

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ БССР

БЕЛОРУССКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

РАЛЬЧУК Н.Т.

кандидат технических наук

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ НОВЫХ СПОСОБОВ ПОВЫШЕНИЯ
ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ ЗДАНИЙ

/05.482 "Теплоснабжение, газоснабжение и вентиляция"/

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Белорусский ордена Трудового Красного Знамени политехнический институт направляет Вам для ознакомления автореферат докторской диссертации кандидата технических наук, доцента Н.Т.Рельчука.

Диссертация выполнена в Киевском технологическом институте пищевой промышленности.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, заслуженный деятель науки и техники БССР, профессор Э.Х.ОДЕЛЬСКИЙ,

доктор технических наук, профессор

П.С.КОЛОБКОВ,

доктор технических наук, профессор

А.А.САНДЕР.

Ведущая организация - трест ЮЖУРАЛСАНТЕХМОНТАЖ.

Совет по присуждению ученых степеней при Белорусском ордена Трудового Красного Знамени политехническом институте просит Вас и сотрудников Вашего учреждения, интересующихся темой диссертации, принять участие в заседании Совета или прислать Ваш отзыв.

Защита диссертации состоится " _____ 197__ г.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке БПИ.

Ваш отзыв (в 2-х экз. заверенный печатью) просим направить по адресу: Минск-27, Ленинский проспект, 65, БПИ, ученому секретарю.

Автореферат разослан " _____ 197__ г.

Ученый секретарь Совета
кандидат технических наук
доцент

И.С.КАЧАН

ПРЕДИСЛОВИЕ

В современное строительство вкладываются значительные материальные и денежные средства.

Для рационального их использования и осуществления намеченной планом программы строительства необходимо применение эффективных материалов и конструкций, индустриализации трудоемких процессов.

В значительной степени этому способствует развитие заводского домостроения из сборного железобетона. В связи с этим снижение веса и повышение эффективности отдельных видов оборудования, материалов и конструкций, уменьшение трудоемкости заготовительных и монтажных работ, улучшение эксплуатационных качеств зданий является одной из актуальных тем научного исследования. Системы отопления являются многометальным видом санитарно-технического оборудования и трудоемкими в монтаже.

Основным видом оборудования, увеличивающим расход металла, являются нагревательные приборы, монтаж мелких элементов усложняет индустриализацию.

Поэтому идут активные поиски рациональных методов использования существующего оборудования и разработка нового, более эффективного.

Ставятся проблемы повышения эффективности систем отопления зданий, как на стадии строительства, так и в условиях эксплуатации. Она может быть осуществлена во взаимосвязи с решением таких отдельных задач:

1. Повышению теплового напряжения металла применяющихся, разработке и изготовлении менее металлоемких нагревательных приборов.

2. Разработке более совершенных схем систем отопления для применения чугунных, стальных и малометаллических отопительных приборов, а также систем отопления для крупнопанельного полнооборного строительства.

3. Разработке способов регулирования теплоотдачи нагревательных приборов с целью улучшения эксплуатационных качеств систем, уменьшении трудоемкости заготовительных и монтажных работ, а также сокращении расхода труб.

Эти отдельные задачи решались автором в различное время теоретически, экспериментально, а также практически путем разработки технической документации для опытного строительства и руководством по его осуществлению.

Настоящая работа посвящена повышению эффективности систем отопления зданий, заключающейся в уменьшении металлоемкости их, трудоемкости строительно-монтажных работ, повышению санитарно-гигиенических и эстетических качеств.

Благодаря проведенному комплексу научно-исследовательских работ достигнута экономия нагревательных приборов, труб, снижена стоимость систем отопления, а также трудоемкость работ.

Теоретические и экспериментальные исследования, касающиеся решения поставленной проблемы, изложены в диссертации, состоящей из 5 глав /368 стр. 124 рис., 45 таблиц и 12 приложений в виде графиков/, а также отдельного приложения документов, подтверждающих внедрение.

Г л а в а I

СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА, РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

I. Системы с чугунными нагревательными приборами.

Для отопления зданий применялись чугунные радиаторы с низким тепловым напряжением металла, что сказывалось на их расходе и стоимости систем отопления.

Продолжительное время этот вид нагревательных приборов составлял 95, а в настоящее время составляет 90% от всех видов приборов, применяющихся в жилищно-гражданском строительстве. Ежегодный выпуск промышленности чугунных радиаторов исчисляется десятками млн. ЭКМ. Поэтому повышение эффективности их использования, заключающейся в увеличении теплоотдачи, имеет большое народнохозяйственное значение. Низкая теплоотдача чугунных радиаторов объясняется несоответствием температуры циркулирующего теплоносителя температуре на их поверхности, установленной равной 95°C . Последнее послужило основанием тому, что были выполнены исследования, в результате которых для отопления жилых и общественных зданий начал применяться теплоноситель с перепадом температур $\Delta t = 105-70^{\circ}\text{C}$ вместо ранее применявшегося $\Delta t = 95-70^{\circ}\text{C}$.

Благодаря исследованиям, уменьшен расход нагревательных приборов на 8-9, а труб - на 15-20%.

Экономия нагревательных приборов и труб была получена за счет применения повышенных параметров теплоносителя без измене-

ния принципиальной схемы системы отопления. Дальнейшее повышение экономической эффективности систем отопления может быть достигнуто благодаря повышению теплоотдачи нагревательных приборов, но при применении принципиально новой схемы системы отопления, новой конструкции чугунных нагревательных приборов, мелометальных нагревательных приборов в виде бетонных плит, применению отопительных устройств, совмещенных с наружными стенными панелями в крупнопанельных зданиях и других решений. Трудоемкость заготовительных и монтажных работ, а также расход труб в системах отопления с чугунными нагревательными приборами можно также сократить, применив способ регулирования теплоотдачи нагревательных приборов путем уменьшения их теплоотдающей поверхности, изменив конструкцию и место установки регулирующих устройств.

Решения отдельных задач, составляющих одну общую проблему, потребовали конструктивных разработок, теоретических и экспериментальных исследований.

Одна из задач, которую необходимо решить в ближайшее время, это повышение эффективности чугунных радиаторов, являющихся основным видом нагревательных приборов.

Несмотря на то, что теплоотдача чугунных радиаторов была увеличена, присущие им конструктивные недостатки остались. К значительным недостаткам радиаторов относятся их малая теплоотдача излучением и большой вес.

Автором разработана конструкция чугунного отопительного прибора панельного типа с малой строительной глубиной /57 мм/ и повышенной теплоотдачей излучением - в 1,8-1,9 раза боль-

ней, чем чугунных радиаторов. Вес одного ЭКМ составляет 17-20 кг /в зависимости от качества отливки/, что на 18% меньше веса чугунных радиаторов, выпускаемых в настоящее время

2. Системы с бетонными нагревательными приборами.

Менее металлоемкими нагревательными приборами могут быть приборы, изготовленные из нерудных материалов в сочетании с элементами, служащими для осуществления циркуляции по ним теплоносителя и передачи тепловой энергии массиву прибора. Таким материалом служит бетон.

Бетонные отопительные приборы были предложены инженером В.А.Яхимовичем в 1905 году. До революции в России было смонтировано с бетонными панелями несколько зданий, но дальнейшего распространения они не получили.

Разработка и исследование систем с бетонными отопительными панелями начаты в 50 гдах. Простота изготовления и хороший внешний вид могли способствовать широкому их распространению и внедрению. Однако оно сдерживалось, ввиду отсутствия таких сведений, как: способ изготовления, долговечность, потеря прочности бетона при условии высокой температуры и длительной эксплуатации, состав бетона, допустимые температуры на поверхности теплоотдачи панели, методики расчета.

