

Тепelné ztráty budov  
a možnosti  
jejich zmenšování

•  
Doc. Ing. JAROSLAV ŘEHÁNEK, DrSc.  
Ing. ANTONÍN JANOUS

SNTL – NAKLADATELSTVÍ  
TECHNICKÉ LITERATURY

Я. Рнеганек А. Яноуш

# Снижение теплопотерь в зданиях

Перевод с чешского  
В.П. Поддубного

Под редакцией  
канд. техн. наук Л.М. Махова

Москва Стройиздат 1988

Ржеганек Я., Яноуш А. Снижение теплопотерь в зданиях /Пер. с чеш. В.П. Поддубного; Под ред. Л.М. Махова. — М.: Стройиздат, 1988. — 168 с.: ил. — ISBN 5-274-00219-6.

В книге авторов из ЧССР рассмотрены факторы, определяющие теплотехнические качества ограждающих конструкций, влияющие на теплопотери и расход энергии на отопление зданий. Дан анализ мероприятий, обеспечивающих эффективное использование энергии в зданиях. Уделено внимание вопросам улучшения теплотехнических свойств строительных конструкций. Рассмотрены примеры экономической оценки строительных конструкций.

Для научных и инженерно-технических работников.  
Табл. 66, ил. 75.

Рекомендовано к изданию кафедрой отопления и вентиляции МИСИ им. В.В. Куйбышева (зав. кафедрой проф. д-р техн. наук В.Н. Богословский)

Р 3206000000 — 237  
047(01) — 88 154—88

ISBN 5-274-00219-6

© Doc. Ing. Jaroslav  
Rehánek, DrSc., Ing.  
Antonín Janouš, 1985

© Перевод на русский  
язык, Стройиздат, 1988

## ВВЕДЕНИЕ

Требование рационального использования топливно-энергетических ресурсов в различных отраслях народного хозяйства в большой мере отводится к отоплению зданий. Это объясняется значительным количеством расходуемой энергии (приблизительно четвертая часть потребляемой энергии всем народным хозяйством) и имеющимися возможностями ее сохранения.

Цель предлагаемой читателю книги — это стремление показать возможности и условия, при которых может быть достигнута экономия энергии.

При рассмотрении возможностей рационального использования топлива и энергии, и это подчеркивают авторы книги, недопустимо снижение уровня жизненных условий.

Так же недопустимо при решении проблемы рационального потребления топлива и энергии принимать во внимание только энергетические аспекты без учета капитальных затрат на строительные конструкции и оборудование здания.

В книге рассматриваются как единое целое три аспекта рационального использования топлива и энергии: а) требования к строительным конструкциям и зданиям с теплотехнической точки зрения; б) возможность снижения тепловых потерь и потребления топлива и энергии; в) экономическая оценка теплотехнических свойств строительных конструкций.

Наибольшее внимание при определении возможностей уменьшения тепловых потерь и потребления энергии для отопления зданий уделяется строительным конструкциям. Улучшение теплотехнических свойств строительных конструкций, прежде всего стен и окон, включая их герметизацию, является самым важным средством, обеспечивающим рациональное потребление топлива и энергии. Однако в книге приводятся и другие решения, которые могут способствовать эффективному использованию энергии при отоплении зданий. Их следует учитывать и в тех случаях, когда здание уже выполнено из строительных конструкций, обладающих эффективными теплоизоляционными свойствами.

Важно использовать возможность экономии за счет влияния на тепловой режим внутренней и наружной среды, геометрического и диспозиционного решения здания, эксплуатации отопления, а также повышения эффективности отопительного оборудования (в частности, с использованием средств регулирования расхода тепловой энергии). В книге, хотя и очень кратко, рассказывается об использовании солнечной энергии и вторичной теплоты, отводимой от вентиляционного оборудования.

Безусловно, осуществление мероприятий по рациональному использованию энергии во многом зависит от отношения к этой проблеме специалистов, эксплуатирующих здания.

Авторы благодарят редактора и.и.ж. Мирославу Мусилову за ценные замечания и коллектив сотрудников Отделения строительной теплотехники Исследовательского института надземных зданий Праги за предоставленные материалы и помощь при подготовке книги к изданию.

# 1. ОСНОВНЫЕ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К СТРОИТЕЛЬНЫМ КОНСТРУКЦИЯМ И ЗДАНИЯМ

Строительные конструкции и здания с учетом материально-производственных возможностей и затрат на эксплуатацию зданий должны соответствовать следующим основным теплотехническим требованиям:

- обеспечивать в здании требуемый температурный режим; предупреждать конденсацию водяных паров на поверхности или внутри конструкции;
- обеспечивать требуемую воздухопроницаемость строительных конструкций, швов и стыков;
- обеспечивать наименьшие тепловые потери и потребление энергии на отопление.

## 1.1. ТЕПЛОВЫЙ РЕЖИМ ЗДАНИЯ

Требуемый тепловой режим здания определяется необходимостью обеспечения теплового комфорта и рационального производственного процесса.

Тепловой комфорт зависит, с одной стороны, от физических условий окружающей среды, с другой — от физиологических, психологических и иных факторов, воздействующих на организм человека.

Теплотехнические свойства строительных конструкций и здания в целом влияют на обмен теплотой между телом человека и окружающей средой. Человеку для выполнения жизненных процессов требуется энергия, которую он получает за счет пищи. Большая часть этой энергии превращается в теплоту, которая возникает в теле человека и зависит от его массы и рода деятельности. Так как масса людей различна, для теплотехнических расчетов принимается так называемый нормальный человек, рост которого 175 см, поверхность тела 1,8 м<sup>2</sup>. Если человек находится в абсолютном покое (глубокий сон), в его теле вырабатывается теплота, равная 80 Вт. При повышении активности человека количество тепловой энергии возрастает (табл. 1).

Известно, что здоровый человек имеет постоянную температуру тела. Вырабатываемая его телом теплота отводится в окружающее пространство. Состояние, при котором в окружающее пространство отводится столько теплоты, сколько ее вырабатывается в теле человека, называется состоянием теплового равновесия тела человека. Таким образом, постоянная температура тела человека и тепловое равновесие являются основным критерием его теплового комфорта.

Т а б л и ц а 1. Теплота, выделяемая телом человека [21, 63]

Род деятельности	Выделяемая теплота*, Вт
Абсолютный покой (глубокий сон)	80
Положение сидя	От 90 до 95
Тихое чтение, сидя, без опоры	115
Громкое чтение, сидя, с опорой на стол	От 120 до 125
Работа в лаборатории	От 140 до 160
Очень легкая работа — работа сидя или стоя, без преодоления больших усилий (шитье, ручная упаковка, черчение и т.п.)	140
Легкая работа — работа сидя или стоя в движении, связанная с преодолением малых усилий (наладчик, механик, сварщик и т.п.)	От 140 до 200
Работа средней тяжести — работа стоя или в движении, связанная с преодолением средних усилий (кузнец, вальцовщик, разливщик, грузчик — перенос грузов от 30 до 60 кг, обслуживание нескольких агрегатов, работа в красильных цехах и т.п.)	От 200 до 255
Тяжелая работа — работа стоя или в движении, связанная с преодолением больших усилий (погрузка сыпучего материала лопатой на высоту 150 см, грузчик — перенос грузов от 60 до 80 кг и т.п.)	От 255 до 315

\* Значения справедливы при скорости потока воздуха менее 0,25 м/с и условии, что человек не покрывается при работе потом.

Тело человека теряет теплоту за счет прямого отвода, излучения, испарения воды в легких, выдыхания более теплого воздуха, чем вдыхаемый воздух, испарения пота с поверхности тела. С точки зрения теплового равновесия человека, наиболее важными являются прямые теплопотери, излучение теплоты и испарение пота с поверхности тела. Тепловые потери за счет прямого отвода зависят от температуры окружающего воздуха и скорости его движения. Тепловые потери за счет излучения зависят от температуры окружающих поверхностей. Тепловые потери за счет испарения пота зависят от давления водяного пара в окружающем воздухе. Так как давление водяного пара зависит от температуры и относительной влажности воздуха, то можно считать, что и тепловые потери человека за счет испарения пота зависят от этих параметров.

Из рассмотренного видно, что тепловое равновесие человека в помещении (здании) можно обеспечить подбором соответствующих параметров: температуры воздуха; температуры поверхностей строительных конструкций; относительной влажности воздуха; скорости циркуляции внутреннего воздуха.

