

Т88

НОВОСИБИРСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ИНЖЕНЕРНО-  
СТРОИТЕЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ имени В.В.КУЙБИШЕВА

На правах рукописи

ТУРКИН Пётр Вадимович

УДК 697.1

КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ РАЦИОНАЛЬНОГО РАСХОДА ТЕПЛОТЫ НА СОХРАНЕНИЕ  
С ЗАДАННОЙ НАДЕЖНОСТЬЮ ТЕПЛОВЫХ УСЛОВИЙ В ЖИЛОМ ПОМЕЩЕНИИ  
ПРИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЕ ОТОПЛЕНИЯ

Специальность 05.23.03 - "Теплоснабжение, вентиляция,  
кондиционирование воздуха, газо-  
снабжение, акустика и осветитель-  
ная техника"

Автореферат  
диссертации на соискание учёной степени  
кандидата технических наук

Новосибирск - 1988

Работа выполнена в Челябинском политехническом институте имени Ленинского комсомола.

Научный руководитель - доктор технических наук, профессор  
ЧИСТОВИЧ С.А.,

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор  
РЫМКЕВИЧ А.А.,  
кандидат технических наук  
ДАВЫДОВ Р.Н.

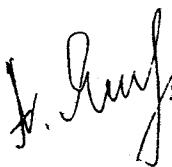
Ведущая организация - Центральный научно-исследовательский  
и проектно-экспериментальный инсти-  
тут инженерного оборудования городов  
(г.Москва)

Защита состоится "26" января 1988 г. в 15 часов на за-  
седании специализированного совета К 064.04.02 по присуждению  
учёной степени кандидата технических наук в Новосибирском орде-  
на Трудового Красного Знамени инженерно-строительном институте  
имени В.В.Куйбышева по адресу: 630008, г.Новосибирск, ул. Ленин-  
градская, 113, ауд. 406.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Автореферат разослан " \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 1987 г.

Учёный секретарь специализиро-  
ванного совета кандидат техни-  
ческих наук, доцент

 ЯНЕНКО А.П.

- 0947600

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В соответствии с энергетической программой СССР особую актуальность приобретает экономичность теплоснабжения, которое потребляет примерно 600 млн т условного топлива или около 30% первичных топливно-энергетических ресурсов.

Система централизованного теплоснабжения (С.Ц.Т.) в обозримом будущем останется основным видом теплоснабжения нашей страны.

Госстрой СССР в письме от 1 августа 1986 г. уведомил Госстрой союзных республик, Минжилкомхозы союзных республик и проектные институты, что в "проектах на строительство и капитальный ремонт объектов жилищно-гражданского назначения с расчётным расходом теплоты за отопительный период 1000 ГДж и более следует предусматривать автоматическое регулирование теплоты".

Таким образом, средства автоматизации становятся неотделимой частью систем отопления жилых зданий. Расход теплоты на отопление жилого здания в конечном счёте определяется суммой её расходов в каждом помещении.

Поэтому решение задачи организации оптимального режима отопления здания в целом должно базироваться на решении задачи организации оптимального режима отопления помещения.

Настоящая работа посвящена решению проблемы сокращения расхода теплоты и повышению качества отопления жилых зданий при автоматизированной системе отопления (АСО) в условиях централизованного теплоснабжения (Ц.Т.).

Целью работы является поиск алгоритма решения задачи сокращения расхода теплоты и повышения качества отопления путём оптимизации режима отопления жилого помещения средствами САР в условиях централизованного теплоснабжения.

При этом ставятся следующие задачи.

1. Обосновать и разработать критерии оценки рационального расхода теплоты на сохранение с заданной надёжностью тепловых условий в жилом помещении.

2. Сформулировать особенности жилого помещения как объекта регулирования и условия, необходимые для организации оптимального режима отопления средствами САР.

3. Определить экспериментально факторы, существенно влияющие на расход теплоты и надёжность сохранения заданных тепловых условий в жилом помещении.

4. Оценить эффективность применения предложенных критериев.

5. Исследовать возможности применения метода математического моделирования процессов нестационарного теплообмена в системе "внешняя среда - жилое помещение" для решения задачи оптимизации режима отопления жилого помещения.

Научная новизна работы состоит во введении понятия "функции распределения" длительности отклонений температуры воздуха в помещении  $f(\Delta t_{\theta})$  от её заданного значения  $t_{\theta,з}$ , как интегральной оценки эффективности работы АСО за отопительный сезон и в разработке на её основе критериев сценки рационального расхода теплоты для сохранения с заданной надёжностью тепловых условий в жилом помещении.