Всестороннее исследование бетонных панелей со стальными змеевиками и регистрами начато автором в 1948 году и позднее в 1952 году в бывшей Академии архитектуры УССР.

На основании проведенных теоретических и экспериментальных исследований были получены ответы на поставленные вопросы, в том числе и санитарно-гигиенические, учитывая повышенную теплоотдачу панелей излучением. Исследованиями гигиенистов было установлено, что более благоприятные условия для человека создаются при панельном отоплении. Данные исследований послужили основанием для рекомендации применения панельного отопления в жилых, общественных и промышленных зданиях.

Была установлена целесообразность применения для систем отопления с бетонными отопительными панелями теплоносителя с перепадом температур $\Delta t = 130-70^{\circ}\text{C}$.

Применение этого вида отопления у нас и за рубежом показало, что стоимость его на 27-30% ниже стоимости систем с чугунными радиаторами.

3. Отопление крупнопанельных зданий

Развитие заводского домостроения из сборного железобетона изменило технологию строительства, превратив его в монтаж. Это потребовало изменения методов производства работ при устройстве систем отопления. Необходимо было перейти от заготовки мелких элементов к заготовке укрупненных узлов, совмещая их со строительными конструкциями в одном элементе. Принято решение - нагревательные элементы из стальных труб в виде змеевиков закладывать в наружные стеновые панели. При таком решении монтаж системы отопления упростился.

Этот вид отопления, обладая всеми положительными санитарно-гигиеническими и эстетическими качествами панельного отопления, имеет высокие экономические показатели. Расход металла уменьшился на 70-75, стоимость - на 50, а трудоемкость работ - на 30%.

Отопление крупнопанельных зданий с нагревательными элементами, замоноличенными в конструкции стеновых панелей, имеет тот недостаток, что большая тепловая инерция ограждений затрудняет эффективную регулировку теплоотдачи. Для исключения такого недостатка разработана воздушно-лучистая система отопления с децентрализованным нагревом воздуха.

Температура воздуха в помещении регулируется количеством нагретого воздуха, выходящего в помещение из конвективных каналов.

4. Пути дальнейшего повышения экономической эффективности систем отопления, изменение схем системы отопления

Эта задача может быть решена путем повышения средней температуры теплоносителя в нагревательных приборах.

Но, так как верхний предел температур теплоносителя установлен как граничный /105, 130⁰/, следует повысить температуру обратной воды. Однако должна быть применена такая схема, чтобы и температура обратной воды находилась в границах, установленных нормами, т.е. не выше 70⁰С.

Предложено изменить схему теплофикационного ввода. Для этого система отопления здания разделена на две независимые параллельно работающие системы от общего элеватора.

В каждую из систем теплоноситель подается с одинаковой температурой. Из первой части системы отопления обратная вода с температурой 80-85⁰С возвращается на смешение с водой тепловой сети в элеваторе.

Таким образом, повышается средняя температура теплоносителя в нагревательных приборах первой части системы отопления. Обратная вода из второй части системы отопления с температурой 70⁰С возвращается в тепловую сеть.

Благодаря конструктивному изменению схемы отопления, уменьшается расход нагревательных приборов на 8-16%. Общая же экономия нагревательных приборов составит 18-24%/если за эталон для сравнения принять систему отопления с расчетными температурами теплоносителя $\Delta t = 95-70^{\circ}\text{C}/$.

5. Регулирование теплоотдачи нагревательных приборов

Изменением новой принципиальной схемы регулирования теплоотдачи нагревательных приборов путем уменьшения теплоотдающей поверхности, преследуется цель уменьшения трудоемкости заготовительных и монтажных работ, а также расхода труб.

Для этого предлагается новая конструкция регулирующего устройства. В результате внедрения этого решения расход труб на стояки уменьшился на 15-17, а трудоемкость работ - на 40%.

6. Перспективы развития

Можно считать, что в ближайшие 20-30 лет будут применяться системы отопления с чугунными радиаторами, бетонными и

стальными панелями, конвекторами. В общем количестве нагревательных приборов чугунные радиаторы будут занимать не менее 65-70%, стальные панели и конвекторы - 10-15%, остальные - 15-25%.

Развитие заводского домостроения будет охватывать до 50% от общего объема строительства. В крупнопанельных зданиях будут применяться системы совмещенные со строительными конструкциями.

Г л а в а П

ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ И ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОТОПЛЕНИЯ

К системам отопления кроме требований экономики, эксплуатации, эстетики предъявляются требования, обеспечивающие высокие гигиенические качества, которые могут быть отнесены к области физиологических свойств.

Самочувствие человека зависит от комбинации температур воздуха и ограждений. Оптимальным может считаться случай, когда при практически спокойном воздухе температура его и средневзвешенная температура ограждений порознь равны $18,5^{\circ}\text{C}$. На создание этих двух основных факторов оказывает влияние вид и место расположения нагревательных приборов.

Так, например, при средневзвешенной температуре ограждений 16°C температура воздуха должна быть 20°C . При расчетной температуре воздуха 18°C средневзвешенная температура ограждений должна быть 19°C .

Гигиеническими исследованиями установлено, что для создания температурного комфорта желательно иметь более низкую температуру воздуха и более высокую температуру ограждений.

Исходя из этих пожеланий, целесообразно применять системы отопления с нагревательными приборами с повышенной теплоотдачей излучением.

Проведенные исследования показывают, что в системах отопления с бетонными панелями, гладкими чугунными или стальными приборами, температура ограждений более высокая, чем в помещениях с чугунными радиаторами.

На ощущение температурного комфорта, до некоторой степени, имеет влияние одежда, скорость движения и относительная влажность, а также равномерность воздуха по высоте помещения.

Самая неравномерная температура воздуха по высоте помещений наблюдается в помещениях с радиаторами и высокими конвекторами, а более равномерная - с греющими полами и потолками, при других системах отопления она занимает промежуточное положение.

Температура ограждений зависит от степени облучения их нагревательными приборами.

Количественная характеристика энергии, падающей на ограждение, изучалась экспериментально и теоретически.

Для наглядности интенсивности облучения ограждений были применены светящиеся модели нагревательных приборов /излучатели/. При исследовании интенсивности облучения "нагревательные приборы" с одинаковым количеством излучающей световой

энергии в люксах размещались в различных местах "отопляемого помещения".

Характеристика степени облучения ограждений радиаторами и гладкими панелями, установленными под окнами, показана на рис. I.

Предварительная оценка средневзвешенной температуры ограждений может быть дана на основании решения уравнений теплового баланса вида:

$$K(\tau_i - \tau_n)F_i = \sum_{j=1}^n [\alpha_k(\tau_i - \tau_n)F_i + \alpha_n(\tau_i - \tau_n)F_i \varphi]$$

Уравнений должно быть столько, сколько неизвестных температур ограждений. В уравнение теплового баланса входит коэффициент углового облучения / φ /.

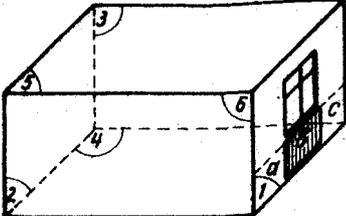
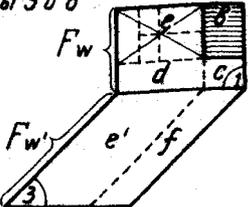
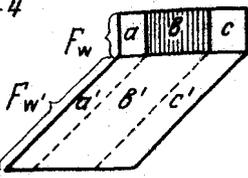
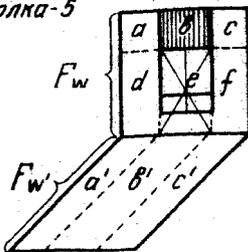
Для подоконных отопительных панелей и панелей, расположенных в наружных стенах, что имеет место в системах отопления крупнопанельных зданий, в также в воздушнолучистых системах отопления, угловые коэффициенты облучения могут быть определены по формулам, приведенным в таблице I и 2. При гигиенической оценке нагревательных приборов обращается внимание на температуру их поверхности, учитывая допустимую интенсивность облучения человека и разложение пыли на их поверхности.

