуры наружного воздуха - модель управления тепловым режимом помещения с учетом внешних возмущающих воздействий;

Модель управления температурой внутреннего воздуха помещений

$$t_B(\tau) = t_B(\infty) + \sum_{i=1}^{\infty} \frac{A_i}{\frac{M}{\alpha_n} + 1} \cdot e^{-ak_i^2 \tau} \quad (2)$$

Коэффициенты A_i и k_i , M определяются при решении характеристического уравнения

$$\left[\left(\frac{\mu_i^2}{Bi_B \cdot Bi_n} \right) \frac{\bar{\kappa}_{ок} + \bar{\kappa}_u - \bar{c} \mu_i^2}{\mu_i} + \frac{\mu_i}{Bi_n} \right] \cdot tg \mu_i = \left(\frac{1}{Bi_n} + \frac{1}{Bi_B} \right) (\bar{\kappa}_{ок} + \bar{\kappa}_u - \bar{c} \mu_i^2) + 1,$$

где $\mu_i = \frac{k_i}{\delta}$ $\bar{\kappa}_{ок} = \frac{\kappa_{ок} F_{ок}}{\lambda F_{cm}}$, $\bar{\kappa}_u = \frac{\alpha_u F_{ок}}{\lambda F_{cm}}$, $\bar{c} = - \sum_{j=1}^n \frac{c_j m_j}{\rho F_{ст}}$,

$$Bi_B = \frac{\alpha_B \cdot \delta}{\lambda} \quad Bi_H = \frac{\alpha_H \cdot \delta}{\lambda},$$

$$B_i = A_i \cdot \frac{Bi_B}{\mu_i} \left(1 - \frac{1}{\frac{M}{\alpha_B}} \right), \quad M = \frac{\kappa_{OK} F_{OK} + \alpha_H F_H}{F_{CT}} - \sum_{j=1}^n \frac{c_j m_j}{c \rho F_{CT}} \lambda k_i^2.$$

Модель управления тепловым режимом помещения при $t_B = \text{const}$

$$t_u(\tau) = t_B + \frac{\alpha_B \cdot F_{cm}}{\alpha_u F_u} (t_B + t(0, \tau)) + \frac{k_{OK} F_{OK}}{\alpha_u F_u} (t_B - t_H) + \frac{Q_{\Pi}}{\alpha_u F_u} + \frac{Q_{\text{вент}}}{\alpha_u F_u}. \quad (3)$$

В уравнениях (2) и (3) F_u, F_{cm}, F_{OK} - площадь источника теплоты (радиатора), наружных стен и окон, соответственно; α_u, α_B - коэффициент теплоотдачи источника теплоты и внутренней поверхности наружной стены; t_u - средняя температура источника теплоты $t_u = (t_{\text{пр}} - t_{\text{обр}})/2$; t_B - температура внутреннего воздуха рассматриваемого помещения, °С; t_H - температура наружного воздуха, °С; $t(0, \tau)$ - температуры на внутренней поверхности наружной стены; Q_{Π} - теплотери через перекрытие (для помещений первого или последнего этажа).

Временные условия при $\tau=0$ и $\tau=\infty$ могут быть представлены в виде функции распределения температуры по сечению ограждающей конструкции. Теплотехнические характеристики материала наружных стен здания зависят от его конструктивного исполнения.

Запишем уравнение (3) для панельных зданий блочного типа со следующими характеристиками: толщина наружной стены - $\delta=0,35$ м, теплопроводность $\lambda=0,37$ Вт/(м К), коэффициент теплоотдачи на внутренней поверхности $\alpha_B=7,3$ Вт/(м²К) [3].

В результате преобразования уравнения нестационарной теплопроводности с помощью метода Фурье модель управления тепловым режимом помещения (3) будет иметь следующий вид

$$t_u(\tau) = 21,5 + 7,3 \cdot \frac{F_{cm1}}{\alpha_u F_u} \left(21,5 - t(0, \infty) - \sum_{i=1}^4 A_{i_{cm1}} \cdot e^{-ak_i^2(\tau-0,77)} \right) + 7,3 \cdot \frac{F_{cm2}}{\alpha_u F_u} \times$$

$$\times \left(21,5 - t'(0, \infty) - \sum_{i=1}^4 A_{i_{cm2}} \cdot e^{-ak_i^2(\tau-0,77)} \right) + \frac{k_{OK} \cdot F_{OK}}{\alpha_u F_u} (21,5 - t_H) + \frac{Q_{\text{вент}}}{\alpha_H F_H} + \frac{Q_{\Pi}}{\alpha_H F_H} \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^4 A_i \cdot e^{-ak_i^2(\tau-0,77)} = (t_B(0) + 1,5) \left(-0,716 \cdot 10^{-4} \cdot \alpha_H^2 + 3,59 \cdot 10^{-3} \cdot \alpha_H - 0,5297 \right) \times$$

$$\times 0,99965 \left[0,895 \cdot 10^{-3} \cdot \alpha_H^2 + 5,25 \cdot 10^{-2} \cdot \alpha_H + 22,36 \right]^2 \cdot (\tau - 0,77),$$