В работе впервые:

1) сформулированы особенности жилого помещения как объекта регулирования в системе "внешняя среда - жилое помещение - С.Ц.Т.";

2) для характеристики режима работы С.Ц.Т. как элемента САР введено понятие степени обеспеченности процесса регулирования;

3) экспериментально установлены факторы, существенно влияющие на расход теплоты и надёжность сохранения заданных тепловых условий;

4) определены два условия, необходимые для организации оптимального режима отопления жилого помещения средствами САР в системе "внешняя среда - жилое помещение - С.Ц.Т.";

5) установлено, что в условиях С.Ц.Т. и нормированного отпуска теплоты задаваемые в настоящее время зоны нечувствительности А.Р., симметричные относительно заданного значения температуры воздуха в помещении, не обеспечивают рациональный расход теплоты при двухпозиционном законе регулирования;

6) установлено, что применение предложенных критериев в решении задачи организации оптимального режима отопления жилого помещения позволяет сократить расход теплоты на 4-9,5% (в зависимости от метеорологических условий эксплуатации) и повысить надёжность сохранения заданных условий более, чем в два раза;

7) показано, что метод математического моделирования процессов нестационарного теплообмена может быть использован в решении задачи повышения эффективности применения автоматизированных систем отопления при условии уточнения параметров модели методом идентификации по экспериментальным данным;

8) предложен алгоритм решения задачи сокращения расхода теплоты и повышения качества отопления жилого помещения при АСО в конкретных условиях эксплуатации, который состоит в определении совместных оптимальных режимов работы С.Ц.Т. и системы отопления средствами САР.

Практическая ценность. 1. Определены условия, необходимые для организации оптимального режима отопления жилого помещения средствами САР в системе "внешняя среда - жилое помещение - С.Ц.Т."

2. Установлено, что в условиях С.Ц.Т. и нормированного оттока теплоты задаваемые в настоящее время зоны нечувствительности А.Р., симметричные относительно заданного значения температуры воздуха в помещении, не обеспечивают рациональный расход теплоты при двухпозиционном законе регулирования.

3. Установлено, что применение предложенных критериев в решении задачи организации оптимального режима отопления жилого помещения позволяет сократить расход теплоты на 4-9,5% (в зависимости от метеорологических условий эксплуатации) и повысить надёжность сохранения заданных условий более, чем в два раза.

4. Показано, что метод математического моделирования процессов нестационарного теплообмена может быть использован в решении задачи повышения эффективности применения автоматизированных систем отопления при условии уточнения параметров модели методом идентификации по экспериментальным данным.

5. Предложен алгоритм решения задачи сокращения расхода теплоты и повышения качества отопления жилого помещения при АСО в условиях С.Ц.Т. в конкретных условиях эксплуатации, который состоит в определении совместных оптимальных режимов работы С.Ц.Т. и системы отопления средствами САР.

Реализация результатов работы. Результаты работы включены в техническое задание на опытно-конструкторскую работу института ЦИРИ "Устройство регулирующее", на основании которого разработаны технические условия ТУ 25-7430.006-86 на "Устройство регулирующее пропорционально-интегральное РИЭ ПИ", зарегистрированное в Челябинском центре стандартизации и метрологии за № 074/4042 от 01.08.1986 г.

Ожидаемый эффект: дополнительное сокращение расхода теплоты от одного до трёх процентов и повышение надёжности сохранения заданных тепловых условий в жилых помещениях.

Апробация работы. Основные результаты работы доложены и обсуждены на следующих семинарах, конференциях и совещаниях: научно-технических конференциях и семинарах молодых учёных и специалистов ЧПИ им. Ленинского комсомола (г. Челябинск, 1973...86 г.г.); краевой научно-технической конференции (г. Владивосток, 1975 г.); на республиканской конференции "Теплоснабжение жилых и общественных зданий" (г. Москва, 1974 г.); республиканской конференции "Автоматизация систем водяного отопления жилых и общественных зданий при централизованном теплоснабжении по работам института "Челябинскгражданпроект", ЧПИ и др. организаций" (г. Москва, 1974 г.); на всесоюзной конференции по микроклимату (г. Челябинск, 1975 г.); на всесоюзном совещании "Прогрессивные системы тепло-холодо-снабжения и вентиляции жилых и общественных зданий" (г. Челябинск, 1983 г.), а также результаты работы докладывались на научном семинаре кафедры отопления и вентиляции МИСИ им. Куйбышева (г. Москва, 1985 г.), ВНИИГС (г. Ленинград, 1986 г.), на кафедре теплогазоснабжения и вентиляции НИСИ им. Куйбышева (г. Новосибирск, 1986, 1987 г.г.).

По теме диссертации опубликовано 25 печатных работ.

Объём работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, выводов и заключения, списка использованной литературы и приложения. Изложение на 170 страницах, в том числе 30 рисунков, 5 таблиц, приложение на 7 страницах. Библиография включает 105 наименований на 11 страницах.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе изложены современные представления о тепловых комфортных условиях в жилом помещении. Рассмотрены современные отопительные приборы, системы отопления и требования, предъявляемые к ним. Изложен опыт эксплуатации АСО. Составляющие системы "внешняя среда - жилое помещение - С.Ц.Т." определены как элементы САР. Определены цель и задачи исследований.

Вторая глава посвящена обоснованию и разработке критериев оценки работы АСО, определению особенностей жилого помещения как объекта регулирования и экспериментальному определению факторов, влияющих на расход теплоты и качество отопления.