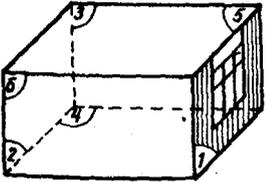
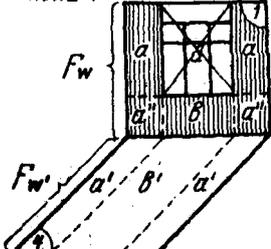
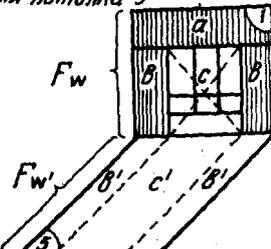
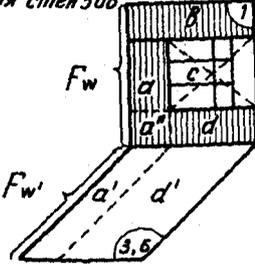
По экономическим соображениям желательно иметь температуру на поверхности нагревательных приборов более высокую. Однако последняя зависит от места расположения и размеров теплоотдающей поверхности.

Для нагревательных приборов в виде узких полос допускается более высокая температура, в системах отопления с

Таблица формул угловых коэффициентов
облучения ограждений

Таблица 1:

Расчетная схема	Формула
	<p>Нагревательная панель расположена под окном у наружной стены</p> <p>(Для наглядности и удобства расчета некоторые схемы повернуты на 90 или 180°)</p>
<p>Для стены 2 Для стены 3 и 6</p> 	<p>По формуле $\Psi_2 = 1 - \sum \Psi_{(1,3,4,5,6)}$</p> $\Psi_{w'8} = \frac{\Psi_{w'w} F_w - \Psi_{w'(cd)} F_{(cd)} - \Psi_{e'(de)} F_{(de)} +}{2F_8} +$ $\frac{-\Psi_{fc} F_c + \Psi_{e'd} F_d - \Psi_{f(cb)} F_{(cb)}}{2F_8}$
<p>Для пола - 4</p> 	<p>Если $F_a = F_c$</p> $\Psi_{w'8} = \frac{\Psi_{(a'b')(a'b)} F_{(a'b)} - \Psi_{d'a} F_a}{F_8}$ <p>Если $F_a \neq F_c$</p> $\Psi_{w'8} = \frac{\Psi_{(a'b')(a'b)} F_{(a'b)} - \Psi_{(b'c')(bc)} F_{(bc)}}{2F_8} -$ $\frac{(\Psi_{a'a} F_a + \Psi_{c'c} F_c)}{2F_8}$
<p>Для потолка - 5</p> 	<p>Если $F_{ad} = F_{cf}$</p> $\Psi_{w'8} = \frac{\Psi_{ad} F_d - \Psi_{a'(ad)} F_{(ad)} + \Psi_{(a'b')(abde)} F_{(abde)} - \Psi_{(c'f)} F_{(c'f)}}{F_8}$ <p>Если $F_{ad} \neq F_{cf}$</p> $\Psi_{w'8} = \frac{\Psi_{ad} F_d + \Psi_{c'f} F_f - \Psi_{a'(ad)} F_{(ad)} - \Psi_{c'(cf)} F_{(cf)} +}{2F_8} +$ $\frac{\Psi_{(a'b')(abde)} F_{(abde)} + \Psi_{(b'c')(bcdf)} F_{(bcdf)} -}{2F_8} -$ $\frac{(\Psi_{(bc'f)} F_{(bc'f)} + \Psi_{(a'b')(ade)} F_{(ade)})}{2F_8}$

Расчетная схема	Формула
	<p>Наружная греющая стена (в крупнопанельных зданиях) При симметричном расположении окна</p>
<p>Для пола 4</p> 	$\varphi_{w'(w-d)} = \frac{\varphi_{w'w}F_w - \varphi_{w'd}F_d}{F_{(w-d)}}$ $\varphi_{w'd}F_d = \varphi_{w'w}F_w - \varphi_{w'(a'ba')}F(a'ba') - [\varphi_{w'w}F_w - \varphi_{w'(a'ba')}F(a'ba') + \varphi_d(a'a)F(a'a) + \varphi_{(b'a)}(ba')F(ba') - \varphi_{a'a''}F_{a''} - \varphi_{(b'a)}(aa''ba')F(aa''ba')] : F_d$
<p>Для потолка 5</p> 	$\varphi_{w'(w-c)} = \frac{\varphi_{w'w}F_w - \varphi_{w'c}F_c}{F_{(w-c)}}$ $\varphi_{w'c}F_c = \varphi_{w'(bc'b)}F(bc'b) - [\varphi_{w'(bc'b)}F(bc'b) + \varphi_{b'b}F_b - \varphi_{(c'b)}(cb)F(cb)] : F_b$
<p>Для стенозуб</p> 	$\varphi_{w'(w-c)} = \frac{\varphi_{w'w}F_w - \varphi_{w'c}F_c}{F_{(w-c)}}$ $\varphi_{w'c}F_c = \varphi_{w'(w-b)}F(w-b) - \varphi_{w'(a'd)}F(a'd) - [(\varphi_{w'(w-b)}F(w-b) - \varphi_{w'(a'd)}F(a'd) - \varphi_d(a'a)F(a'a) + \varphi_{d'a}F_{d'a} - \varphi_{a'a''}F_{a''} - \varphi_{d'(dc)}F_{d'(dc)})] : 2F_a$
<p>Для стены 2</p>	$\varphi_{2(w-d)} = 1 - \sum \varphi_{(3,4,5,6)}$

греющим потолком, когда человек может находиться под центром обогреваемого участка /самые неблагоприятные условия/, гигиенистами установлено на поверхности потолков такая температура, чтобы интенсивность облучения человека не превышала $0,07 \text{ кал/см}^2\text{мин}$.

Проведенные исследования интенсивности облучения плоскими нагревательными приборами, установленными под окнами, при средней температуре поверхности 91°C , показывают, что максимальная интенсивность облучения сидящего перед нагревательным прибором человека не превышает $0,07 \text{ кал/см}^2\text{мин}$. На рис. 2, в показана интенсивность облучения при подоконных панелях, а на рис. 2, б - для стеновых панелей высотой 1,4 м.

Определение средних температур поверхности наружной греющей стены в панельных системах отопления с автономиче-^{не}скими нагревательными элементами показывают, что она превышает 55°C . Средневзвешенная температура наружной стены с окном будет 40°C . В системах отопления с подоконными плоскими нагревательными панелями, при их средней температуре $90-95^{\circ}\text{C}$, средневзвешенная температура наружных стен будет 25°C .

Температура поверхности нагревательных приборов ограничивается также длиной волны инфракрасного излучения. Нагретые тела до температуры 100°C излучают волны длиной от 4,5 до 20 мк. Проведенные гигиенистами исследования показали, что волны указанной длины поглощаются только в поверхностном слое кожи и не оказывают вредного влияния на человека.