В качестве благоприятных с точки зрения теплового равновесия человека в зимнее время принимаются параметры, приведенные в табл. 2.

Под суммарной температурой помещения  $t_M$  (см. табл. 2) понимают сумму температуры воздуха  $t_i$  и средней температуры внутренних поверхностей ограждающих конструкций помещения  $t_p$ :

$$t_M = t_i + t_p \quad (1)$$

$$\text{где } t_p = \frac{t_{p1} S_1 + t_{p2} S_2 + \dots + t_{pn} S_n}{S_1 + S_2 + \dots + S_n} \quad (2)$$

Здесь  $t_{p1}, t_{p2}, \dots, t_{pn}$  — температура внутренней поверхности отдельных строительных конструкций с площадью соответственно  $S_1, S_2, \dots, S_n$ ;  $n$  — количество отдельных типов строительных конструкций.

Параметры в табл. 2 характеризуют общий температурный режим внутренней среды помещения и являются необходимыми, однако недостаточными условиями теплового комфорта. Для обеспечения теплового комфорта человека его тело не должно быть охлаждено или перегрето: человек не должен покрываться при работе потом; теплотери тела не должны снижаться за счет ограничения циркуляции крови между внутренними и наружными органами; должно быть обеспечено благоприятное соотношение тепловых потерь тела за счет прямого отвода и излучения теплоты. Для человека определенной массы и установленного рода деятельности средняя температура кожи и количество выделяемого пота не должны сильно изменяться.

Таким образом, теплотехнические свойства строительных конструкций в холодный период года зависят: 1) от тепловых потерь за счет процесса теплопередачи и излучения; 2) от тепловых потерь от наружных органов человека.

В первом случае важно установить наибольшую допустимую разницу температуры внутреннего воздуха  $t_i$  и внутренней поверхности соответствующих конструкций  $t_{ip}$ :

$$\Delta t = t_i - t_{ip} \quad (3)$$

Эта разница температуры в зависимости от типа и конструкций и их назначения приведена в табл. 3.

Во втором случае речь идет прежде всего о тепловых потерях через ногу человека при ее соприкосновении с конструкцией пола. При определенных условиях может случиться, что

Т а б л и ц а 2. Параметры окружающей среды, обеспечивающие тепловое равновесие человека в холодный период года [57, 59]

Тип здания	Температура воздуха $t_i, ^\circ\text{C}$	Суммарная температура $t_M, ^\circ\text{C}$	Относительная влажность $\varphi, \%$	Скорость воздуха, м/с
Жилые и общественные	20	38	От 40 до 60	< 0,1
	очень легкая	От 18 до 20	36	От 50 до 60
Производственные с видом работы	легкая	От 16 до 18	От 32 до 36	От 50 до 60 < 0,15
	средняя	От 14 до 16	От 26 до 32	50 (< 0,2)
	тяжелая	От 12 до 14	От 20 до 26	45

Т а б л и ц а 3. Допустимая разница температуры внутреннего воздуха и внутренней поверхности строительных конструкций [59, 61, 63]

Тип здания	Конструкции					
	наружные			внутренние		
	вертикальные	горизонтальные		вертикальные	горизонтальные	
		плоские кровли	полы		потолок	полы
Жилые и общественные	4	2,2	3	4	4	3
Производственные с видом работы	Очень легкая 6	4	3	6	6	3
	Легкая 6	5	3	6	6	3

при соприкосновении ноги с конструкцией пола она чувствительно охлаждается. С целью недопустимости неблагоприятного ощущения должна обеспечиваться необходимая температура поверхности пола (см. табл. 3), а также определенная относительная теплоемкость пола [17] в зависимости от используемых в его конструкции материалов. Наименьшее снижение температуры ноги человека зафиксировано на паркетном полу из пробки, наибольшее — на полу из бетона (рис. 1). Кривые на рис. 1 различаются тем, что в первом случае (см. кривые 1 и 2) после некоторого снижения происходит возрастание температуры ноги, во втором (см. площадь между

кривыми 3 и 4) происходит постоянное снижение температуры поверхности ноги человека.

Полы, у которых изменение температуры поверхности ноги соответствует кривым 1 и 2 на рис. 1, называют теплыми. Если характер изменения подобен кривым 3 и 4, полы называют холодными.

Характер снижения температуры поверхности ноги человека определяется между ее начальной температурой  $t_{п}$ , °С, и так называемой контактной температурой  $t_{к}$ , °С:

$$\Delta t_{п} = t_{п} - t_{к} \quad (4)$$

Контактная температура определяется по формуле

$$t_{к} = \frac{t_{п} B_{п} + t_{р} B_{р}}{B_{п} + B_{р}}, \quad (5)$$

где  $B_{п} = \sqrt{\lambda_{п} c_{п} \rho_{п}}$  — коэффициент тепловой активности ноги, Вт·с<sup>1/2</sup> / (м<sup>2</sup>·К);  $B_{р} = \sqrt{\lambda_{р} c_{р} \rho_{р}}$  — то же, пола, Вт·с<sup>1/2</sup> / (м<sup>2</sup>·К);  $\lambda_{п}(р)$  — теплопроводность ноги человека (пола), Вт/(м·К);  $c_{п}(р)$  — удельная теплоемкость ноги человека (пола), Дж/(кг·К);  $\rho_{п}(р)$  — объемная масса ноги человека (пола), кг/м<sup>3</sup>.

Чтобы охлаждение ноги при соприкосновении было как можно меньше, разница между начальной температурой ноги человека  $t_{п}$  и контактной температурой  $t_{к}$  должна быть как можно меньше. Из формулы (5) следует, что при заданных значениях  $t_{п}$ ,  $B_{п}$  и  $t_{р}$  это возможно при наименьшей тепловой активности пола. Как уже говорилось, наиболее эффективен паркетный пол из пробки, который имеет коэффициент тепловой активности  $B_{р} = 132$  Вт·с<sup>1/2</sup> / (м<sup>2</sup>·К), а самым неблагоприятным полом является бетонный пол с  $B_{р} = 1780$  Вт·с<sup>1/2</sup> / (м<sup>2</sup>·К).

Приведенные данные по тепловому комфорту человека относятся к холодному периоду года. Требования и критерии для оценки теплового комфорта человека в теплый период исходят из иных условий.

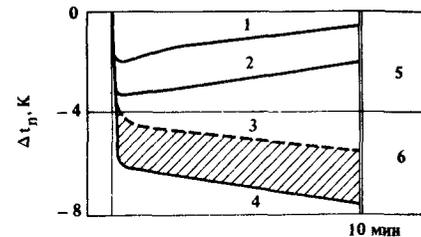
Для жилых и общественных зданий в теплый период принимают [59]: суммарную температуру помещения

$$t_{М} = t_{i} + t_{р} \leq 51 \text{ °С}, \quad (6)$$

относительную влажность внутреннего воздуха в пределах 35—50% и подвижность воздуха не более 0,1 м/с.

В производственных зданиях промышленных предприятий в рабочей зоне [63] в теплый период должна быть температура воздуха не более чем на 3 °С выше температуры наружного воздуха, если внутренние теплоступления в здании меньше 25 Вт/м<sup>3</sup>, и не более чем на 5 °С выше, если теплоступления больше 25 Вт/м<sup>3</sup>.

Рис. 1. Изменение температуры ноги человека при соприкосновении с полом [17]  
1 — паркет из пробки; 2 — деревянный пол; 3 — слой объемной массой 1200 кг/м<sup>3</sup> и более, с которыми соприкасается нога человека; 4 — бетон; 5 — теплый пол; 6 — холодный пол



Для жилых и общественных зданий условие (6) дополняется требованием, обеспечивающим состояние, при котором человек во время работы не покрывался потом. Испарение пота с поверхности тела происходит при любой температуре окружающего воздуха: до температуры 26—27 °С происходит сухое потение; при температуре выше указанной начинается мокрое потение, которое усиливается с повышением температуры. Условие (6) поэтому применимо при проектировании строительных конструкций совместно с дополнительным условием:  $t_i \leq 27$  °С или  $t_{р} \leq 27$  °С.

Таким образом, требуемый тепловой режим обеспечивается значениями четырех параметров внутреннего микроклимата и несколькими дополнительными условиями.