Рассмотрим изменение  $t_{\text{в}}$  в помещении при АСО в условиях централизованного теплоснабжения в системе "внешняя среда - жилое помещение - С.Ц.Т.". В течение отопительного сезона физические

свойства жилого помещения неизменны, САР реализует неизменный принцип и закон регулирования, режим работы С.Ц.Т. управляем, изменение параметров внешней среды носит случайный характер. Следовательно, изменение температуры воздуха в помещении также будет носить случайный характер.

Пусть длительность отопительного сезона  $\tau_0$ , длительность пребывания  $\Delta t_B$  в произвольном интервале  $d(\Delta t_B) \cdot \tau_0$ . Тогда  $\frac{\tau}{\tau_0}$  - есть вероятность того, что в произвольный момент времени отопительного сезона  $\Delta t_B$  будет находиться в интервале  $d(\Delta t_B)$ . По определению функции распределения случайных величин  $\frac{\tau}{\tau_0} = \int f(\Delta t_B) \cdot d(\Delta t_B)$ . удовлетворяет очевидному условию нормирования:

$$\int_{\Delta t_B \min}^{\Delta t_B \max} f(\Delta t_B) \cdot d(\Delta t_B) = \frac{\tau}{\tau_0} = 1$$

Введение понятия  $f(\Delta t_B)$  даёт возможность рассчитать: 1) коэффициент надёжности (вероятность появления  $\Delta t_B$ ) для любого температурного интервала

$$K = \int_{\Delta t_B \min}^{\Delta t_B \max} f(\Delta t_B) \cdot d(\Delta t_B)$$

2) среднее значение  $\langle \Delta t_B \rangle$  за время  $\tau_0$ :

$$\langle \Delta t_B \rangle = \int_{\Delta t_B \min}^{\Delta t_B \max} \Delta t_B \cdot f(\Delta t_B) \cdot d(\Delta t_B)$$

Человек ощущает изменение температур в пределах от  $0,5^\circ$  до  $1^\circ$ . Тепловые условия в помещении не могут меняться мгновенно, поэтому можно считать, что изменение  $t_B$  в помещении на  $0,5^\circ$  человеком ощущаться не будет.

Если в течение отопительного сезона  $\Delta t_B$  находилась в диапазоне  $0^\circ \dots -0,5^\circ$  или  $0^\circ \dots +0,5^\circ$ , то изменения тепловых условий человек ощущать не будет ( $K = 1$ ).

Диапазон отклонений  $-0,5^\circ \dots +0,5^\circ$  будем называть зоной сохранения заданных тепловых условий. Интервал отклонений  $\delta(\Delta t_B) = 0,5^\circ$  выбранный в зоне сохранения заданных тепловых условий, исходя из принципа максимальной гарантии достоверности результатов оценки, будем называть оценочным интервалом (рис. I).

На основании вышесказанного будем считать: если коэффициент надёжности сохранения заданных тепловых условий в оценочном интервале  $K = 1$ , то заданные условия сохраняются абсолютно надёжно. Если  $0,9 \leq K < 1$ , то заданные тепловые условия сохраняются надёжно. Если  $0,7 \leq K < 0,9$ , то заданные тепловые условия сохраняются устойчиво. Если  $0,5 \leq K < 0,7$ , то заданные тепловые условия сохраняются неустойчиво. Если  $K < 0,5$ , то заданные тепловые условия не сохраняются.

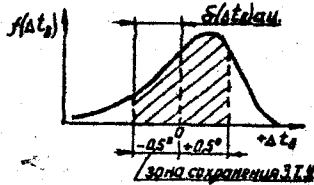


Рис. I

будем считать, что если  $\langle \Delta t_B \rangle \leq 0$ , то теплота расходуется рационально. Необходимым условием для решения основной задачи САУ является условие инвариантности (независимости регулируемой величины от возмущающих воздействий). АСО - системы зависимые. Они могут решать задачу регулирования только в том случае, если С.Ц.Т. обеспечит САУ инвариантность по отношению к отрицательным возмущающим воздействиям (-В.В.), а соотношение параметров внешней среды обеспечит инвариантность по отношению к положительным возмущающим воздействиям (+В.В.). Чтобы характеризовать режим работы С.Ц.Т. как элемента САУ, обеспечивающего возможность организации оптимального режима отопления, введём понятие степени обеспеченности процесса регулирования (СОПР), которую будем характеризовать коэффициентом обеспеченности процесса регулирования ( $\beta$ )

$$\beta = \frac{Q_{max}}{Q_H}$$

где  $Q_{max}$  - максимальное количество теплоты, которое может быть передано отопительным прибором жилому помещению в данный момент времени;  $Q_H$  - необходимое количество теплоты, которое должно быть передано помещению для сохранения заданного значения  $t_B$  в данный момент времени. Тогда условие инвариантности в течение отопительного сезона можно записать  $\beta \geq 1$ . СОПР можно также характеризовать разностью между максимально достижимой и заданной температурой ( $t_{B3}$ ). В этом случае условие инвариантности можно записать

$$\Delta t_{пер} = t_{B max} - t_{B3}$$

Процесс управления тепловыми условиями в помещении - чередующиеся процессы его нагревания и охлаждения. Поэтому факторы, существенно влияющие на характер изменения  $t_B$  в этих процессах, будут определять вид  $f(\Delta t_B)$ . Чтобы установить эти факторы, было проведено экспериментальное исследование жилого помещения, оснащённого бетонной отопительной панелью, совмещённой с внешним ограждением. На рис.2 показано изменение  $t_B$  при нанесении максимального импульсного положительного регулирующего воздействия (+Р.В. - практически мгновенного включения системы отопления) при различной СОПР. Видно, что характер изменения и длительность запаздывающей реакции  $t_B$  на +Р.В. зависит от СОПР. На рис.3 показана зависимость средней за 4 часа разности  $\langle (t_B - t_H) \rangle$  при нанесении макси-