Одним из факторов, влияющим на определение температуры

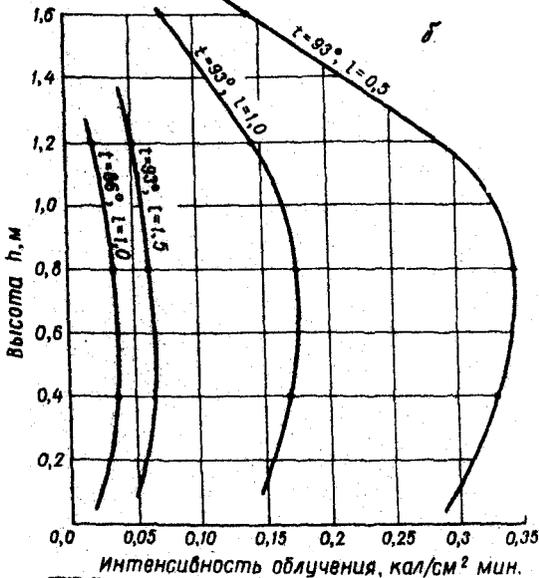
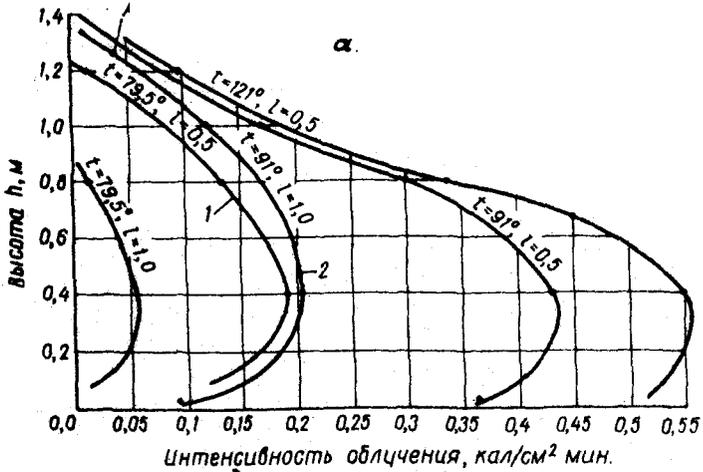


Рис. 2. Интенсивность облучения бетонными отопительными панелями: в- панелью, высотой 0,7м; б- панелью, высотой 1,4м.

нагревательных приборов, является пригорание пыли, осевшей на их поверхности.

Зарубежными исследованиями установлено, что тонкодисперсные аэрозоли не оседают на нагретых поверхностях, температура которых выше, чем газ, где находятся аэрозоли. Следовательно, учитывая рассмотренные три основные фактора, влияющие на самочувствие человека и санитарно-гигиеническую оценку помещений, можно рекомендовать для подоконных нагревательных приборов температуру на их поверхности до 95°C , а стеновые панели - в виде излучателей - менее 90°C .

Г л а в а Ш

Н А Г Р Е В А Т Е Л Ы Е П Р И Б О Р Ы

Одним из важных путей повышения эффективности систем отопления является увеличение теплового напряжения металла за счет интенсификации теплоотдачи существующих нагревательных приборов типа М-140 и разработка более рациональных конструкций с меньшим расходом металла на ЭКМ.

Теплоотдача нагревательных приборов может быть повышена благодаря увеличению температуры теплоотдающей поверхности.

Как известно, у теплоотдающей поверхности со стороны греющей среды образуется тепловой пограничный слой, создающий термическое сопротивление теплопередаче от теплоносителя через стенку прибора в окружающую среду. Толщина термического пограничного слоя оказывает влияние на температуру поверх-

ности стенки.

Теоретически температура на внешней поверхности чугунного радиатора была определена при условии нормального расхода теплоносителя на один ЭКМ. При этом был установлен характер движения теплоносителя и определена толщина динамического пограничного слоя.

Пользуясь формулой $\delta_r \sqrt{P_1} = \delta_g$ была найдена толщина теплового слоя δ_r и на основании общей формулы теплопередачи

$$t_{w_1} = t_B + \frac{t_f - t_B}{\alpha_0} \cdot K$$

определена температура на внешней поверхности стенки чугунного радиатора.

В этой формуле:

t_f - температура ядра потока теплоносителя, °С,

α_0 - коэффициент теплоотдачи, ккал/м²час град,

K - коэффициент теплопередачи, ккал/м²час град.

На основании полученных данных построен график изменения температуры на поверхности радиатора в зависимости от расхода теплоносителя и его температуры /рис.3/. Однако данные теоретических исследований были приняты как предварительные, потому что не учтен слой краски, а коэффициент теплоотдачи / α_0 / был принят предварительно равным 7,8 ккал/м² час град.

Исследования показали, что то положение, при котором считалось, что температура на поверхности радиатора равна температуре циркулирующего теплоносителя, не соответствует действительности. Фактически температура на поверхности чугунного радиатора / t_{w_1} / ниже температуры теплоносителя / t_f /.

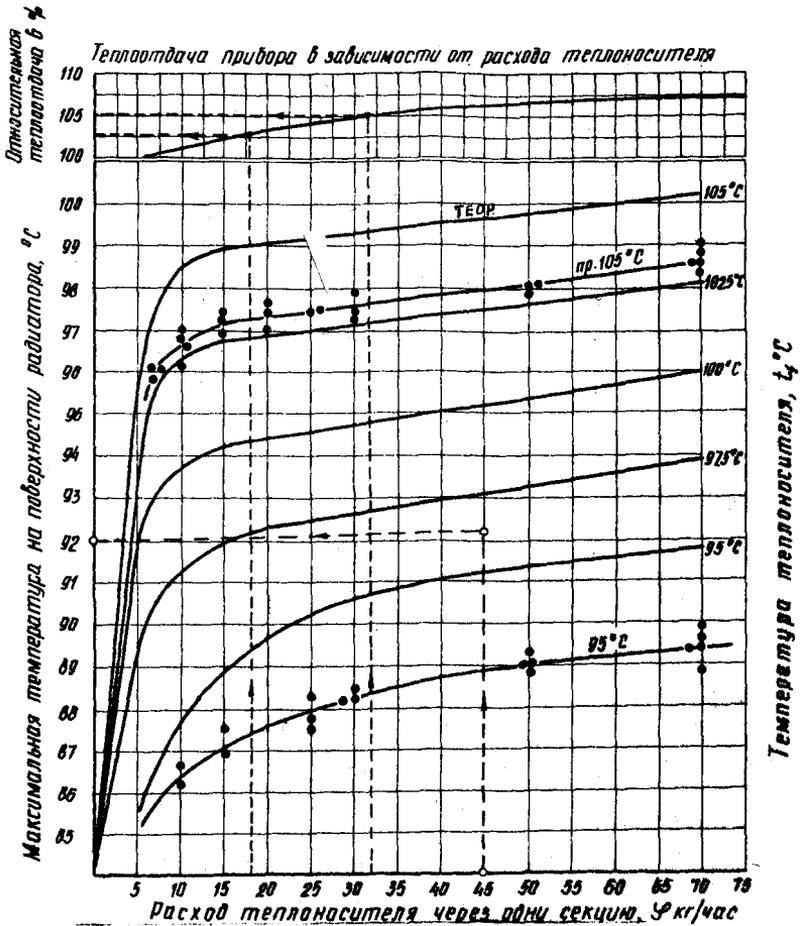


Рис. 3. График изменения температуры на поверхности нагревательных приборов в зависимости от расхода теплоносителя.

Экспериментальные исследования прогреваемости радиаторов при различных температурах теплоносителя показали, что при установившейся температуре на их поверхности 95°C температура теплоносителя соответствовала 105°C.

Значительный перепад температур /8-10°C/ между температурами теплоносителя и стенкой нагревательного прибора объясняется незначительной величиной коэффициента теплоприятия от воды к внутренней поверхности прибора, который изменяется для приборов типа М-140 от 45 до 70 ккал/м² час град и теоретически может быть определен по критериальному уравнению:

$$N_u = 0,17 R_e^{0,33} \cdot P_r^{0,43} \cdot G_r^{0,1} \left(\frac{P_{r_f}}{P_{r_w}} \right)^{0,25}$$

Благодаря этим исследованиям установлена температура теплоносителя для систем отопления с чугунными радиаторами 105°C, вместо ранее применявшейся 95°C.