Учитывая сложную зависимость влияния всех факторов на комфорт человека, справедливо поставить вопрос: к чему приведет несоблюдение требуемых условий или каким образом можно компенсировать отклонение одного параметра за счет изменения значения другого? Например, суммарная температура помещения жилых и общественных зданий в зимнее время года должна быть 38 °С. При этом предполагают, что температура воздуха будет 20 °С и средняя температура внутренних поверхностей 18 °С. Но суммарную температуру помещения можно обеспечить разной комбинацией температуры воздуха и средней температуры внутренних поверхностей (рис. 2). Если, например, средняя температура внутренних поверхностей помещения  $t_{р} = 16$  °С, то необходимая температура внутреннего воздуха 22 °С, а при  $t_{р} = 14$  °С  $t_i = 24$  °С (на рис. 2 показана взаимозависимость  $t_i$  и  $t_{р}$  при других значениях суммарной температуры помещения).

Заметное влияние на самочувствие человека оказывает и повышенная сверх допустимого значения скорость цирку-

ляци воздуха в помещении. Если циркуляция воздуха в жилых и общественных зданиях происходит со скоростью 0,25 м/с, то для сохранения благоприятного теплового режима температура воздуха должна быть повышена до 22 °С, а при скорости циркуляции 0,4 м/с температура внутреннего воздуха должна быть повышена до 23 °С.

Имеются данные о том, что изменение относительной влажности внутреннего воздуха в интервале от 30 до 70% никак не ухудшает чувствительности человека к температуре (естественно, что при этом обеспечиваются требуемые значения всех остальных параметров).

Вместе с тем при рассмотренной коррекции значений отдельных параметров, характеризующих общий тепловой режим помещения, нельзя нарушать дополнительные условия.

Например, при разнице температуры воздуха и внутренней поверхности конструкции, выше требуемой (см. табл. 3), происходит интенсивное тепловое излучение между телом человека и поверхностью конструкции. Его называют "холодным излучением", или "негативной радиацией". Если указанная разница температур равна 6 °С, человек теряет ощущение холода только на расстоянии 0,75 м от строительной конструкции.

В некоторых зданиях производственный процесс происходит при высокой температуре внутреннего воздуха. В этих случаях можно скорректировать температурный режим внутренней

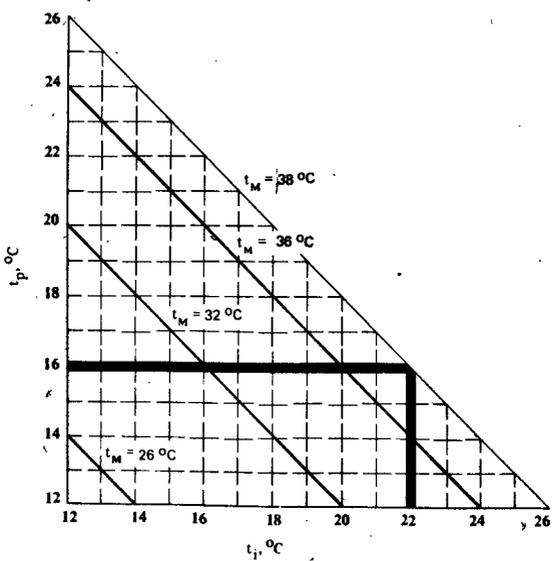


Рис. 2. Значения суммарной температуры помещения  $t_M$  при различной температуре воздуха  $t_i$  и средней температуре поверхности строительных конструкций  $t_p$

Т а б л и ц а 4. Требуемая скорость циркуляции воздуха в помещении с высокой температурой воздуха [39]

№ п/п	Допустимый вид работ	Наибольшая допустимая температура воздуха, °С	Требуемая скорость циркуляции воздуха, м/с
1	От очень легкой	От 23 до 24	0,25
2	до легкой	От 25 до 26	0,30
3		От 27 до 28	0,40
4		От 29 до 30	0,60

среды за счет повышения скорости циркуляции воздуха (табл. 4).

Однако тепловой режим зданий не определяется только необходимостью поддержания теплового комфорта. Если значения параметров, характеризующих тепловой режим внутренней среды, отклоняются от требуемых, то это может привести к ухудшению здоровья людей, поскольку для здоровья небезопасно как чрезмерное охлаждение, так и чрезмерный перегрев.

Чрезмерное охлаждение организма человека может вызываться большими тепловыми потерями. Эта ситуация приводит к повышенной заболеваемости дыхательных путей и появлению ревматических болезней (хотя в работе [35] указывается, что причастность чрезмерного охлаждения в появлении этого заболевания не совсем доказана). Под влиянием холода высыхает и трескается кожа. Охлаждение уменьшает подвижность и чувствительность нижних конечностей.

Чрезмерный перегрев организма вызывает выделение пота, организм обезвоживается и теряет соли. Недостаток воды и соли бывает причиной ухудшения здоровья и появления кровотечения. Перегрев организма повышает перегрузку органов кровообращения и дыхания, что особенно неблагоприятно для людей, которые уже имеют связанные с этим заболевания. Кроме того, тепловой режим помещений с более высокими параметрами способствует абсорбции отдельных веществ легкими и кожей. Происходит также изменение химического состава кожи, что способствует воздействию на нее веществ, растворяемых в поте. Тем самым создаются благоприятные условия для жизнедеятельности микроорганизмов, поражающих кожу [35].

Рациональный производственный процесс. Некоторые технологии и производственная деятельность требуют определенного теплового режима помещений, для обеспечения которого следует учитывать параметры как теплового комфорта людей, так и технологического процесса.

Производительность человека, занятого определенной деятельностью, зависит и от температурного режима внутренней среды. Тепловой режим помещения можно охарактеризовать так называемой эффективной температурой. Доказано, что при разных значениях эффективной температуры производительность людей различна. Если принять производительность человека при эффективной температуре  $20^{\circ}\text{C}$  за 100%, то при температуре  $27^{\circ}\text{C}$  она будет 80–90%, при температуре  $30^{\circ}\text{C}$  — 50–70%, а при температуре  $35^{\circ}\text{C}$  — всего 20%. Экспериментально доказано влияние эффективной температуры на психологическую деятельность, например счет, передачу знаков Морзе, реакцию воздействия на органы управления (кнопки, рычаги и т.п.), причем при повышении эффективной температуры до  $30^{\circ}\text{C}$  производительность труда понижается до 70–90% первоначальной и при температуре  $35^{\circ}\text{C}$  — до 55–75%. И хотя во втором случае данные более благоприятные, необходимо помнить, что потери, вызванные ошибками при управлении производственными процессами, могут быть в конечном счете значительно большими, чем потери, возникшие при снижении физической производительности [10].

Под эффективной температурой понимают температуру воздуха в спокойном состоянии, полностью насыщенного водяными парами ( $\varphi = 100\%$ ), которая вызывает у человека те же тепловые воздействия, что и среда с фактическим тепловым режимом, т.е. с температурой воздуха  $t_r$ , относительной влажностью  $\varphi$  и определенной скоростью циркуляции воздуха [21].

Доказано возрастание числа травм при отклонении от оптимальных значений параметров внутреннего микроклимата. Было определено, что при работе легкой и средней тяжести в производственном здании наименьшее число травм наблюдалось при температуре от  $18,5$  до  $20,6^{\circ}\text{C}$ ; при температуре воздуха  $25^{\circ}\text{C}$  количество травм возрастает до 23% и более, а при понижении температуры до  $12,8^{\circ}\text{C}$  количество травм возрастает более чем на 34% (по сравнению с количеством травм при оптимальной температуре воздуха).

Рациональное производство некоторых изделий требует обеспечения требуемой влажности воздуха. Приводятся данные [29], что в текстильных цехах необеспечение соответствующей температуры и относительной влажности воздуха вызывает увеличение брака до 10–15% всего объема производства изделий. Требования к тепловому режиму помещений в текстильных производствах зависят как от вида перерабатываемых волокон, так и от степени их обработки. Например, кардные машины для переработки шерсти, шелка и хлопка требуют температуры воздуха  $23$ – $27^{\circ}\text{C}$  и его относительной влажности 50–55%, для обработки некоторых искусственных волокон — температура воздуха  $20^{\circ}\text{C}$  и его относительной влажности 50–55%.

Цеха по производству бумаги и типографии также должны иметь определенные границы параметров теплового режима. Особенно важна влажность воздуха, вызывающая реакцию бумаги: изменение относительной влажности воздуха с 25 до 80% способствует удлинению бумаги на 8 мм/м [21]. Изменение длины бумаги вызывает трудности прежде всего при многоцветной печати. За наиболее благоприятную в этих производствах принимается относительная влажность воздуха 60–65%.