мального отрицательного импульсного регулирующего воздействия. Эксперименты 1,2,3,4,5 проводились в безветреную, а эксперименты 6,7,8,9,10 - в ветреную погоду. На рис.4 показан характер изменения  $t_b$  в экспериментах I и 10.

Исследования также показали, что вид  $f(\Delta t_b)$  за отопительный сезон будет определяться не только режимом работы С.Ц.Т., метеорологическими условиями эксплуатации, но и теплофизическими свойствами и конструктивными особенностями отопительного прибора.

Третья глава посвящена оценке эффективности применения предложенных критериев на примере двухпозиционного закона регулирования. В ней: 1) определено условие, необходимое для организации средствами САР рационального расхода теплоты; 2) решена задача организации рационального расхода теплоты на сохранение тепловых условий в экспериментальном помещении в конкретных условиях эксплуатации с заданной надёжностью; 3) произведена оценка эффективности применения предложенных критериев.

При двухпозиционном законе регулирования значения  $t_b$ , при которых производятся +Р.В. и -Р.В., задаются зоной нечувствительности А.Р.(ЗНАР). Температурный интервал ЗНАР можно изменять, задавая в зависимости от конкретных условий эксплуатации и характеристик А.Р.:  $-0,5^\circ \dots +0,5^\circ$ ,  $-1^\circ \dots +1^\circ$  и т.д. ЗНАР, которая соответствует положительным значениям  $\Delta t_b$ , будем называть положительной зоной (+ $\Delta t_b$ ), а зону, которая соответствует отрицательным значениям  $t_b$ , будем называть отрицательной (- $\Delta t_b$ ). Для удобства анализа СОПР будем характеризовать значением  $\Delta t_{пер}$ . Определим, как сказывается изменение

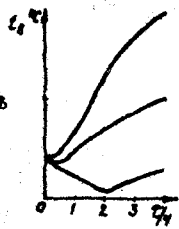


Рис.2

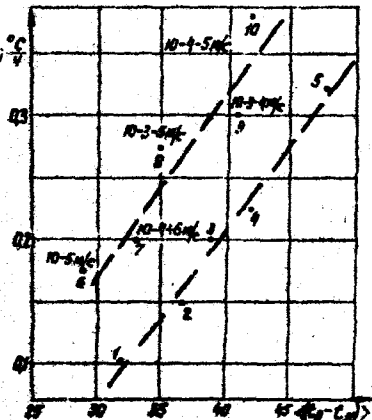


Рис.3

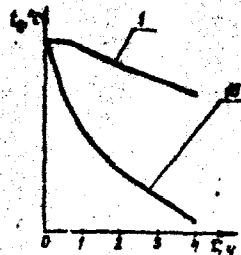


Рис.4

соотношения величин  $\Delta t_{пер}$  и  $+ \Delta t_g$  на расход теплоты.

Принципиально возможны три варианта соотношений: 1)  $\Delta t_{пер} = + \Delta t_g$ ; 2)  $\Delta t_{пер} > + \Delta t_g$ ; 3)  $\Delta t_{пер} < + \Delta t_g$ . Анализ возможных вариантов показывает, что экономный режим отопления может быть организован только при условии, если  $\Delta t_{пер} \geq + \Delta t_g$  (1). В случае, если это условие не соблюдается, температура воздуха в помещении, достигнув значения  $\Delta t_{пер}$ , будет непредсказуемо долго находиться в интервале отклонений  $\Delta t_{пер} \dots + \Delta t_g$  до тех пор, пока в результате поступления в помещение теплоты солнечной радиации и бытовых процессов отклонение  $\Delta t_g$  не станет равным  $+ \Delta t_g$ . Режим работы системы отопления, при котором теплота источника теплоснабжения, бытовых процессов и солнечной радиации неопределённо долгое время неоправданно тратится на сохранение температуры воздуха, выше заданного значения, нельзя считать рациональным.

В условиях С.Ц.Т. при нормированном отпуске теплоты степень обеспеченности процесса регулирования характеризуется величиной  $\Delta t_{пер} \approx 0$ . Исходя из условия (1), экономный расход теплоты возможен, если  $+ \Delta t_g = 0$ . Значит, задаваемые в настоящее время зоны нечувствительности А.Р., симметричные относительно заданного значения температуры воздуха в помещении, например,  $-1^\circ \dots +1^\circ, -0,5^\circ \dots +0,5^\circ$  не позволяют организовать расход теплоты рационально.