Исследования гигиенического и технического характера послужили основанием тому, что строительными нормами и правилами температура на поверхности нагревательных приборов для чугунных радиаторов установлена равной 95°C.

Теоретические, экспериментальные исследования, а также многолетнее практическое внедрение показали целесообразность принятых предложений, что дало возможность получить экономия радиаторов 8-9, труб - 15-20%.

Одним из важных факторов экономического и эксплуатационного характера является правильный подбор количества секций в радиаторе при "округлении" их до целого числа в случае, когда при расчете получается дробное число секций.

Теоретическое изучение вопроса расчета радиаторов показало, что существующее положение, по которому допускается делать "округление" - в меньшую сторону не более чем на $0,1 \text{ ЭКМ.}/0,31 \text{ секции}/$, не может применяться во всех случаях расчета.

При расчете радиаторов с дробным расчетным числом секций и "округлении" их до целого числа в большую или меньшую стороны необходимо учитывать такие факторы, как расчетную разность температур $/ \Delta t /$ и расчетное число секций в радиаторе $/ n /$.

Пренебрежение этими факторами нередко приводит к тому, что в помещениях устанавливается температура ниже расчетной, в результате чего возникает необходимость в процессе эксплуатации устанавливать дополнительное количество секций, а в целях "перестраховки" вместо положенной одной секции устанавливаются 2 или 3, что ведет не только к перерасходу нагревательных приборов, тепла, но нарушению нормальной эксплуатации системы.

Указанное выше может привести также к необоснованному увеличению секций в радиаторе, что способствует снижению экономической эффективности систем отопления.

Предлагается при расчете радиаторов и "округлении" числа секций исходить из условий обеспечения в помещениях температуры воздуха с отклонением в сторону уменьшения не более чем на $0,5-1^{\circ}\text{C}$. Этот фактор будет определяющим критерием при "округлении" секций радиаторов до целого числа.

Для практического применения этого предложения состав-

лены графики для ряда расчетных температур / $t_b - t_n$ /.

Разработка и исследование чугунных радиаторов
панельного типа

Выпускаемые радиаторы не отвечают требованиям современного строительства.

Большой вес ЭКМ, большая строительная глубина, неудовлетворительный внешний вид, малая теплоотдача излучением и другие недостатки санитарно-гигиенического характера требуют замены чугунных радиаторов более прогрессивными.

Автором разработаны секционные отопительные панели со следующими показателями: глубине секции 57, высота 585 и ширина 120 мм, вес одной секции 5,5 кг, а вес одного ЭКМ до 19 кг. Панель представляет собой регистр с крестообразными ребрами, эквивалентный 0,28 ЭКМ. При разработке конструкций преследовалась цель повысить теплоотдачу излучением, а поэтому теплоотдающая поверхность принята более открытой. Обребнение с небольшой высотой ребер принято с целью интенсификации общей теплоотдачи.

Расстояние между ребрами принято из условий максимальной их теплоотдачи, которая зависит от взаимодействия пограничных слоев / δ_{\max} /, развивающихся на поверхности двух соседних ребер / $\eta = 1,12 \delta_{\max}$ /.

При разработке отдельных элементов конструкции применялись электрические модели, построенные на электропроводной бумаге с последующей проверкой прогреваемости на натуральных образцах. Проведенные исследования теплоотдачи предложенной

конструкции чугунной отопительной панели с различными расходами теплоносителя показали высокую их эффективность.

Бетонные отопительные панели

Использование бетона и стальных труб для нагревательных приборов возможно благодаря хорошей теплопроводности бетона, незначительному снижению прочности при высоких температурах, простоте изготовления, долговечности, хорошему сцеплению бетона с трубами и близким коэффициентом термического расширения.

Теплопроводность бетона зависит от расхода цемента, песка, гранулометрического состава щебня и количества воды.

Минимальный объемный вес бетона для отопительных панелей рекомендуется 2000 кг/м^3 . Экономическая эффективность бетонных отопительных панелей должна оцениваться по тепловому напряжению металла, применяемого для змеевиков.

Как показали теоретические исследования, критический диаметр бетонной оболочки, при которой достигается максимальная теплоотдача стальной трубы, находится в пределах 20-26 см. Однако при таких условиях нагревательный прибор имел бы большой вес и значительный расход бетона. Минимальная толщина отопительных панелей, как нагревательных приборов, зависит от диаметре труб, применяющихся для змеевиков, и защитного слоя над трубами, который следует применять 8-10 мм. При диаметре змеевика $3/8"$, $1/2"$ и $3/4"$ максимальная толщина панелей может быть до 60 мм и минимальная-30-40 мм.

Теплоотдача отопительных панелей определяется по фор-

муде:

$$Q = \alpha_k (T_{\text{нот}} - T_B) + \alpha_l (T_{\text{нот}} - T_{\text{орг}}).$$

В этой формуле $T_{\text{нот}}$ /средняя температура панели/ предлагается определять по эмпирической формуле

$$T_{\text{нот}} = T_{\frac{s}{2}} + K (T_s - T_{\frac{s}{2}}),$$

где T_s - температура на поверхности панели над трубкой змеевика,

$T_{\frac{s}{2}}$ - температура на поверхности между трубами,

K - коэффициент, характеризующий падение температуры на поверхности панели между трубами.

Температура в отдельных точках панелей определялась замерами, а кроме того, изменение ее на поверхности панелей изучалось на электропроводной бумаге с помощью метода ЭГДА.

При изучении теплоотдачи конвекцией, визуальными исследованиями на плите высотой до 1 м и более 1 м, было установлено, что в начальном участке плиты движения ламинарные, затем ламинарный пограничный слой переходит в неустойчивое ламинарное движение, далее в турбулентное. На этом основании для плит высотой до 1 м коэффициент теплоотдачи конвекцией определяется по формуле:

$$\alpha_k = 2,2 \Delta t^{0,25}$$

Расхождение между значениями коэффициентов, найденных по упрощенной формуле и по формулам критериальной зависимости

$$Nu = C (Gr \cdot Pr)_m^n,$$

составляет 5-6%.