В табачной промышленности в цехах увлажнения необходимо поддерживать относительную влажность воздуха 92–93%, в цехах резки — 75–80, в упаковочных цехах — 60%. Во всех этих цехах требуется температура воздуха  $22$ – $24^{\circ}\text{C}$ .

При изготовлении шоколадных изделий и конфет температура воздуха не должна превышать  $20^{\circ}\text{C}$ , а относительная влажность воздуха 30–50% [21].

Весьма влияет температура воздуха на точность измерения размеров изделий. При несоблюдении предписанных границ температуры воздуха нельзя вообще проводить измерения с заданной точностью. Например, если ошибка измерения не должна быть более  $\pm 1$ – $2$  мк/м, то температура воздуха должна колебаться в пределах не более  $\pm 2^{\circ}\text{C}$ . Если ошибка измерения должна быть меньше  $\pm 0,1$  мк/м, то колебание температуры воздуха должно быть не более  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ .

Если требуемый тепловой режим помещения по технологическим требованиям находится в противоречии с тепловым комфортом, то необходимо: а) компенсировать неблагоприятное воздействие отклоняющихся параметров за счет корректировки значений других параметров (как указывалось на стр. 9–10); б) провести специальные мероприятия: организовать рабочий день с частыми перерывами в работе, обеспечить отдых в специальных помещениях, обеспечить теплой одеждой и т.п.

## 1.2. КОНДЕНСАЦИЯ ВОДЯНЫХ ПАРОВ

При определенных условиях водяные пары могут конденсироваться на внутренней поверхности и внутри конструкций. Увеличение содержания влаги в строительных конструкциях по многим причинам является неблагоприятным фактором. Прежде всего ухудшаются теплотехнические свойства строительных конструкций. Влажные конструкции являются благоприятной средой для появления и роста плесени, грибка и различных микроорганизмов, в результате конструкции могут быть забракованы по гигиеническим соображениям. Не исключено, что повышение влажности может ухудшить условия для хранения предметов и изделий, находящихся в помещении, понизить их свойства и т.п. Влажность влияет также на срок

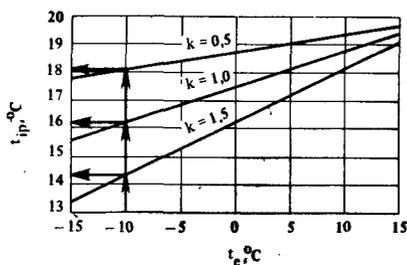
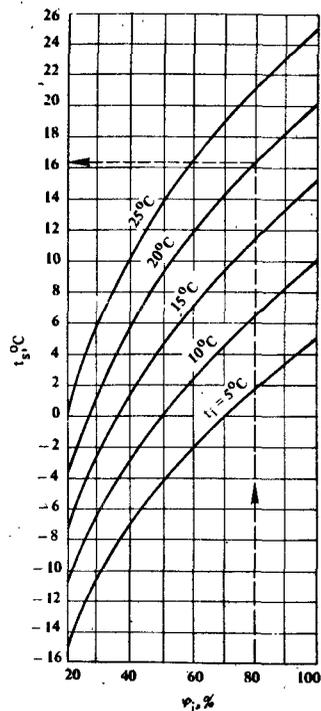


Рис. 4. Значения температуры на внутренней поверхности конструкции  $t_{ip}$  при различных коэффициентах теплопередачи  $k$  и температуре наружного воздуха  $t_e$

Рис. 3. Зависимость температуры точки росы  $t_s$  от температуры  $t_i$  и относительной влажности воздуха  $\phi_i$

службы строительных конструкций. Известно, что морозостойкость строительных материалов уменьшается при увеличении содержания влаги в них.

Конденсация водяных паров на внутренней поверхности и внутри конструкции происходит при снижении температуры в некотором месте ниже температуры точки росы.

Температура точки росы  $t_s$  зависит от температуры воздуха  $t_i$  и от относительной влажности воздуха  $\phi_i$  (рис. 3). Чтобы температура на внешней поверхности была выше температуры точки росы, строительная конструкция должна при заданных условиях внутренней и наружной среды иметь соответствующие теплотехнические свойства. При установившемся температурном режиме температура внутренней поверхности конструкции зависит от коэффициента теплопередачи. На рис. 4 приведена температура внутренней поверхности конструкции  $t_{ip}$  при коэффициенте теплопередачи ограждения  $k = 0,5; 1,0$  и  $1,5$  Вт/(м<sup>2</sup>·К) при внутренней температуре воздуха  $t_i = 20^\circ\text{C}$  и температуре наружного воздуха  $t_e$  в интервале от  $-15$  до  $+15^\circ\text{C}$ . Видно, что  $t_{pi}$  тем выше, чем ниже значение коэффициента теплопередачи и чем выше

температура наружного воздуха. Например, при температуре наружного воздуха  $-10^\circ\text{C}$  температура внутренней поверхности  $t_{ip} = 14,4^\circ\text{C}$  при  $k = 1,5$  Вт/(м<sup>2</sup>·К);  $t_{pi} = 16,2^\circ\text{C}$  при  $k = 1,0$  Вт/(м<sup>2</sup>·К) и  $t_{ip} = 18,1^\circ\text{C}$  при  $k = 0,5$  Вт/(м<sup>2</sup>·К). Для воздуха с температурой  $t_i = 20^\circ\text{C}$  и относительной влажностью  $\phi_i = 80\%$  температура точки росы  $t_s = 16,2^\circ\text{C}$  (см. рис. 3). Если сравним это значение с установленными выше значениями  $t_{pi}$ , то очевидно, что для конструкции с  $k = 1,5$  Вт/(м<sup>2</sup>·К) температура поверхности ниже температуры точки росы, при  $k = 1,0$  Вт/(м<sup>2</sup>·К) равна ей и при  $k = 0,5$  Вт/(м<sup>2</sup>·К) — выше температуры точки росы.

Из приведенного следует, что для обеспечения температуры на внутренней поверхности выше температуры точки росы проектировать конструкции надо так, чтобы они имели наименьшее значение коэффициента теплопередачи.

Особенно часто конденсация водяных паров происходит в углах помещения, на железобетонных перемычках, колоннах, металлических рамах и т.п., т.е. на поверхностях так называемых мостиков холода.

Если водяные пары не конденсируются на внутренней поверхности конструкции, то это еще не значит, что невозможна их конденсация внутри конструкции. Водяные пары, содержащиеся в воздухе, проникают в пористые материалы конструкции и это влияет на парциальное давление водяных паров воздуха в отдельных местах конструкции. Однако воздух может содержать только определенное максимальное количество водяных паров, что называют состоянием полного насыщения. Если в насыщенный водяным паром воздух подводится дополнительное количество пара, то он конденсируется, а при отрицательной температуре этот конденсат превращается в кристаллы льда.

Парциальное давление водяного пара при полном насыщении им воздуха зависит только от температуры. Эта зависимость в интервале температуры от  $-20$  до  $+20^\circ\text{C}$  показана на рис. 5.

Изменение температуры в строительной конструкции зависит от ее теплотехнических свойств, а проникание водяных паров зависит от диффузионных свойств конструкции.

При определенных теплотехнических и диффузионных свойствах конструкции в некоторых ее местах наступает такое состояние воздуха, при котором он полностью насыщен водяными парами. Дальнейшее насыщение водяными парами приводит к их конденсации.