Чтобы организовать оптимальный режим отопления жилого помещения средствами САР при двухпозиционном законе регулирования, необходимо соблюдать в процессе эксплуатации два условия:

1) условие, определяющее режим работы С.Ц.Т.  $\Delta t_{пер} \geq 0$  (условие инвариантности);

2) условие совместных режимов работы С.Ц.Т. и САР  $\Delta t_{пер} \geq + \Delta t_g$

Если эти два условия выполняются, то дальнейшее решение задачи организации оптимального режима отопления средствами САР при двухпозиционном законе регулирования в конкретно заданных условиях эксплуатации сводится к нахождению такого соотношения положительной и отрицательной зоны нечувствительности А.Р., которое обеспечит наиболее экономный расход теплоты на сохранение тепловых условий с заданной надёжностью.

Расход теплоты источника теплоснабжения (И.Т.) на обогрев жилых помещений может быть сокращён за счёт: 1) более рациональной организации расхода теплоты непосредственно И.Т.; 2) более рациональной организации расхода теплоты бытовых процессов; 3) более рациональной организации расхода теплоты солнечной радиации. Ограничиваясь

численной оценкой возможности сокращения расхода по первым двум пунктам.

1. Если известен диапазон изменения СОПР и диапазон изменения метеорологических условий в период эксплуатации, то, зная изменение  $t_g$  при нанесении +Р.В. и -Р.В. в предельных условиях эксплуатации, можно определить изменение  $t_g$  в "предельных" регулировочных циклах. Эти "предельные" варианты возможного изменения  $t_g$  назовём контрольными. Обеспечив рациональный расход теплоты и сохранение тепловых условий в контрольных циклах, мы тем самым обеспечим рациональный расход теплоты и тепловые условия с заданной надёжностью во всех возможных вариантах. Разбив температурный интервал изменения  $t_g$  в контрольных циклах на достаточно малые интервалы  $\delta(\Delta t_g)$  и определив длительность существования  $\Delta t_g$  в каждом  $i$ -ом интервале, не трудно найти вид  $f(\Delta t_g), K, \langle \Delta t_g \rangle$  за время цикла  $t_n$ . Изменяя значения  $(-\Delta t_g) \dots (\Delta t_g)$  и оценивая результаты регулирования в контрольных вариантах, можно определить оптимальное соотношение ЭНАР. Так была решена задача организации рационального расхода теплоты на абсолютно надёжное сохранение заданных тепловых условий в экспериментальном помещении в конкретных условиях эксплуатации, заданных метеорологическими условиями проведения экспериментов при  $\Delta t_{пер} = 0,2 \dots 1^\circ$  и  $t_{в.з} = 20^\circ\text{C}$ . Считалось, что: 1) расход теплоты при ЭНАР  $-0,5 \dots +0,5^\circ$  и  $\Delta t_{пер} = 1^\circ$  равен 100%; 2) длительность существования различных метеоусловий за период эксплуатации одинакова. Данные расчёта приведены в таблицах I и 2.

Таблица I

$$\Delta t_{пер} = 1^\circ, t_{в.з} = 20^\circ\text{C}, \langle t_n \rangle = -20^\circ\text{C}$$

З.Н.А.Р.	$\langle \Delta t_g \rangle$	$\langle t_g - t_n \rangle$	%	$\Delta \%$	K
$-0,5^\circ \dots +0,5^\circ$	-0,08	39,92	100	0	0,37
$-0,5^\circ \dots 0^\circ$	-0,28	39,72	99,5	0,5	0,95
$-0,4^\circ \dots 0^\circ$	-0,22	39,76	99,6	0,4	1,00
$-0,3^\circ \dots 0^\circ$	-0,20	39,80	99,7	0,3	1,00

Таблица 2

$$\Delta t_{пер} = 0,2^\circ, t_{в.з} = 20^\circ\text{C}, \langle t_n \rangle = -20^\circ\text{C}$$

З.Н.А.Р.	$\langle \Delta t_g \rangle$	$\langle t_g - t_n \rangle$	%	$\Delta \%$	K
$-0,5^\circ \dots 0^\circ$	-0,22	39,78	99,60	0,40	0,82
$-0,4^\circ \dots 0^\circ$	-0,25	39,75	99,57	0,43	0,96
$-0,3^\circ \dots 0^\circ$	-0,19	39,81	99,72	0,28	1,00

По данным /2/ соотношение теплоты бытовых процессов и теплопотерь помещения в зависимости от  $t_n$  можно представить таблицей 3.

Таблица 3

$t_n, ^\circ\text{C}$	-30	-20	-17	0	+10
%	7,5	9,5	12,5	19	38

Будем считать, что при ЭНАР  $-0,5^\circ \dots +0,5^\circ$  и  $\Delta t_{\text{пер}} = 1^\circ$  вероятность поступления в помещение теплоты бытовых процессов в температурных интервалах выше и ниже заданного значения  $t_{в.з.}$  одинакова.

