

2. Установлено, что для круглого слитка, получаемого из стали 40Х, характерны меньшие толщины корок при одинаковых условиях охлаждения, чем для слитков из сталей Ст20 и ШХ15СГ. Причиной этих закономерностей являются различия в теплофизических свойствах сталей.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Моделирование влияния охлаждаемых и неохлаждаемых роликов на температуры и напряжения поверхности промышленного слитка в зоне вторичного охлаждения / А. Н. Чичко, Д. М. Кукуй, Н. В. Андрианов и др. // *Литье и металлургия*. – 2003. – № 3. – С. 131–138.
2. Компьютерная система «ПроНРС» и трехмерное моделирование распределения температур, напряжений и углерода в процессе непрерывной разливки стали / А. Н. Чичко, Д. М. Кукуй, В. Ф. Соболев и др. // *Литье и металлургия*. – 2002. – № 3. – С. 21–27.
3. О методах компьютерного анализа напряжений и деформаций трехмерной детали, подвергнутой термической обработке / О. И. Чичко, В. Ф. Соболев, Г. А. Анисович, А. Н. Чичко // *Вести НАН Беларуси*. – 2002. – № 4. – С. 24–29.
4. Численные расчеты температур и напряжений в кристаллизующемся слитке из стали 20ХНЗА размером 300×400 мм для различных условий охлаждения / А. Н. Чичко, Н. В. Андрианов, А. В. Демин и др. // *Литье и металлургия*. – 2004. – № 3. – С. 131–135.
5. Компьютерное моделирование на основе программы «ПроНРС-2» продольных напряжений в слитке, охлаждаемом плоскофакельными форсунками / А. Н. Чичко, Н. В. Андрианов, А. В. Демин и др. // *Литье и металлургия*. – 2004. – № 2. – С. 10–18.

Представлена кафедрой  
машин и технологий  
литейного производства

Поступила 5.01.2006

УДК 621.64:643

### **АНАЛИЗ ДАННЫХ СИСТЕМЫ УЧЕТА И АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ПЯТИ- И БОЛЕЕ ЭТАЖНЫХ ЖИЛЫХ ДОМОВ**

Канд. техн. наук, доц. ЛАТЫШОВ Ф. Р., инж. МАМАЕВ И. Р.

*Уфимский государственный институт сервиса*

Регулирование теплоснабжения жилых домов с использованием автоматических регуляторов – тема не новая в отечественной теплотехнической литературе. Апробация и исследование различных автоматических систем централизованного теплоснабжения началось в СССР в 1997 г. [1], а периодическое выборочное внедрение этих систем происходило в 1973–1978, 1982–1989 гг. [2].

Автоматические же системы теплоснабжения и учета потребления тепловой энергии нового поколения (в основном, иностранного производства) начали внедряться в России в широких масштабах с 1997 г. [3]. Спустя 5–6 лет был накоплен некоторый опыт эксплуатации этих новых систем, появились первые сообщения с попыткой анализировать полученные результаты.

Обзор литературы по анализу системы учета и автоматического регулирования теплоснабжения многоэтажных жилых домов свидетельствует о том, что большинство публикаций имеет три характерных недостатка.

1. Ни в одном из доступных нам исследований не применяется многофакторный корреляционный анализ с целью выявления решающих факторов, влияющих на результат экономии теплоты.

2. Феномен обогрева многоэтажного жилого дома с внутренними источниками теплоты и разветвленной системой растекания тепловых потоков до сих пор не имеет приемлемого теплотехнического описания посредством известных критериальных уравнений. В существующих методических указаниях строительных и теплоэнергетических организаций по расчетам необходимого количества теплоты имеются лишь простейшие полуэмпирические размерные соотношения, не учитывающие многих смежных взаимовлияющих факторов. Поэтому введение в этот круг жестко лимитированных стандартов проектирования отопления жилых домов, не учитывающих внутренних структурных влияний системных факторов и законов автоматического регулирования, ничем не может дополнить понимание динамики реальных утечек теплоты при автоматизированном управлении тепловыми потоками.

3. Экспериментальные данные, опубликованные в научной литературе, имеют крайне узкую направленность – они нацелены на решение только конкретных прикладных задач [4] и содержат мало информации по первичным измеренным величинам. Обычно приводятся лишь выборочные конечные результаты, подтверждающие ту или иную исходную гипотезу. Невозможно проверить экспериментальный материал или извлечь из него что-либо приемлемое для экстраполяции наших опытных данных. Вследствие этого трудно ориентироваться на чьи-либо результаты, а приходится рассчитывать в основном на результаты собственных экспериментов.