Для оценки возможности конденсации водяных паров внутри конструкции необходимо установить изменения температуры в конструкции, а это, в свою очередь, позволяет опреде-

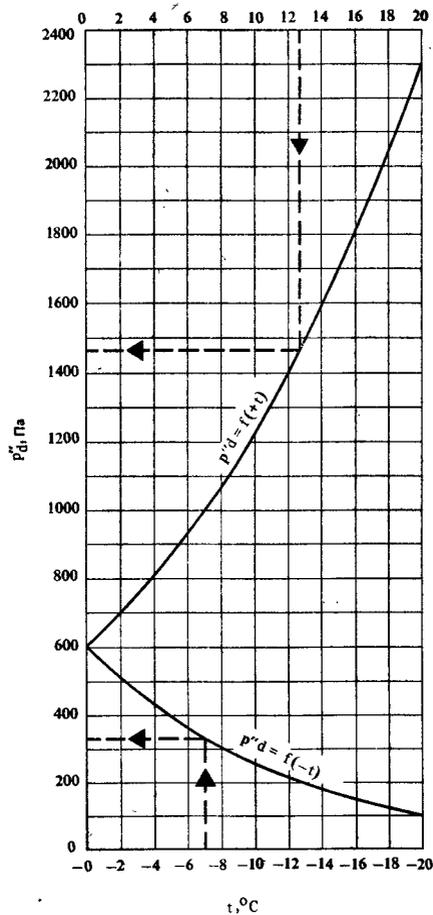
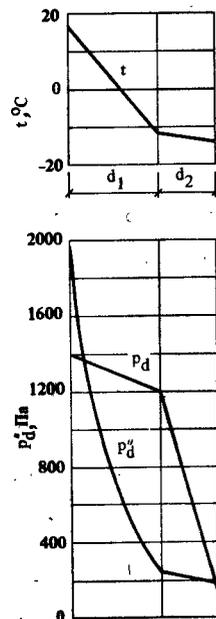


Рис. 5. Зависимость парциального давления водяного пара при полном насыщении им воздуха  $p'_d$  от температуры  $t$

Рис. 6. Зависимости, при которых возможна конденсация пара внутри конструкции  
 $t$  — температура,  $p_d$  — парциальное давление водяных паров,  $p'_d$  — парциальное давление при полном насыщении водяных паров из воздуха;  $d_1, d_2$  — толщина слоев конструкции



торый пропускает очень мало водяных паров (например, водостойкий ковер в плоских кровлях) или вообще не пропускает никаких паров (например, в наружных панелях с внешним слоем из металла или стекла).

Чтобы водяные пары не могли конденсироваться внутри конструкции, ее слои следует располагать с постепенным снижением их диффузионного сопротивления от внутренней поверхности к наружной. Первый (внутренний) слой должен в этом случае пропускать как можно меньше водяных паров (должен иметь наибольшее сопротивление диффузии водяного пара), а последний (наружный) слой должен пропускать наибольшее количество водяных паров (должен иметь наименьшее сопротивление диффузии водяного пара). На рис. 6 первый слой имеет сопротивление диффузии  $3,81 \cdot 10^9$  м/с, второй слой —  $18,75 \cdot 10^9$  м/с, что приводит к конденсации водяных паров; если же слои расположить в обратном порядке (рис. 7), то опасность конденсации водяных паров внутри конструкции устраняется.

Так как это правило не всегда можно применить, для устранения возможности конденсации водяного пара проектируют конструкции с вентилируемой воздушной прослойкой или с сетью вентилируемых каналов перед внешним слоем, имеющим большое сопротивление диффузии водяного пара (рис. 8).

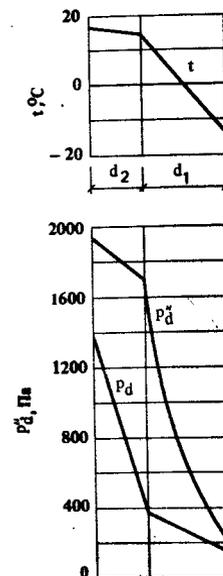


Рис. 8. Решение конструкции с вентилируемой воздушной прослойкой  
 $d$  — толщина основного слоя конструкции;  $d_{vv}$  — толщина слоя воздуха;  $d_{pv}$  — толщина слоя пароизоляции

Рис. 7. Зависимости, характеризующие конструкцию без внутренней конденсации пара (обозначения — см. рис. 6)

лечь изменение парциального давления водяного пара при полном насыщении им воздуха  $p''_d$ . Затем определяется изменение действительного парциального давления водяного пара  $p_d$ . Если в некотором месте конструкции  $p''_d < p_d$ , то здесь возникает возможность конденсации водяных паров (рис. 6). Там, где  $p_d < p''_d$ , опасности конденсации водяных паров в конструкции нет (рис. 7).

Конденсация водяных паров внутри конструкции происходит, как правило, если с внешней стороны имеется слой, ко-

### 1.3 ВОЗДУХОПРОНИЦАЕМОСТЬ

Через строительные конструкции, швы и стыки воздух проникает в том случае, если они воздухопроницаемы, и при условии, что существует разница между внутренним и наружным давлением.

Разница между внутренним и наружным давлением воздуха может быть вызвана действием гравитационных сил или изменением кинетической энергии ветра. Явление, при котором воздух проникает в здание, называется *инfiltrацией* воздуха; в случаях, когда воздух проникает из здания во внешнюю среду, говорят об *экcфилтрации*.

*Инfiltrация воздуха* в холодный период года через наружные ограждения снижает температуру на внутренней поверхности конструкции.

Снижение температуры на внутренней поверхности ограждения (рис. 9) от значения  $t_{ip}$  (при отсутствии инfiltrации) до  $t_{ipG}$  (при наличии инfiltrации) можно компенсировать или за счет увеличения толщины конструкции (увеличения сопротивления ее воздухопроницаемости) или путем повышения температуры воздуха (см. рис. 2). Такие мероприятия необходимы во избежание ухудшения теплового режима помещения. В первом случае увеличиваются капитальные затраты на конструкции, а во втором — тепловые потери и прибавление энергии на отопление. Однако для распространенных конструкций эта проблема не стоит так остро. Например, для конструкций из шлаковой пемзы, оштукатуренной с внутренней и наружной стороны цементным раствором толщиной в 1 и 2 см, при инfiltrации температура внутренней поверхности изменяется на  $\Delta t_{ipG} = 0,02^\circ\text{C}$ .

Совершенно иное положение с инfiltrацией воздуха через уплотнение притворов окон и дверей, которая часто весьма заметно ухудшает тепловой режим зданий и увеличивает тепловые потери. Количество воздуха, проникающего в здание, тем больше, чем хуже герметичность притворов и больше скорость ветра (рис. 10). Так, при скорости ветра 8 м/с количество инfiltrующего воздуха равно  $8 \text{ м}^3/\text{ч}$  через 1 м притвора окна. Такое количество воздуха вызовет потерю тепловой энергии в количестве в 100 Вт.

*Экcфилтрация воздуха* через конструкцию может быть причиной повышенной конденсации водяных паров в ее толще. При экcфилтрации количество водяных паров, проникающих в конструкцию, будет больше, чем при обычной диффузии пара.

Инfiltrация и экcфилтрация воздуха через строительные конструкции, швы и стыки нежелательны с теплотехнической точки зрения. Однако с гигиенической точки зрения

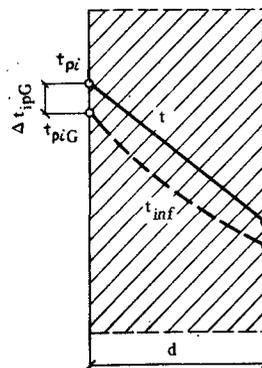


Рис. 9. Изменение температуры конструкции в зависимости от инfiltrации воздуха  $t$  — без инfiltrации;  $t_{inf}$  — с инfiltrацией

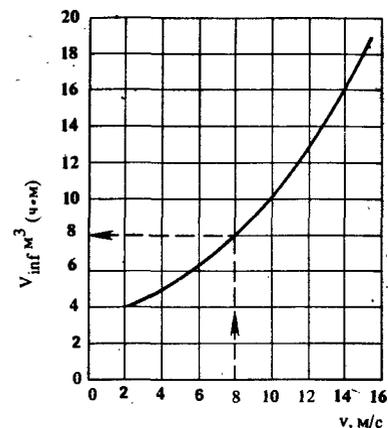


Рис. 10. Зависимость количества инfiltrующегося воздуха  $V_{inf}$  через 1 м шва окна от скорости ветра  $v$

определенный обмен воздуха в зданиях необходим. Если он не обеспечивается иным способом, чем инfiltrация, то обмен воздуха в зданиях через притворы окон и дверей допускается, но он не должен превышать нормируемые значения.

Обеспечение теплового комфорта людей, оптимальных условий производственного процесса, гигиенических и других требований, связано с необходимостью подвода в здание тепловой энергии для покрытия тепловых потерь.

Основным требованием рационального потребления топлива и энергии является максимально возможное уменьшение тепловых потерь во всех областях хозяйственной деятельности и, следовательно, теплотеря зданий. Эта экономия не должна ухудшать ни одно из рассмотренных требований. Поэтому о рациональном потреблении топлива и энергии для отопления можно говорить только при выполнении всех требований, предъявляемых к строительным конструкциям и зданиям.