Тогда половина теплоты бытовых процессов тратится на сохранение  $t_{в.з.}$ , а половина - на сохранение  $t_{в.з.} + 0,5^\circ$ . Значит, при рациональном организовании расхода теплоты И.Т. (в нашем случае при ЭНАР  $-0,5^\circ \dots 0^\circ$ ,  $-0,4^\circ \dots 0^\circ$ ,  $-0,3^\circ \dots 0^\circ$ ) расход теплоты сократится за счёт более рационального расхода теплоты бытовых процессов на 4,75%, а в целом за счёт рациональной организации <sup>расхода</sup> теплоты более, чем на 5%.

В четвёртой главе дан обзор существующих в настоящее время моделей нестационарного теплообмена в системе "внешняя среда - жилое помещение - С.П.Т.", сформулированы соответствующие крайние задачи. Ввиду невозможности аналитического и практически непреодолимых трудностей численного решения этих сопряжённых граничных задач, проанализированы возможности их упрощения путём введения дополнительных приближений. Целью такого анализа является построение простой модели, воспроизводящей лишь наиболее существенные для практики теплоснабжения характеристики системы. В основу анализа положено существенное различие динамических характеристик теплоёмких (наружные и внутренние ограждения, отопительный прибор) и нетеплоёмких (воздух в помещении, окно) элементов в рассматриваемой системе. Быстрый отклик последних на внешние возмущения позволяет записать для них уравнение теплового баланса в стационарном приближении; для инерционных же элементов записываются динамические уравнения, содержащие усреднённые по объёму температуры, что позволяет "сосредоточить" параметры системы и ограничиться формулировкой динамической задачи в терминах обыкновенных дифференциальных уравнений. В простом варианте модели рассматриваются четыре изотермических элемента: воздух в помещении, окно, теплоёмкие ограждения и отопительный прибор. Заметим, что если необходим учёт эффектов распределённости, достаточно для этого в предлагаемой модели увеличить число изотермических элементов, рассмотрев, например, отдельные части ограждений: пол, потолок,

перегородки. Ввиду простоты предлагаемая динамическая модель сравнительно быстро интегрируется на ЭВМ, что позволяет за разумное время исследовать её тепловое поведение на весьма больших отрезках "физического" времени - порядка длительности отопительного сезона и более. Это обстоятельство весьма существенно, если иметь в виду необходимость накопления статистического материала для прогноза качества работы автоматизированной системы отопления на основе выдвигаемых в диссертации вероятностных критериев. Вместе с тем расчёты, выполненные с априорно оценёнными параметрами модели, показали, что модель лишь качественно воспроизводит наблюдаемое в эксперименте тепловое поведение помещения (рис.5). Это объясняется как приближённостью используемой модели, так и слабой определённости в выборе её параметров.

В пятой главе рассматриваются способы улучшения предсказательной способности предложенной модели. Заметим, что уточнение функциональной схемы и более подробное описание её элементов (например, с учётом эффектов распределённости) потребует и уточнения параметров теплообмена (теплоёмкостей, коэффициентов теплопроводности и теплоотдачи и т.п.), оценка которых в реальном жилом помещении весьма затруднительна, если возможна. В связи с этим предлагается иной путь повышения количественных возможностей модели, заключающийся в уточнении параметров на основе экспериментальных данных, полученных в работе в натуральных условиях. Соответствующая задача известна в теории динамических систем как задача идентификации /3/. Заметим, что даже обсуждённая выше простая модель содержит девять параметров, подлежащих уточнению, поэтому непосредственная их идентификация по динамическим данным весьма затруднительна. В связи с этим в работе процедура идентификации осуществляется в два этапа. На первом из них уточняются параметры элементов, описываемых в статическом приближении, а на втором - параметры оставшихся динамических уравнений. Существо метода проиллюстрируем на более простом уравнении баланса тепла для воздуха в помещении. Его с учётом температурной зависимости коэффициентов конвективно-го теплообмена можно записать в виде:

$$A_1(t_1 - t_b)^{5/4} + A_2(t_2 - t_b)^{5/4} + A_3(t_3 - t_b)^{5/4} = 0 \quad (2)$$

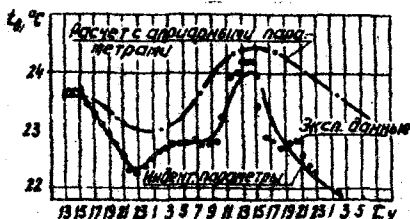


Рис.5

где  $t_a$  - температура воздуха в помещении;  $t_1, t_2, t_3$  - температуры соответственно отопительной панели, внутренних ограждений и внутреннего стекла окна.