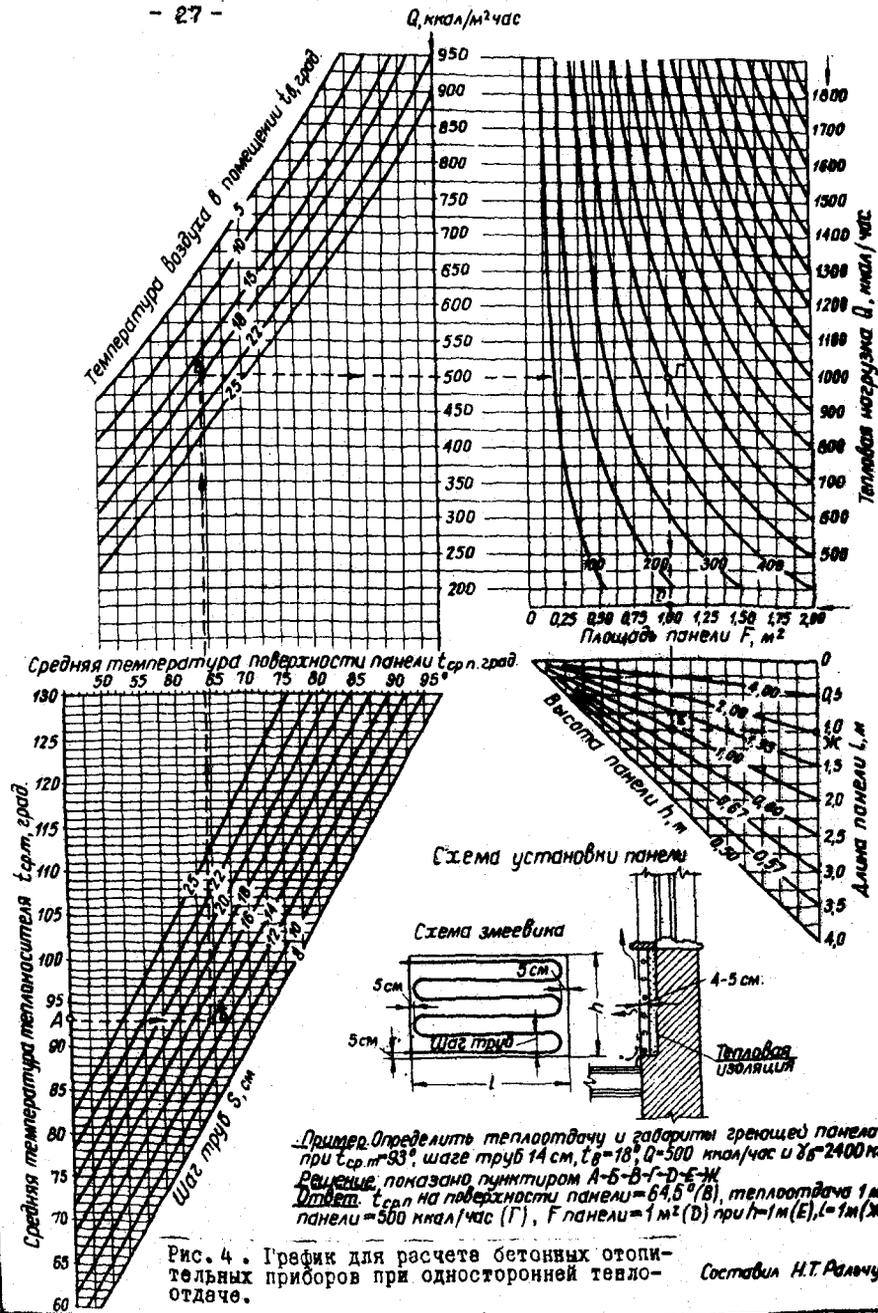


Рис. 4. График для расчета бетонных отопительных приборов при односторонней теплоотдаче.

Составил Н.Т. Радичук

Теплоотдача панелей была также рассчитана, пользуясь дифференциальным уравнением теплопроводности с учетом внутреннего источника тепла виде:

$$\nabla t^2 + \frac{q_v}{\lambda} = 0$$

Для расчета панелей составлены графики, рис.4.

Г л а в а I V

ОТОПЛЕНИЕ КРУПНОПАНЕЛЬНЫХ ЗДАНИЙ

Для крупнопанельных здания целесообразно применять устройство для отопления, совмещенное с наружными стеновыми панелями.

В крупнопанельных зданиях с трехслойными стеновыми панелями нагревательные элементы в виде змеевиков или прямых участков труб закладываются в слой тяжелого бетона со стороны помещения.

По этой схеме впервые начали монтироваться системы отопления для зданий серии I-464 А трестом "Журлосэнтехмонт". Принципиальная схема такой панели с нагревательными элементами системы отопления изображена на рис.5. Средняя температура внутренней поверхности наружной стены при расчетных температурах не превышает 50-55°C. В экономическом, эстетическом и санитарно-гигиеническом отношении эти системы отопления выгодно отличаются от систем отопления с чугунными радиаторами.

Если для сравнения за эталон принять систему отопления

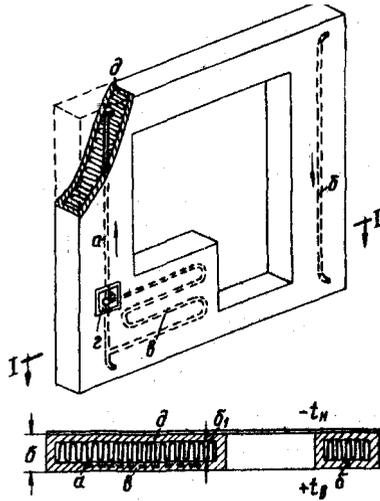


Рис. 5. Схема наружной стеновой панели крупнопанельного здания с автономными нагревательными элементами.

с чугунными радиаторами, то получаются следующие данные: расход металла уменьшится на 70-75, трудозатраты - на 30, а стоимость системы уменьшится на 50%.

По этой же схеме монтируются системы отопления и для крупнопанельных зданий с однослойными стеновыми панелями.

Для отопления зданий могут применяться воздушно-лучистые системы отопления с децентрализованным нагревом воздуха. В этом виде отопления нагревательные элементы в виде приставных бетонных панелей устанавливаются у наружных стен по всей высоте помещения так, чтобы между наружной стеной и отопительными панелями образовался конвективный канал. Приставная отопительная панель имеет две вентиляционные решетки, устанавливаемые над полом и под потолком, через которые циркулирует воздух. Количество воздуха, циркулирующего через канал, регулируется изменением живого сечения решетки, установленной в панели над полом, что дает возможность регулировать теплоотдачу за счет изменения расхода нагретого воздуха. Конвективные каналы создаются панелями в пределах каждого этажа.

В зависимости от теплоотдачи панели воздушно-лучистого отопления, регулировке теплоотдачи клапаном может осуществляться в пределах от 30 до 50%, что является преимуществом по сравнению с панельными системами отопления, в которых нагревательные приборы замонтированы непосредственно в строительных конструкциях панелей. Для расчета воздушно-лучистых систем отопления разработаны графики, один из которых приведен на рис.6.