Определенную проблему при оценке эффективности экономии теплоты с помощью автоматизированных систем составляет нахождение проектного значения теплоподдачи  $Q_{\text{теор}}$  в жилые дома. С одной стороны, эта величина, выведенная в 60–70-е гг. XX в., является почти «секретным материалом» региональных проектных организаций, которую они категорически отказываются представлять исследовательским организациям. С другой стороны, это – расчетные значения, выведенные по объемам жилых зданий  $V_{\text{зд}}$  и нормативным коэффициентам тех лет [5], которые отражают лишь приближенные теплотопотери тогда еще новых зданий в тех климатических условиях и при тех строительных технологиях. Не секрет, что температурные климатические показатели 60-х гг. прошлого столетия средней полосы России были самыми низкими. В эпоху глобального потепления климатические условия изменились, и естественно, нужно отсекай «экономии теплоты», фиксируемую приборами за счет потепления зимы, от той части

теплосбережения, которая произошла подлинно за счет использования автоматизированной системы теплосбережения.

Учитывая это обстоятельство и отказавшись от нормативных значений 1960-х гг., мы осуществляли расчет  $Q_{\text{теор}}$  по той же объемной формуле, но с поправкой на реальную среднемесячную температуру (интегральное значение) в нашем регионе.

Первая группа наших опытных данных относится к 30 пятиэтажным домам одного из микрорайонов г. Стерлитамака Республики Башкортостан. Численные значения фактических тепловых затрат по этим домам были сняты с показаний автоматических приборов датской системы теплоснабжения «Данфосс» [5] за 30 декабрьских дней 2003 г. Средняя температура воздуха (по данным метеослужбы) в то время в Стерлитамаке составляла  $-4,1$  °С.

Из 36 различных параметров, характеризующих условия теплоснабжения и теплопотерь жилых домов, периодически учитываемых ОАО «Башкоммунприбор», в качестве возможных параметров для корреляционного анализа были выбраны 19 показателей. Оценив их возможный весовой вклад в теплообмен дома и учтя некоторые избыточные параметры, которые могли войти в смежные показатели, мы отобрали 10 наиболее важных и не дублирующих другие показатели, параметров:  $A_1$  – толщина стен;  $A_2$  – коэффициент остекления  $K_0$ ;  $A_3$  – доля объема подъездов  $K_{\text{п}}$ ;  $A_4$  – расчетная тепловая нагрузка  $N_{\text{теор}}$ ;  $A_5$  – фактическая тепловая нагрузка  $N_{\text{ф}}$ ;  $A_6$  – общая площадь здания  $S_{\Sigma}$ ;  $A_7$  – удельное энергопотребление на одного жителя дома  $Q$ ;  $A_8$  – удельное теплопотребление на  $1 \text{ м}^2 Q$ ;  $A_9$  – среднее термосопротивление стен  $R_{\Sigma}$ ;  $A_{10}$  – коэффициент энергетической затратности автоматизированного отопления здания (КЭЗАОЗ). В табл. 1 приводятся указанные показатели для трех исследованных домов г. Стерлитамака из нашего массива данных.

Таблица 1

Показатели  $A_1$ – $A_{10}$  для трех домов г. Стерлитамака

Адрес	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$	$A_5$	$A_6$	$A_7$	$A_8$	$A_9$	$A_{10}$
Ул. Коммунистическая, д. 13	650	0,3053	0,0778	0,2952	0,1812	6002,9	767,8	30,19	0,9253	0,6138
Ул. Коммунистическая, д. 35	650	0,2018	0,0943	0,2991	0,1846	618,4	732,5	29,83	0,9974	0,6171
Пр. Октября, д. 18	300	0,2077	0,0899	0,3675	0,2004	6167	670,2	32,50	0,9931	0,5453

Опытные данные были обработаны с помощью прикладной компьютерной программы Statistical Package for Social Science (SPSS-2002), версия 11, использующей математический аппарат матричной трансформации данных, всеобъемлющего многофакторного сопоставления и выявления взаимной корреляции всех параметров. Для наиболее очевидных взаимосвязей коррелирующих параметров компьютер выдает готовые уравнения (в виде линейных полиномов), показывающие взаимосвязь интересующих нас величин.

В первую очередь нас интересовало влияние факторов  $A_1$ – $A_9$  на фактор  $A_{10}$ . Например, компьютер выдал такое регрессионное уравнение

$$A_{10} = 0,01156 + 1,294A_5 + 0,00988A_8. \quad (1)$$

Аппроксимационная формула (1) на 79 % охватывает массив исходных данных.