где F_{CT1}, F_{CT2} - площадь наружных стен, соответственно; $\sum_{i=1}^4 A_{i_{cm1}} \cdot e^{-ak_i^2(\tau-0,77)}$,

$\sum_{i=1}^4 A_{i_{cm2}} \cdot e^{-ak_i^2(\tau-0,77)}$ - коэффициенты, которые вычисляются для каждой стены, исходя из решения характеристического уравнения; $t'(0, \infty)$ - температуры на внутренней поверхности соответствующей стены. В момент времени $\tau=\infty$ ограждение достигает стационарного теплового состояния. Отсутствие одной из стен учитывается в уравнении (3) коэффициентом $A_{i_{cm2}}=0$.

В качестве примера рассмотрим здание типовой серии I-464А. Высота здания 15,04 м, длина - 52,5 м, ширина - 11,95 м.

В начальный момент времени (начало отопительного сезона) температура внутреннего воздуха в помещениях колебалась от 15-17 °С. За 4 часа при температуре источника от 45-56 °С температура внутреннего воздуха достигла 21,5 °С.

Изменение коэффициента теплоотдачи на наружных поверхностях здания при скорости ветра 5м/с под углом 90° к наветренной стороне представлено на рис.1 [4, 5].

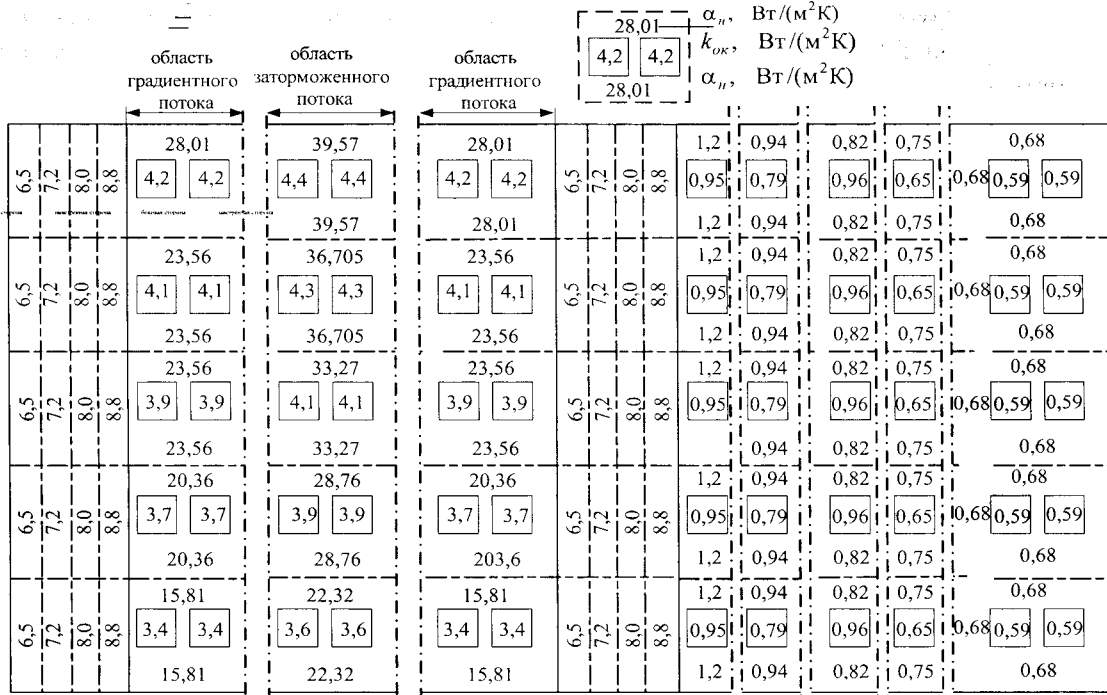


Рис. 1. Изменения коэффициента теплоотдачи и коэффициента теплопередачи по сторонам здания (Вт/(м²К))

Зная граничные условия на наружных поверхностях здания, согласно (3) можно определить температуру источника в каждом его помещении, (рис. 2).