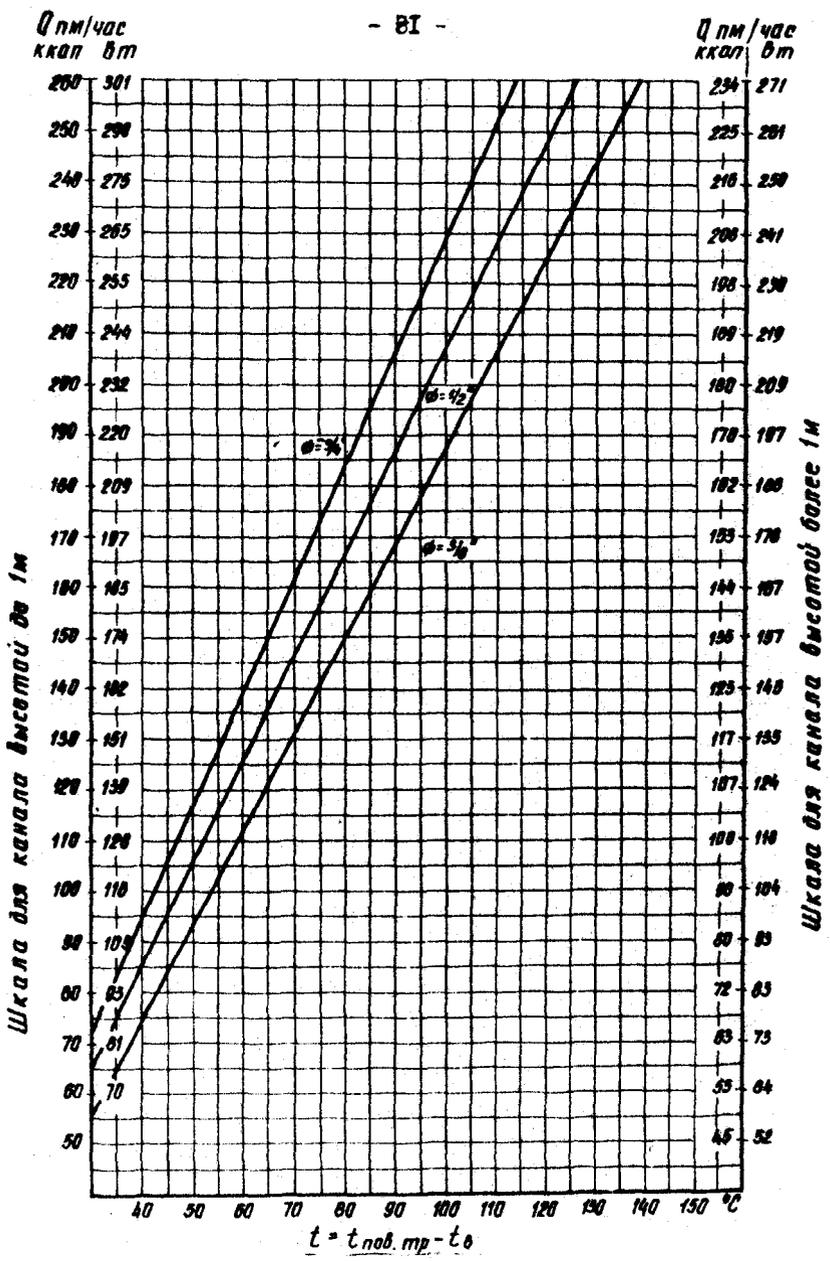


Рис. 6 График для расчета воздушно-лучистых систем отопления с децентрализованным нагревом воздуха.

По теоретическим исследованиям расход металла уменьшается на 80-85%. По данным, полученным от строительно-монтажных организаций, стоимость систем отопления уменьшается на 40-45%, а трудоемкость - на 45%.

Одним из важных экономических вопросов в панельных системах отопления с замоноличенными нагревательными элементами, а также в воздушно-лучистых системах отопления являются потери тепла. Теоретическое исследование показывает, что в трехслойных стеновых панелях, благодаря применению эффективной тепловой изоляции, потери тепла не превышают потерь для системы отопления с чугунными нагревательными приборами. Для изучения возможных дополнительных потерь тепла в воздушно-лучистых системах отопления был применен метод электрической аналогии с применением интегратора ЭГДА. Исследования показали, что в этих системах дополнительных потерь тепла нет. Метод ЭГДА применялся также при изучении температур на поверхности отопительных панелей.

Г л а в а У

ПОВЫШЕНИЕ СРЕДНЕЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В НАГРЕВАТЕЛЬНЫХ ПРИБОРАХ И РЕГУЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕ- РАТУРЫ ВОЗДУХА В ПОМЕЩЕНИЯХ

Дальнейшее повышение эффективности систем отопления зданий предлагается осуществить путем повышения температуры обратной воды при условии, что температура воды, уходящей из системы отопления здания в тепловые сети, устанавливается 70°C или несколько ниже. При этих условиях повышается

средняя температура теплоносителя в нагревательных приборах, а следовательно, уменьшается их расход. Для этого предлагается изменить схему теплофикационного ввода.

Это дает возможность разделить систему отопления здания на две системы, работающие от одного элеватора с температурой подающей воды равной 105°C . В первой части системы отопления температура обратной воды принимается $80-85^{\circ}\text{C}$ / вместо 70° , в во второй - 70°C . Тепловые нагрузки на отдельные части систем отопления неодинаковы и зависят от сочетания температур t_1, t_2, t_3 .

Чем более высокая тепловая нагрузка на первую часть системы отопления, тем больший экономический эффект будет достигнут. Тепловые нагрузки на отдельные части систем определяются на основании решения уравнения теплового и водного балансов:

$$G = \frac{Q}{t_1 - t_2} = \frac{Q_2}{t_3 - t_2}$$

Общая тепловая нагрузка на систему отопления равна:

$$Q = Q_1 + Q_2.$$

Количество воды, поступающей в систему отопления, равно количеству воды, циркулирующей во второй части системы.

При температуре теплоносителя, поступающего в систему отопления через элеватор из тепловой сети t_1 и уходящего из системы отопления здания в тепловые сети /из второй части системы отопления / t_2 /, количество воды, поступающей в систему и уходящей из системы будет равно:

$$G = \frac{Q_1 + Q_2}{t_1 - t_2} = \frac{Q_2}{t_3 - t_2}$$

Следовательно, тепловая нагрузка на вторую часть системы отопления будет: $Q_2 = G (t_3 - t_2)$ ккал/ч.

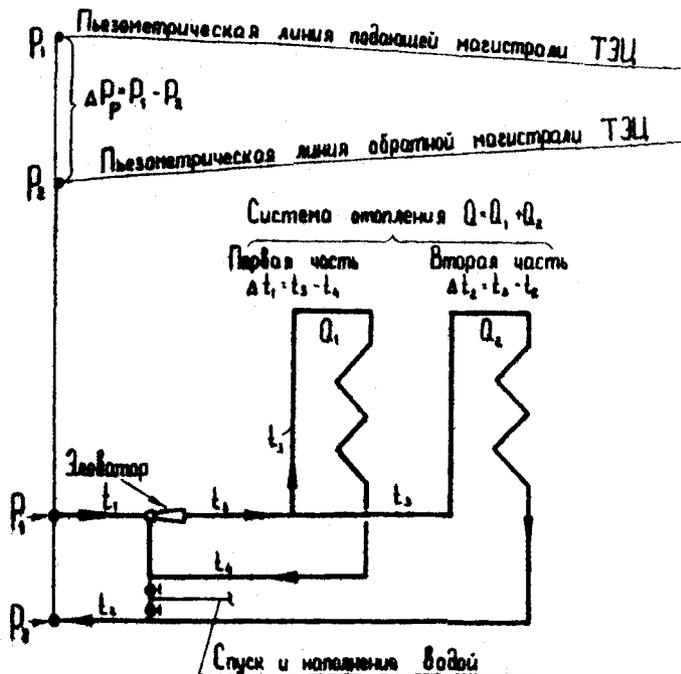


Рис.7. Принципиальная схема системы отопления с переменными перепадами температур теплоносителя по кольцам.

Тепловая нагрузка на первую часть системы отопления
будет

$$Q_1 = Q - G(t_3 - t_2) \text{ ккал/ч.}$$

Относительные тепловые нагрузки на отдельные части системы
отопления будут:

$$\begin{aligned} \text{а/ на первую часть системы отопления } \eta_1 &= \frac{Q_1}{Q} > \\ \text{б/ на вторую часть системы отопления } \eta_2 &= \frac{Q_2}{Q} \end{aligned}$$

Применение новой схемы /рис.7/ уменьшает расход нагревательных приборов еще на 8-9%. Если принять за эталон систему отопления с перепадом температур $\Delta t = 95-70^\circ\text{C}$, то применение предложенной системы отопления дает возможность уменьшить расход нагревательных приборов на 18% /согласно разработанной технической документации "Удргорстройпроект" для типового проекта жилого дома IУ-438а-34К и смонтированного трестом "Сантехмонтаж-60".

Отдельные системы отопления работают независимо одна от другой. Однако они оказывают влияние одна на другую /при изменении тепловых нагрузок при воздействии ветра или солнечной радиации/. При изменении тепловой нагрузки на вторую часть системы она не оказывает влияния на первую часть, так как изменение температуры обратной воды при повышении или понижении ее не оказывает влияния на изменение температуры теплоносителя смеси в первой части системы. При изменении же тепловой нагрузки на первую часть системы отопления изменяется температура обратной воды / t_4 /, что оказывает влияние на температуру смеси / t_3 /.