Были проанализированы внутривидовые (углубленные) частные корреляции выявленных зависимостей. Например, зная, что  $A_5$  слабо коррелирует с  $A_8$ , в определенных реперных условиях были изучены более тонкие влияния (при условиях равного воздействия  $A_5$  и  $A_8$ ) параметров  $A_1$  и  $A_7$  на показатель  $A_{10}$

$$A_{10} = 0,148 - 0,0002055A_1 + 0,000812A_7. \quad (2)$$

Так как  $A_5$  – фактическая тепловая нагрузка, входящая в показатель  $A_{10}$ , основной интересующий нас параметр – величина  $A_7$ . Но это величина размерная, что не совсем удобно для последующих обобщений. Поэтому, если ее разделить на мощность теплового излучения тела взрослого человека, находящегося на морозе вне здания (350 Вт [7]), то более удобной будет величина  $\bar{Q}_i$ , которую мы назвали величиной индивидуальной теплокомфортности здания. На рис. 1 показаны опытные точки и обобщающая прямая линии зависимости  $A_{10} = f(\bar{Q}_i)$  для исследованных пятиэтажных домов.

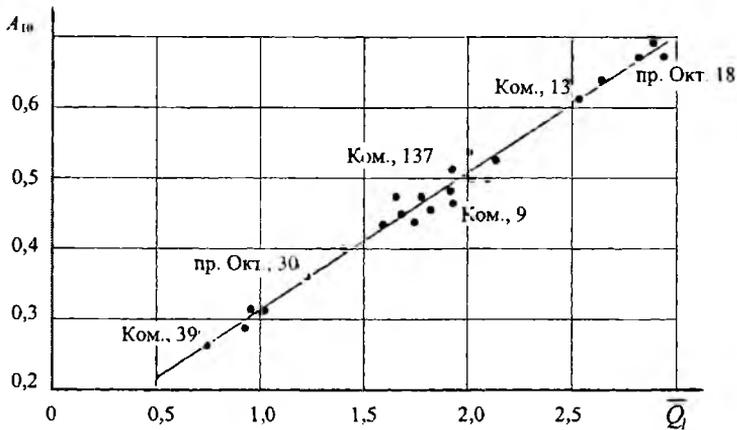


Рис. 1. Обобщение опытных данных по пятиэтажным домам

На рис. 1 опытные точки по параметру  $Q_i$  находятся в интервале от 0,724 (ул. Коммунистическая, 39) до 2,948 (ул. Коммунистическая, 11). Нижняя и верхняя точки этого графика замыкают границы опытных точек по самому экономичному и энергозатратному вариантам работы системы автоматического теплоснабжения «Данфосс» применительно к исследуемым пятиэтажным домам.

Обобщающая прямая на рис. 1 с достаточной точностью описывается линейным уравнением

$$A_{10} = 0,1275 + 0,1907Q_i. \quad (3)$$

Далее факторный анализ опытных данных по программе SPSS позволил вычлнить важнейший определяющий критерий эффективности теплосбережения  $\varepsilon$  ( $\varepsilon = 1/A_{10}$ ). Им оказался модифицированный с учетом компьютерных корреляций критерий подобия В. В. Померанцева

$$Po_3 = \frac{\bar{Q}_{расч}^3}{\Delta T_{ср} k_{ср} F_{бок}} I_v^2, \quad (4)$$

где  $\bar{Q}_{расч} = Q_{расч}/S_{осн}$ ;  $I_v = V_{зд}/F_{бок}$ . Здесь  $\Delta T_{ср}$  – среднемесячный перепад температур между температурой в жилых комнатах  $T_v$  и снаружи здания  $T_{нв}$ ;  $k_{ср}$  – средний коэффициент теплопередачи боковых стен здания с учетом остекления;  $F_{бок}$  – площадь боковой поверхности здания;  $V_{зд}$  – внешний объем здания;  $S_{осн}$  – площадь основания здания.

С помощью (4) нами была обработана вторая группа опытных данных, относящихся к 9-этажным жилым домам городов Салават и Белорецк Республики Башкортостан, в которых использовались системы учета и автоматического регулирования теплоснабжения фирмы «Данфосс» в отопительной период (февраль – март) 2005 г. Во всех автоматических системах применялся адаптированный ПИ-регулятор Р30 со стандартной SIM-картой, имевшей единый режим настройки сервисных параметров.

На рис. 2 показан график, обобщающий вторую группу опытных данных с помощью приведенного выше модифицированного критерия подобия Померанцева.