### 1.4. НОРМАТИВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ И КРИТЕРИИ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ И ЗДАНИЙ

Выбор теплотехнических свойств строительных конструкций и зданий определяется нормативными требованиями и критериями. Они являются гарантией создания требуемо-

го теплового режима зданий, проектирования конструкций безопасных с точки зрения конденсации водяных паров на их внутренней поверхности, а также в толще ограждения. Кроме того, они обеспечивают проектирование конструкций, стыков и швов с нормируемой инфильтрацией воздуха и лимитированным потреблением энергии на отопление.

В соответствии с нормами\* ЧСН 73 0540 [59] и другими нормами теплотехнические требования распространяются на следующие свойства строительных конструкций и зданий: 1) сопротивление теплопередаче строительных конструкций; 2) затухание температурного колебания в строительных конструкциях; 3) тепловая активность конструкций пола; 4) теплоустойчивость помещения; 5) количество водяных паров, сконденсированных в строительной конструкции, и количество влаги, испаряющейся из строительных конструкций; 6) воздухопроницаемость строительных конструкций, стыков и швов; 7) теплотребность на отопление; 8) теплотехническая и экономическая оценка строительных конструкций.

Сопротивление теплопередаче строительных конструкций определяется для холодного периода года в соответствии с установившимся температурным состоянием в зависимости от температуры внутреннего  $t_i$  и наружного  $t_e$  воздуха, с учетом требуемой температуры внутренних поверхностей наружных ограждений  $t_{ip}$  или разницы температуры внутреннего воздуха и внутренней поверхности конструкции  $\Delta t_{ip} = t_i - t_{ip}$  при известных значениях сопротивления теплообмену на внутренней  $R_i$  и на наружной  $R_e$  стороне конструкции. Если сопротивление теплопередаче определяется с учетом температуры точки росы, то учитывается еще одна величина — относительная влажность внутреннего воздуха  $\varphi_i$ .

Температура внутреннего воздуха  $t_i$  устанавливается:

а) для жилых и общественных зданий в соответствии с нормами ЧСН 73 0540 [59] 20°C;

б) для производственных зданий с учетом технологических требований по нормам ЧСН 73 0560 [63].

Температура наружного воздуха  $t_e$  принимается (рис. 11) [59]:

а) для жилых и общественных зданий по нормам ЧСН 73 0540:  $t_e = -15^\circ\text{C}$  для температурного района I;  $t_e = -18^\circ\text{C}$  для температурного района II и в местах с отметкой выше 600 м над уровнем моря для температурного



Рис. 11. Границы температурных районов ЧССР для холодного периода года [59]

района I;  $t_e = -21^\circ\text{C}$  для температурного района II в местах с отметками от 800 до 1400 м над уровнем моря;

б) для производственных зданий в соответствии с нормами ЧСН 73 0540 для наружных конструкций, имеющих величину затухания амплитуды температурного колебания  $\nu \geq 6,9$ , по формуле

$$t'_e = t_e - \Delta t_e \quad (7)$$

где  $\Delta t_e$  — снижение расчетной температуры наружного воздуха, учитывающее малую тепловую инерцию наружных ограждений. Значение  $\Delta t_e$  приведено в табл. 5 в зависимости от величины  $\nu$ .

Для мест с отметками выше 1400 м над уровнем моря в температурном районе II соответствующее значение сопротивления теплопередаче наружных ограждений устанавливается в зависимости от конкретной расчетной температуры наружного воздуха.

Учитываемая при расчете теплотерь температура воздуха в соседнем помещении определяется в соответствии с нормами ЧСН 06 0210 [58].

Разница между температурой внутреннего воздуха и температурой на внутренней поверхности конструкции  $\Delta t_{ip}$  принимается по табл. 3.

Относительная влажность внутреннего воздуха принимается:

а) в жилых и общественных зданиях по нормам ЧСН 73 0540:  $\varphi_i = 60\%$ ;

\* Нормы Чехословакии имеют обозначение ČSN (ЧСН) (примеч. пер.).

Т а б л и ц а 5. Снижение температуры наружного воздуха  $\Delta t_e$  в зависимости от величины затухания амплитуды температурного колебания  $\nu$  [63]

$\nu$	От 6,89 до 6,0	От 5,99 до 5,2	От 5,19 до 4,4	От 4,39 до 3,3	От 3,29 до 2,3	От 2,29 до 1,3	1,29
$\Delta t_e, K$	1	2	3	4	5	6	7

б) в производственных зданиях — по нормам ЧСН 73 0560. Исключение составляют помещения с интенсивным выделением водяных паров (бани, прачечные), относительная влажность внутреннего воздуха которых определяется в зависимости от интенсивности воздухообмена.

Сопротивление теплообмену внутренней  $R_i$  и внешней  $R_e$  поверхности конструкции приведены в табл. 6.

Значение сопротивления теплопередаче  $R_N$  для наружных и внутренних конструкций приведены в табл. 7 и 8.

Сопротивление теплопередаче мостиков холода, стыков и швов наружных и внутренних строительных конструкций, у-

Т а б л и ц а 6. Коэффициент теплообмена и сопротивление теплообмену наружных и внутренних поверхностей конструкций здания [60]

Поверхности и положение строительной конструкции, период года, направление теплового потока		Коэффициент теплообмена $a_i; a_e, \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{хК})$	Сопротивление теплообмену $R_i; R_e, \text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$	
Внутренние (холодный и теплый период года)	вертикальная конструкция	8	0,125	
	горизонтальная конструкция при направлении теплового потока	снизу вверх	8	0,125
		сверху вниз	6	0,167
Наружные	холодный период года	23	0,043	
	теплый период года	15	0,067	
Внутренние поверхности наружных углов помещений (холодный период года)	горизонтальные	4,7	0,213	
	вертикальные	5,2	0,192	

Т а б л и ц а 7. Сопротивление теплопередаче наружных конструкций здания [59]

Тип наружных конструкций	Сопротивление теплопередаче $R_N, \text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ , при температуре наружного воздуха $t_e, ^\circ\text{C}$		
	-15	-18	-21
Конструкция стены <sup>2</sup>	0,95 (0,55) <sup>1</sup>	1,0 (6,61) <sup>1</sup>	1,10 (0,67) <sup>1</sup>
Плоская конструкция покрытия <sup>3</sup>	1,80 (0,91) <sup>3</sup>	1,95 (1,00) <sup>3</sup>	2,15 (1,10) <sup>3</sup>
Конструкция перекрытия над открытыми проездами и отдельно стоящие колонны <sup>4</sup>	1,80	1,95	2,15

<sup>1</sup> Значения в скобках можно применять: а) не более чем для одной наружной конструкции стены здания, построенного до 31.12.1983; б) для кирпичной кладки, выполненной традиционным способом до 31.12.1985. В случаях "а" и "б" считается, что снижение сопротивления теплопередаче на 8,5% не является нарушением норм.

<sup>2</sup> Для индивидуальных домов, строящихся в местах с сильными ветрами и неблагоприятным расположением, в нормах ЧСН 06 0210 рекомендуется повысить требуемое сопротивление теплопередаче вертикальной конструкции на  $0,05 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ .

<sup>3</sup> Значения сопротивления плоских конструкций покрытий в скобках разрешается принимать для зданий, построенных до 31.12.1983.

<sup>4</sup> Эти значения также распространяются на тамбуры, лоджии, эркеры и т.п.

лов помещения, рам окон и дверей определяют таким образом, чтобы температура их внутренней поверхности была не ниже температуры точки росы.

Значения, приведенные в табл. 7 и 8, применимы для жилых и общественных зданий. Для производственных зданий промышленных предприятий сопротивление теплопередаче строительных конструкций определяется по формуле

$$R_N = R_i \frac{t_i - t_e}{t_i - t_{ip}} - (R_i + R_e). \quad (8)$$

Строительные конструкции производственных зданий должны удовлетворять не только требованиям теплового комфорта (устранение холодного излучения), поэтому температура на внутренней поверхности конструкции  $t_{ip}$  определяется по формуле

Т а б л и ц а 8. Сопротивление теплопередаче внутренних конструкций зданий [59].