Но, как показали теоретические исследования, это влияние практически незначительно.

Регулирование температуры воздуха в помещениях

Регулирование температуры воздуха в помещениях путем изменения расхода теплоносителя через нагревательные приборы является недостаточно эффективным.

Как показали исследования, теплоотдача нагревательных приборов в зависимости от расхода теплоносителя изменяется в незначительных пределах, что не оказывает существенного влияния на изменение t_v , учитывая аккумуляцию тепла ограждениями и обстановкой.

Предлагается осуществлять регулирование теплоотдачи путем отключения секций приборов.

Предложенный способ регулирования дает возможность применять проточные системы отопления без короткозамыкающих участков, что сокращает расход труб на стояки систем отопления на 15-17, а также упрощает заготовительные и монтажные работы на 40-60%.

По предложению автора трестом "Киевспецстрой" в 1967г. смонтирован 9 этажный дом с системой отопления, в которой регулирование теплоотдачи приборов осуществляется описанным способом.

В Н Е Д Р Е Н И Е

1. Системы отопления для жилых и общественных зданий проектируются и монтируются с применением теплоносителя 105°C . Использование повышенных параметров теплоносителя предусмотрено строительными нормами и правилами.

2. Панельные системы отопления с приставными бетонными отопительными панелями, а также в крупнопанельных зданиях с замоноличенными нагревателями в наружных стеновых панелях широко применяются. Их использование предусмотрено строительными нормами и правилами.

3. Воздушно-лучистые, регулируемые системы отопления начали применяться с 1967 года /Одесса, Донецк, Ростов, Алма-Ата/.

4. Новая схема систем отопления с переменным перепадом теплоносителя по кольцам рекомендована проектными организациями для внедрения Госстроем СССР. Первые системы отопления внедрены трестом "Сентехмонтал-60" /г.Харьков/ в 1969-1970г.г.

Экономические показатели систем отопления приведены в таблице I.

Таблица I

Таблица показателей экономической эффективности систем отопления, полученной в результате разработки и внедрения решенных в диссертации задач

№ пп	Наименование систем, оборудования, материалов, трудоемкость	Относительные расходы, затрат, %	Примечание
1.	Водяные системы отопления с расчетными перепадами температур теплоносителя $\Delta t = 95-70^{\circ}\text{C}$, стоимость, нагревательные приборы, трубы,	100 100 100	Эталонная система
2.	Водяные системы с расчетным перепадом температур теплоносителя $\Delta t = 105-70^{\circ}\text{C}$ стоимость, нагревательные приборы, трубы,	90-88 91 85-80	
3.	Водяные системы с расчетными перепадами температур теплоносителя $\Delta t_1 = 105-85^{\circ}\text{C}$; $\Delta t_2 = 105-70^{\circ}\text{C}$, стоимость, нагревательные приборы, трубы,	82-80 82 82-80	
4.	Панельные с бетонными панелями стоимость,	78-70	
5.	Панельные в крупнопанельных зданиях стоимость, расход металла, трудоемкость,	50 30 70	
6.	Новая схема регулирования теплоотдачи приборов трудоемкость работ, расход труб на стояки.	60 85	

В ы в о д ы

В результате выполненных разработок, их теоретических и экспериментальных исследований, а также внедрения получены решения, направленные на повышение эффективности систем отопления.

Для практического внедрения результатов исследований составлены технические условия на проектирование и монтаж, графики, таблицы, разработаны чертежи оборудования и принципиальные схемы систем отопления.

1. Теоретическими и экспериментальными исследованиями установлено влияние температурного пограничного слоя на изменение температуры на внешней поверхности чугунных радиаторов, что дает возможность применять температуру теплоносителя 105°C , вместо ранее применявшейся 95°C .

2. Теоретически исследован расчет радиаторов с дробным расчетным числом секций, на основании чего составлены графики, уточняющие пределы "округления" секций в радиаторе, что дает возможность установить фактическую температуру воздуха в помещении и улучшить условия эксплуатации систем отопления.

3. Разработана и исследована новая конструкция секций чугунной отопительной панели с меньшей строительной глубиной. Конструкция имеет вес ^{на} 18% меньше веса радиаторов М-140, что улучшает санитарно-гигиеническую и эстетическую стороны помещений, сокращает расход чугуна на изготовление приборов, а также транспортные, монтажные и другие работы.

4. Исследована теплоотдача бетонных отопительных панелей различных габаритных размеров. Подобран состав бетона и исследована прогреваемость и охлаждение во времени, изучено изменение прочности бетона при высоких температурах во времени и доказана целесообразность применения температуры теплоносителя до 130°C . Разработаны таблицы и графики для расчета отопительных панелей.

5. Разработаны и внедрены в практику строительства панельные системы отопления для крупнопанельных зданий.

6. Разработано регулируемое воздушно-лучистое отопление для крупнопанельных зданий из однослойных стеновых панелей.

7. Разработана новая схема теплофикационного ввода, что дало возможность изменить схему системы отопления, разделив ее на две параллельно работающие системы, и получить экономию нагревательных приборов.

8. Дано предложение по регулированию температуры воздуха в помещениях.

СПИСОК ОСНОВНЫХ ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ АВТОРА

ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Указания по проектированию и монтажу систем отопления с перегретой водой, Киев, 1954.
2. Указания по проектированию и монтажу панельных систем отопления, Киев, 1954.
3. Применение воды повышенной температуры для систем отопления. Сборник "Новое в строительной технике". Санитар-

ная техника, Киев, 1954.

4. Проектирование и монтаж водяных и паровых систем отопления с греющими бетонными панелями, Киев, 1955.

5. Б.Н.Лобаев, Н.Т.Ральчук, Отопление жилых и общественных зданий перегретой водой, Киев, 1955.

6. Паровые системы отопления с греющими бетонными панелями, Киев, 1955.

7. Номограмма для теплотехнического расчета стен зданий, Журнал "Архитектура і будівництво", Киев, 1956.

8. Н.Т.Ральчук и А.А.Любовский, Санитарная техника за рубежом, Киев, 1958.

9. Временные указания по проектированию центральных водяных систем отопления с повышенной температурой воды. Киев, 1961.

10. Определение угловых коэффициентов облучения для панельных систем отопления. Сборник "Новые системы отопления", Киев, 1963.

11. Расчет нагревательных приборов проточно-регулируемых систем отопления, Киев, 1963.

12. Панельные системы отопления с повышенными параметрами теплоносителя для жилищного строительства, Киев, 1959.

13. Номограммы для расчета теплоотдачи бетонных отопительных панелей. Журнал "Водоснабжение и санитарная техника", № 4, 1959.

14. Б.Н.Лобаев, Н.Т.Ральчук, Графический расчет систем отопления, вентиляции и ограждающих конструкций зданий, Киев, 1960.

15. Панельное отопление зданий, Киев, 1964.

16. Расчет нагревательных приборов при дробном расчетном числе секций, Киев, 1968.

17. Отопление крупнопанельных зданий и потери тепла через наружные стены с нагревательными элементами, Киев, 1964, /фотопечать/.

18. Воздушно-лучистое отопление. Журнал "Строительство и архитектура", № 7, 1966.

19. Повышение эффективности систем отопления зданий, Киев, 1968, тезисы доклада на конференции по теплогазоснабжению и вентиляции.

20. Пенчишин В.И., Рельчук Н.Т., Гнездилова З.А. Применение электротепловой аналогии в технике отопления зданий, Киев, 1969. Сборник "Некоторые вопросы прикладной математики, Изд. АН УССР, выпуск IV.

21. М.Т.Рельчук. Підвищення ефективності систем опалення будинків, Київ, 1970, "Будівельник".