Все эти величины считаются известными из эксперимента. Константы  $A_1, A_2, A_3$ , характеризующие интенсивность теплообмена, известны приближенно и подлежат уточнению. Переписав (2) в виде:

$$X_i = A_1 \cdot U_{1i} + A_2 \cdot U_{2i} \quad (3)$$

видим, что его можно интерпретировать как линейную стационарную систему с одним "выходом"  $X_i$  и двумя "входами"  $U_{1i}$  и  $U_{2i}$  и неизвестными параметрами  $A_1$  и  $A_2$ . Здесь мы полагаем:

$$\begin{aligned} X_i &= (t_1^{(i)} - t_a^{(i)})^{5/4} \\ U_{1i} &= (t_2^{(i)} - t_a^{(i)})^{5/4} \\ U_{2i} &= (t_3^{(i)} - t_a^{(i)})^{5/4} \end{aligned} \quad (4)$$

$$A_1 = -\frac{A_2}{A_1}, \quad A_2 = -\frac{A_3}{A_1}$$

Задача (3) имеет стандартный в теории динамических систем вид и может быть решена с использованием известных методов /3/. В работе для этих целей использовались два регрессионных метода: одношаговый и последовательный.

Выполненные расчёты показали, что после выполнения процедуры идентификации уравнение (2) достаточно точно описывает наблюдаемое в эксперименте поведение  $t_a$  в зависимости от  $t_1, t_2, t_3$ . Задачу идентификации параметров в динамических уравнениях модели решали с помощью метода квазилинеаризации /3/, на каждом шаге которого дело сводится к оценке параметров в уравнениях типа (3), включающих, однако, большее число переменных. Заметим, что мы не использовали идентификацию в уравнениях, описывающих теплообмен через окно, поскольку оказалось, что имеющиеся в литературе данные о его параметрах вполне достаточны для воспроизведения экспериментальных результатов в рамках предложенной модели. На рис. 5 представлены результаты расчёта  $t_a$  модели с идентифицированными и неидентифицированными параметрами. Видно, что в первом случае модель может претендовать на качественно правильные результаты.

Таким образом, предложенный выше метод моделирования теплового режима в помещении обладает необходимой точностью (за счёт идентификации параметров) и быстродействием (за счёт простоты модели) для оценки эффективности работы отопительных систем в течение сезона и более.

## РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Введено понятие  $f(\Delta t_s)$  как интегральной оценки эффективности работы АСО и на её основе разработаны критерии оценки рационального расхода теплоты и надёжности сохранения заданных тепловых условий.

2. Сформулированы особенности жилого помещения как объекта регулирования в системе "внешняя среда - жилое помещение - С.Ц.Т.".

3. Для характеристики режима работы С.Ц.Т. как элемента САР введено понятие степени обеспеченности процесса регулирования.

4. Экспериментально установлены факторы, существенно влияющие на расход теплоты и надёжность сохранения заданных тепловых условий.

5. Определены два условия, необходимых для организации оптимального режима отопления жилого помещения средствами САР в системе "внешняя среда - жилое помещение - С.Ц.Т.".

6. Установлено, что в условиях С.Ц.Т. и нормированного отпуска теплоты, задаваемые в настоящее время при двухпозиционном законе регулирования зоны нечувствительности  $\Delta P$ , симметричные относительно заданного значения температуры воздуха в помещении, не обеспечивают рациональный расход теплоты.

7. Установлено, что применение предложенных критериев в решении задачи организации оптимального режима отопления жилого помещения, позволяет сократить расход теплоты, в зависимости от метеорологических условий эксплуатации на 4...9,5% и повысить надёжность сохранения заданных условий более, чем в два раза.

8. Показано, что метод математического моделирования процессов нестационарного теплообмена может быть использован в решении задачи повышения эффективности применения автоматизированных систем отопления при условии уточнения параметров модели методом идентификации по экспериментальным данным.

Результаты работы позволяют предложить алгоритмы решения задачи сокращения расхода теплоты и повышения качества отопления жилого помещения при АСО в условиях С.Ц.Т. в конкретных условиях эксплуатации, который состоит в определении совместных оптимальных режимов работы С.Ц.Т. и системы отопления средствами САР. Алгоритмы решения задачи может быть реализован экспериментально и методом математического моделирования процессов нестационарного теплообмена в системе "внешняя среда - жилое помещение - С.Ц.Т." при автоматическом регулировании.

Для реализации предложенного алгоритма решения задачи методом математического моделирования необходимо:

1) на базе статистических данных наблюдения за изменением метеорологических условий эксплуатации решить задачу математического моделирования изменения этих условий в течение отопительного сезона;

2) решить задачу нестационарного теплообмена в системе "С.Ц.Т. - отопительный прибор - жилое помещение" при количественном, качественном и количественно-качественном регулировании;

3) обеспечить численное решение этих задач на ЭВМ.

Это позволит, задаваясь изменением во времени параметров внешней среды, режима работы С.Ц.Т. и режима работы АСО, используя предложенные критерии оценки и метод идентификации параметров модели, найти вид  $f(\Delta t_s)$  и организовать оптимальный режим отопления жилого помещения в системе "внешняя среда - жилое помещение - С.Ц.Т." средствами САР.

#### ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Результаты работы позволяют уже на данном этапе исследования, используя предложенные критерии оценки и данные регистрации тепловых условий в помещениях, сократить расход теплоты на 4...9% (в зависимости от метеорологических условий эксплуатации) и повысить надёжность сохранения тепловых условий в жилых помещениях здания примерно в 2 раза.