Тип внутренних конструкций	Сопротивление теплопередаче $R_{\text{вн}}$ , $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ , при температуре наружного воздуха $t_e$ , $^{\circ}\text{C}$		
	-15	-18	-21
1	2	3	4
Соседние с помещениями, отапливаемыми до одинаковой температуры <sup>1</sup>	—	—	—
Смежные с помещениями, в которых расчетная температура воздуха не менее $10^{\circ}\text{C}$ (например, отапливаемые лестничные клетки)	0,09	0,09	0,09
Смежные с помещениями, в которых температура воздуха ниже $3^{\circ}\text{C}$ в районах с $t_e = -15^{\circ}\text{C}$ ; то же, не ниже $0^{\circ}\text{C}$ — с $t_e = -18^{\circ}\text{C}$ ; то же, не ниже $-3^{\circ}\text{C}$ в районах с $t_e = 21^{\circ}\text{C}$ (например, неотопливаемые лестничные клетки)	0,30	0,39	0,47
Смежные с помещениями, в которых температура воздуха может понизиться ниже $3^{\circ}\text{C}$ в районах с $t_e = -15^{\circ}\text{C}$ ; то же, ниже $0^{\circ}\text{C}$ в районах с $t_e = -18^{\circ}\text{C}$ ; то же, ниже $-3^{\circ}\text{C}$ в районах с $t_e = -21^{\circ}\text{C}$ (например, закрытые проезды)	0,56	0,65	0,74
Конструкции перекрытий над помещениями, в которых расчетная температура не менее $10^{\circ}\text{C}$	0,26	0,26	0,26
Конструкции перекрытий над помещениями, в которых температура воздуха не ниже $3^{\circ}\text{C}$ в районах с $t_e = -15^{\circ}\text{C}$ ; то же, ниже $0^{\circ}\text{C}$ в районах с $t_e = -18^{\circ}\text{C}$ ; то же, ниже $-3^{\circ}\text{C}$ в районах с $t_e = -21^{\circ}\text{C}$	0,65	0,82	0,99
Конструкции перекрытий над помещениями, в которых температура воздуха может понизиться ниже $3^{\circ}\text{C}$ в районах с $t_e = -15^{\circ}\text{C}$ ; то же, ниже $0^{\circ}\text{C}$ в районах с $t_e = -18^{\circ}\text{C}$ ; то же, ниже $-3^{\circ}\text{C}$ в районах с $t_e = -21^{\circ}\text{C}$	1,15	1,35	1,50
Чердачные конструкции перекрытий	0,86	0,95	1,05
Конструкции пола на грунте (на растительном слое и т.п.) <sup>3</sup>	0,75	0,93	1,10

$$t_{ip} = t_s + \Delta t_s, \quad (9)$$

где  $t_s$  — температура точки росы;  $\Delta t_s$  — запас по температуре.

Для конструкций принимается  $\Delta t_s = 0,5^{\circ}\text{C}$  и для мостиков холода, стыков, углов помещений и т.п.  $\Delta t_s = 0^{\circ}\text{C}$ .

Для производств с высокой влажностью воздуха очень трудно обеспечить такое сопротивление теплопередаче строительных конструкций, при котором на внутренней поверхности не конденсировались бы водяные пары. В этом случае более эффективным является решение, при котором допускается конденсация водяных паров на внутренней поверхности строительных конструкций, поверхности укрепляются паро- и водонепроницаемыми слоями. Необходимо при этом предусмотреть отвод конденсата, стекающего на пол.

Сопротивление теплопередаче наружных окон и дверей отапливаемых помещений жилых и общественных зданий приведено в табл. 9.

В производственных зданиях промпредприятий сопротивление теплопередаче наружных окон, дверей и фонарей  $R_o^N$  для отапливаемых помещений с температурой внутреннего воздуха  $15^{\circ}\text{C}$  и выше должно быть не менее  $0,21 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ .

Сопротивление теплопередаче  $R_o = R_i + R + R_e$  и коэффициент теплопередачи  $k = 1/R_o$ .

Затухание температурного колебания в строительных конструкциях определяется для холодного периода года на основе квазистационарного температурного состояния. При определении величины затухания амплитуды температурного колебания принимаются по табл. 10.

а) температура внутреннего воздуха  $t_i = 20^{\circ}\text{C}$  для холодного и  $t_i = 24^{\circ}\text{C}$  для теплого периода года;

б) период гармонического изменения колебаний  $T = 24 \text{ ч}$ ;  
 ба) температура наружного воздуха в холодный период года при амплитуде  $A_e = 5^{\circ}\text{C}$  в районах с расчетной температурой наружного воздуха  $t_e = -15^{\circ}\text{C}$  и  $t_e = -18^{\circ}\text{C}$ ;  $A_e = 6,9^{\circ}\text{C}$  в районах с температурой наружного воздуха  $t_e = -21^{\circ}\text{C}$ ;

<sup>1</sup> Для конструкций между квартирами в домах с местным отоплением требуемое сопротивление теплопередаче следует принимать равным  $0,34 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ .

<sup>2</sup> Для конструкций перекрытий в домах с местным отоплением сопротивление теплопередаче следует принимать равным  $0,43 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ .

<sup>3</sup> Сопротивление теплопередаче подсчитывается для слоев, расположенных выше гидроизоляции.

6б) расчетная температура наружного воздуха в теплый период года при амплитуде  $A_v$  — в соответствии с нормами ЧСН 73 0542;

в) расчетные значения сопротивления теплообмену внутренней  $R_i$  и наружной  $R_e$  поверхностей конструкции.

Для производственных зданий промпредприятий сочень легким и легким характером работы применяются данные табл. 11 (только для теплого периода года).

В производственных зданиях промпредприятий, в которых характер работы отличается от легкого, и необходимо, чтобы температура внутренней поверхности конструкции не колебалась в больших пределах, величина затухания амплитуды колебания температуры определяется по формуле

$$\nu_N = \frac{A_v}{A_{ip}}, \quad (10)$$

где  $A_v$  принимается по нормам ЧСН 73 0542 [60] и  $A_{ip}$  — допустимая амплитуда температуры на внутренней поверхности, устанавливаемая технологами.

Тепловая активность конструкций пола учитывается для холодного периода года на основе стационарного температурного состояния. При этом принимаются: а) начальная температура поверхности: ног человека  $t_n = 33^\circ\text{C}$ , конструкции пола  $t_p = 17^\circ\text{C}$ ; б) расчетное время соприкосновения ноги человека с конструкцией пола.

Нормативные данные по тепловой активности конструкций пола жилых и общественных зданий приведены в табл. 12. Значения коэффициента тепловой активности разделены на 4 категории в зависимости от типа здания и помещений.

Если в помещении запроектирован пол с ковровым покрытием или если температура внутренней поверхности конструкции пола выше  $26^\circ\text{C}$ , требование по устранению причин

Т а б л и ц а 9. Сопротивление теплопередаче окон и дверей [59]

Тип конструкции	Сопротивление теплопередаче $R^N$ м <sup>2</sup> · К/Вт	Коэффициент теплопередачи $k_0^N$ Вт/(м <sup>2</sup> · К)
Окно	0,27 (0,21) <sup>1</sup>	3,7 (4,76) <sup>1</sup>
Дверь	0,21	4,76

<sup>1</sup> Значения в скобках могут применяться, когда решающим является не теплотехническое требование.

Т а б л и ц а 10. Допустимые значения величины затухания расчетной амплитуды колебания температуры  $\nu_N$  жилых и общественных зданий [59] (для холодного и теплого периода)

Период года, тип конструкций			Значения $\nu_N$
Холодный	районы с $t_e, ^\circ\text{C}$	-15 и -18	8,3
		-21	11,5
Теплый	вертикальные конструкции с коэффициентом поглощения излучения А	$A \leq 0,7$	11,1 <sup>1</sup>
		$0,7 < A \leq 0,8$	12,3 <sup>2</sup>
		$0,8 < A \leq 0,9$	13,5 <sup>2</sup>
горизонтальные конструкции			12,2 <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Наружные конструкции, ориентированные на восток, север и северо-восток, в теплый период года не проверяются.

<sup>2</sup> Наружные конструкции, ориентированные на север и север-восток, в теплый период года не проверяются.

<sup>3</sup> Плоские кровли не проверяются в теплый период года, если они для уменьшения проникающего солнечного излучения имеют слой воды толщиной не менее 15 см.

Т а б л и ц а 11. Допустимые значения величины затухания расчетной амплитуды колебания температуры  $\nu$  конструкций производственных зданий промпредприятий [63]

Коэффициент поглощения излучения А	Значения $\nu$ в зависимости от ориентации ограждения							
	С	Ю	В	З	ЮВ	ЮЗ	СВ	СЗ
0,7	3,6	8,9	8,1	11,1	8,3	10,3	9,5	8,8
0,8	3,8	9,8	9,3	12,3	9,4	11,4	6,4	9,7
0,9	4,0	10,8	10,4	13,5	10,5	12,5	7,2	10,6

П р и м е ч а н и е. Если нет необходимости учитывать ориентацию проектируемых ограждений, следует применять значения для ориентации на запад.