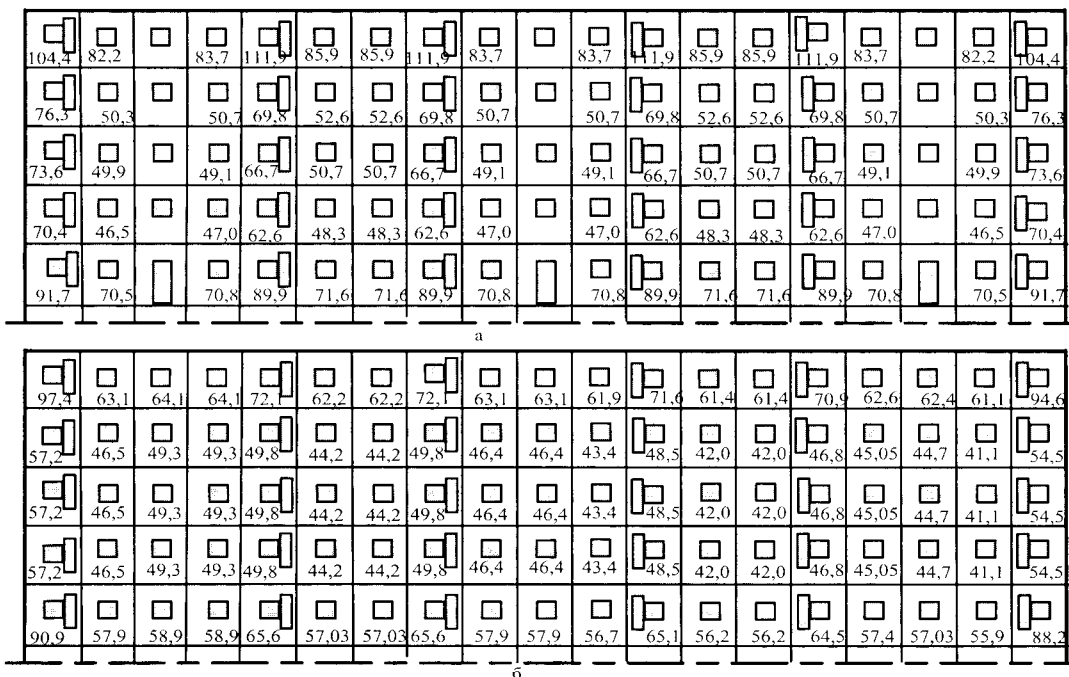


Рис. 2. Изменение температуры источника на наветренной (а) и заветренной (б) стороне здания при температуре наружного воздуха -15 °С.

Как следует из рис. 2, расположение помещения по высоте здания на заветренной боковой или наветренной стороне (последняя в свою очередь разделяется на область градиентного течения воздушного потока и область торможения) оказывает существенное влияние на температуру источника тепла. Изменение температуры источника тепла помещений, расположенных на последнем, первом и средних этажах, составляет более 12 °С при условии задания температуры внутреннего воздуха в помещениях $t_{в}=21,5$ °С. Это изменение определяется различными граничными условиями на внешних поверхностях ограждающих конструкций. В настоящее время при существующей системе отопления изменение температуры источника тепла помещений в жилых зданиях составляет 1,5 °С-3 °С, что приводит к недотопам помещений, расположенных на последнем, и перетопам помещений, расположенных на средних этажах здания.

Предложенная методика управления тепловым режимом зданий способствует обеспечению комфортных условий и позволяет снизить потребление тепла жилым сектором на 10-15 % [5].

Список литературы

1. Соколов Е. Я. Теплофикация и тепловые сети. М.: Госэнергоиздат, 1982. – 360 с.
2. Голощапов В. Н., Орлова Н. А. Выбор временного интервала изменения температуры наружного воздуха для системы управления отпуском тепла на ТЭЦ. // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2005. – № 4. – С. 58–62.
3. СНиП II.3.-79**. Строительная теплотехника. Госстрой СССР. М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986.
4. Маляренко В. А., Голощапов В. Н., Орлова Н. А. Условия однозначности в задачах управления тепловым режимом зданий // Коммунальное хозяйство городов. - Вып. 72. - 2006.
5. Маляренко В. А., Голощапов В. Н., Орлова Н. А. Моделирование теплообмена на наружных поверхностях ограждающих конструкций зданий // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – № 10, 2006. – С. 8–16.

BUILDING HEAT MODES ARE THE BASIS OF EFFECTIVE HEAT SUPPLY SYSTEM CONTROL

V. A. MALYARENKO, Dr. Tech. Scins
V. N. GOLOSHCHAPOV, Cand. Tech. Scins, N. A. ORLOVA

In the article the model of control for building heat modes with account of external meteorological conditions is presented. Connection of heat exchange coefficients for external building surface with wind speed and direction is shown, and the method for control of building heat mode is proposed.

ПОВІДОМЛЕННЯ

На підставі висновку експертних рад ВАК України з економічних наук та електротехніки і енергетики й постанови президії ВАК України від 04.07 2006 р. № 2-05/7 (Бюлетень ВАК України № 8^{'82} 2006 г.) наукові статті, опубліковані в журналі «Енергосбережение. Энергетика. Энергоаудит» зараховуються до основних публікацій за темою дисертацій на здобуття наукових ступенів доктора/кандидата наук за поданням спеціалізованої вченої ради, де захищається дисертація. Для цього в висновку комісії спеціалізованої вченої ради, призначеної для розгляду дисертаційної роботи, робиться відповідний запис – подання вченої ради.