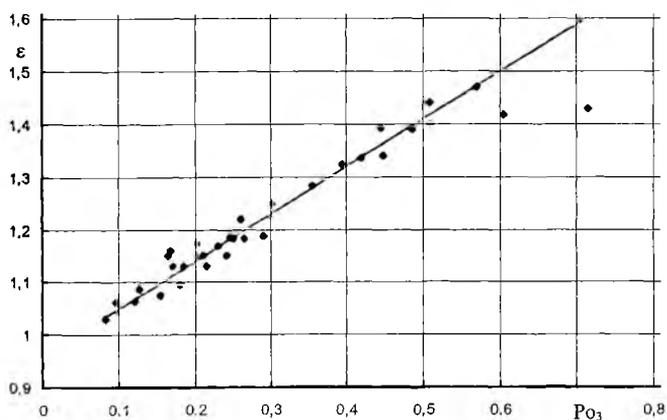


Рис. 2

Обобщающая прямая на рис. 2 соответствует линейной зависимости

$$\varepsilon = 0,96 + 0,9Po_3. \quad (5)$$

Таким образом, интегральный показатель воздействия  $\varepsilon$  автоматического регулятора на систему теплоснабжения многоэтажного жилого дома оказывается пропорциональным теплофизическому критерию подобия Померанцева, учитывающему универсальные закономерности дивергенции тепловых потоков внутризданного класса строительных конструкций.

## ВЫВОДЫ

1. Многофакторный корреляционный анализ экспериментальных данных по использованию энергосберегающей автоматической системы «Данфосс» на примере пятиэтажных жилых домов г. Стерлитамака показывает, что решающим фактором, влияющим на эффективность теплоснабжения, является величина индивидуальной теплокомфортабельности здания  $\bar{Q}_1$  (фактор  $A_7$ ). Для семи- и более этажных домов решающими факторами являются фактор  $A_8$  и критерий подобия В. В. Померанцева.

2. Отличие в решающих факторах пяти- и более этажных зданий, по-видимому, связано с принципиальным различием в движении тепловых потоков внутри и снаружи этих типов зданий.

3. Для более глубокого понимания механизмов взаимодействия тепловых потоков жилых многоэтажных домов и автоматики регулирования теплоносителя требуются дополнительные широкомасштабные модельные (экспериментальные и теоретические) исследования [8] с привлечением данных по домам повышенной этажности, в различных погодных условиях, при заданной дискретной вариации параметров  $A_1$ – $A_{10}$ . Обобщение опытных данных целесообразно осуществлять с помощью модифицированного критерия подобия Померанцева  $Р_{03}$ .

## ЛИТЕРАТУРА

1. Чистович С. А., Соловей Б. Н. Автоматическое регулирование температурного режима отапливаемых помещений. – М.: Изд-во МКХ, 1959. – 250 с.
2. Туркин В. П. Водяные системы отопления с автоматическим управлением для жилых и общественных зданий. – М.: Стройиздат, 1976. – 136 с.
3. Казаков Ю. Н., Баритко Д. Я., Кунакович А. И. Учет тепловой энергии и теплоносителя – одно из важнейших направлений реформирования коммунального хозяйства // Теплоснабжение. – 1997. – № 3 (6). – С. 3–4.
4. Ш и ш к и н А. В. Определение потерь тепла в сетях централизованного теплоснабжения // Теплоэнергетика. – 2003. – № 9. – С. 68–74.
5. О т о п л е н и е, вентиляция: Учебн. для вузов / В. П. Каменов. – М.: Стройиздат, 1975. – Ч. I. – 480 с.
6. О б о р у д о в а н и е фирмы «Данфосс» для систем инженерного обеспечения зданий. – 2003. – 42 с. (см. также дополн. разделы: Принципы регулирования контура отопления: Принципы разрешения нештатных ситуаций в системах с погодными компенсаторами ECL Comfort).
7. К у р ы л ё в Е. С. и др. Холодильные установки. – 2-е изд. – СПб.: Политехника, 2002. – 576 с.
8. М а м а е в И. Р., Л а т ы п о в Ф. Р., Е н и к е е в Т. И. Теоретические и прикладные проблемы моделирования теплообмена в многоэтажных жилых домах при автоматическом регулировании подачи теплоносителя // Энергоэффективность. Проблемы и решения: Тез. докл. науч.-практ. конф. (V Российский энергетический форум, XI междунар. специализир. выставка «Энергетика Урала-2005»). – Уфа: Изд-во ИПТЭР, 2005. – С. 92–94.

Представлена кафедрой машин  
и аппаратов бытового назначения

Поступила 15.11.2005