Найденный алгоритм решения задачи сокращения расхода теплоты и повышения качества отопления жилого помещения открывает возможность дальнейшего сокращения расхода теплоты и повышения качества отопления жилых зданий путём определения оптимального сочетания индивидуального, сезонного и пофасадного автоматического регулирования.

2. Решение задачи оптимизации режима отопления жилого здания методом математического моделирования процессов нестационарного теплообмена в системе "внешняя среда - жилые здания - С.Ц.Т." открывает перспективу организации экономного расхода теплоты на сохранение тепловых условий с заданной надёжностью в конкретных условиях эксплуатации уже на стадии проектирования.

Решение задачи организации оптимального режима отопления жилого здания в системе "внешняя среда - жилое здание - С.Ц.Т." является целью дальнейших исследований автора.



Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах.

1. Туркин П.В. Исследование динамических характеристик нагревательных приборов и ограждающих конструкций в системе автоматического регулирования температуры воздуха в обогреваемых зданиях. Известия ВУЗов. Строительство и архитектура.- 1975.- № II.- С.108-112.
2. Туркин П.В., Тыщенко Ю.Д. Нагревательные приборы для водяных систем отопления современных гражданских зданий. Всесоюзная конференция по микроклимату. МИНВУЗ СССР. Управление микроклиматом жилых и общественных зданий. Тезисы докладов научно-технической конференции.- Челябинск: 1975.- С.151-161.
3. Туркин П.В. К расчёту нестационарных теплопоступлений через окно. Челябинский дом научно-технической пропаганды. Тезисы докладов школы-семинара.- Челябинск: 1977.- С.76-79.
4. Туркин П.В. Критерии оценки теплового комфорта обогреваемого помещения. Известия ВУЗов. Строительство и архитектура.- 1978.- № 6.- С.129-133.
5. Туркин П.В., Тыщенко Ю.Д. Нагревательные приборы для водяных систем отопления современных гражданских зданий. Водоснабжение и санитарная техника.- 1980.- № 6.- С.200-202.
6. Туркин В.П., Бескачко В.П., Вяткин Г.П. Математическое моделирование процессов нестационарного теплообмена в системе "внешняя среда - жилое помещение". Челябинский политехнический институт им. Ленинского комсомола. Уральский дом научно-технической пропаганды общества "Знание" РСФСР. Управление микроклиматом в обогреваемых зданиях. Тезисы докладов семинара.- Челябинск: 1981.- С.19-22.
7. Туркин П.В., Бескачко В.П., Вяткин Г.П. Математическое моделирование процессов нестационарного теплообмена в системе "внешняя среда - жилое помещение". Всесоюзное совещание Госгражданстрой. ЦНИИЭП инженерного оборудования Челяб.обл.исполком. Челябинскгражданпроект. Прогрессивные системы теплохолодоснабжения и вентиляции жилых и общественных зданий. Тезисы докладов.- Челябинск: 1983.- С.84-87.
8. Туркин П.В., Бескачко В.П. Простая модель нестационарного теплообмена в системе "внешняя среда - жилое помещение". Челябинский политехнический институт им. Ленинского комсомола. Автоматизация энергосистем и энергоустановок промышленных предприятий. Те-

матический сборник научных трудов.- Челябинск; 1983.- С.135-139.

9. Туркин П.В. Факторы, определяющие вид функции распределения длительности существования температуры помещения.- Челябинский политехнический институт. Управление микроклиматом в обогреваемых зданиях. Тематический сборник научных трудов.- Челябинск; 1985.- С.III-II6.

10. Туркин П.В. Повышение эффективности автоматизированных систем водяного отопления при централизованном теплоснабжении. Управление микроклиматом в обогреваемых зданиях. Тезисы докладов.- Челябинск; 1986.- С.54-56.

11. Туркин П.В., Бескачко В.П., Вяткин Г.П. Математическая модель нестационарного теплообмена в системе "внешняя среда - жилое помещение". Челябинский межотраслевой территориальный центр научно-технической информации и пропаганды. Информационный листок № 434-82. УДК 697.113.

12. Туркин П.В., Погорельский В.А. А.с. № 631896 "Устройство для регулирования температуры воздуха в помещении". Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений СССР 14 июля 1978 г.

13. Туркин П.В., Погорельский В.А., Бурлов В.В., Брагина А.А. А.с. № 920660 "Устройство для регулирования температуры воздуха в помещении". Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений СССР 14 декабря 1981 г.

14. Туркин В.П., Туркин П.В., Тыщенко Ю.Д. Автоматическое управление отоплением жилых зданий.- М., Стройиздат, 1987.- 168 с.

#### Используемая литература

1. Каменев П.Н., Сканава А.Н., Богословский В.Н., Егизаров А.Г., Щеглов В.П. Отопление и вентиляция. Ч.1. М., Стройиздат, 1975. - 483 с.
2. Чистович С.А., Аверьянов В.К., Темпель Ю.Я., Быков С.И. Автоматизированные системы теплоснабжения и отопления. Л., Стройиздат, 1987.- 247 с.
3. Гроп Д. Методы идентификации систем. М., Мир, 1979.- 312 с.