Т а б л и ц а 12. Тепловая активность конструкций полов жилых и общественных зданий [59]

Допустимое значение коэффициента тепловой активности конструкции пола $B_N, \text{Вт}\cdot\text{с}^{1/2} / (\text{м}^2 \cdot \text{К})$	Снижение температуры ноги при соприкосновении с полом <sup>I</sup> $\Delta t_{\text{но}}, ^\circ\text{С}$	Категории полов	Тип здания и помещения
До 350	До 2,5	I очень теплый	Помещения детских садов, и яслей. Палаты больниц для детей
От 351 до 700	От 2,51 до 3,40	II теплый	Жилые здания: жилые комнаты, кухни, прихожие, примыкающие к жилым комнатам кабинеты Школы: учебные классы, чертежные и рисовальные классы, спортивные залы Больницы: палаты взрослых больных, приемные покои и кабинеты, подготавливаемые помещения, ординаторские, тамбуры, прихожие, коридоры, служебные помещения Другие: канцелярии, рабочие комнаты, театры, концертные залы, помещения ресторанов, комнаты гостиниц, кинотеатры
От 701 до 850	От 3,41 до 5,0	III менее теплые	Жилые здания: прихожие у входа в квартиру, туалеты, ванные Школы: раздевалки в душевых, душевые, кабинеты, лаборатории, коридоры, туалеты Больницы: коридоры, помещения для ожидания, туалеты Другие: залы заседаний, коридоры для ожидания, склады с постоянным обслуживанием, выставочные залы, туристические помещения для сна, продуктовые магазины
Более 850	Более 5,0	IV холодный	Не регламентируется

<sup>I</sup> Снижение температуры определяется измерением.

чрезмерного охлаждения ног человека при соприкосновении с конструкцией пола считается выполненным.

В производственных зданиях промпредприятий считают, что полы отвечают нормам, если их коэффициент тепловой активности не превышает  $850 \text{Вт}\cdot\text{с}^{1/2} / (\text{м}^2 \cdot \text{К})$ . Тепловая активность считается достаточной и тогда, когда на постоянных рабочих местах проектное покрытие пола имеет требуемое значение коэффициента  $B_N$  или температура поверхности конструкции пола выше  $23^\circ\text{С}$ .

Тепловая устойчивость помещений определяется для холодного и теплого периода года на основе стационарного температурного состояния.

В холодный период начальная температура внутреннего воздуха поверхности асимметрично охлаждаемой конструкции, установленная из условия стационарного температурного состояния  $t_{ip}$ , принимается  $t_i = t_0 = 20^\circ\text{С}$ , при продолжительности перерыва в отоплении (время охлаждения помещения) 8 ч. При этом допускают, что температура наружного воздуха была постоянной  $t_e$ . Тепловая устойчивость помещений в холодный период проверяется только для жилых и общественных зданий по суммарной температуре помещения  $t_M^N, ^\circ\text{С}$  (табл. 13).

В теплый период года в соответствии с нормами ЧСН 73 0542 учитывается результирующая тепловая амплитуда наружной среды  $A_p$ , амплитуда колебания суммарного солнечного излучения и средняя интенсивность суммарного солнечного излучения  $J_{stz}$ .

Тепловая устойчивость помещений для жилых и общественных, а также для производственных зданий промпредприятий в теплый период проверяется в зависимости от мак-

Т а б л и ц а 13. Значения суммарной температуры помещения (в конце периода отключения отопления) [59]

Наличие людей в помещении после выключения отопления	Допускаемые значения суммарной температуры, $^\circ\text{С}$
Присутствуют	32
Не присутствуют, при условии, что существуют требования по снижению суммарной температуры	2
нет требований, ограничивающих снижение суммарной температуры	Не регламентируется

симального дневного повышения температуры внутреннего воздуха (табл. 14):

$$\Delta t_{i, \max} = t_{i, \max} - t_{i, \min} \quad (11)$$

где  $t_{i, \max}$ ;  $t_{i, \min}$  — соответственно максимальная и минимальная дневная температура воздуха в помещении.

Т а б л и ц а 14. Значения максимального дневного повышения температуры [59, 63]

Температурный район	Допускаемые максимальные дневные повышения температуры $\Delta t_{i, \max}^N$ , К		
	для жилых и общественных зданий	для производственных зданий промпредприятий с внутренним источником теплоты $q$ , Вт/м <sup>3</sup>	
		до 25	св. 25
А	5	12,5	14,5
Б	7,3	14,8	16,8

Температурное районирование территории ЧССР (районы А и В) показано на рис. 12.

Конденсация водяных паров внутри конструкции определяется на основе установившейся диффузии. Расчетная температура и относительная влажность внутреннего и наружного воздуха, а также другие данные принимаются по нормам ЧСН 73 0540, ЧСН 73 0542, ЧСН 73 0560.

Строительные конструкции должны проектироваться так, чтобы в них не происходило конденсации водяных паров. Это основное требование считается выполненным, если в любом месте строительной конструкции парциальное давление водяного пара при полном насыщении им воздуха  $P_d''(x)$  больше, чем фактическое парциальное давление  $P_d(x)$  ( $x$  — расстояние от поверхности до рассматриваемого сечения строительной конструкции). Однако такое условие не всегда можно выполнить. Поэтому допускается применение конструкций, в которых конденсируются водяные пары, при этом не должны нарушаться функции строительных конструкций (например, уменьшение срока службы). Количество конденсата в строительной конструкции  $g_k$  в этом случае должно быть за год меньше, чем количество влаги  $g_v$ , которое за этот же период может испариться из конструкции. Приведенный допуск не относится к конструкциям с наружным пароизоляционным слоем (например, панель

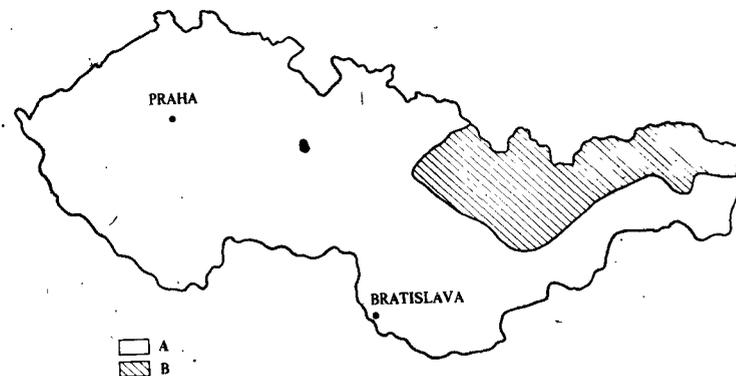


Рис. 12. Границы температурных районов ЧССР для теплого периода года [59]

с внешним слоем из стекла или металла). Такие ограждения должны иметь свои конструктивные решения, соответствующие нормам ЧСН 73 0540 [59].

Воздухопроницаемость строительных конструкций стыков и швов определяется для холодного периода года с учетом установившегося потока воздуха. Расчетная температура внутреннего и наружного воздуха, скорость ветра и другие данные принимаются по нормам ЧСН 73 0540, ЧСН 73 0542 и ЧСН 73 0560.

Наружные строительные конструкции считаются отвечающими требованиям, если воздухопроницаемость через конструкцию не вызывает снижения температуры на внутренней поверхности, большее чем на  $\Delta t_{ipG} \leq 0,2$  К (см. рис. 9).

Конструктивные швы и стыки между отдельными наружными строительными конструкциями, и стыки и притворы окон и дверей, отделяющих помещения с высоким давлением воздуха (например, лестничные клетки), должны быть воздухопроницаемы.

При условии, что в здании нет иной возможности для воздухообмена, чем через притворы окон или дверей, их воздухопроницаемость считается удовлетворительной, если она не находится в противоречии с требованием норм ЧСН 06 0210 [58].

Жилые дома должны удовлетворять требованиям норм ЧСН 73 0540 [59] с точки зрения установленной теплопотребности на отопление. Годовой лимит установлен в размере  $E_N = 9,3$  МВт·ч на квартиру. Это значение соответствует тепло-

потерям квартиры с объемом  $200 \text{ м}^3$  при температуре наружного воздуха  $t_e = -15^\circ\text{C}$ . Здание считается соответствующим нормативным требованиям, если теплотребность на отопление  $E \leq E_N$ . Если температура наружного воздуха и объем квартиры отличаются от расчетных значений, то величина  $E$  определяется по формуле

$$E = E_{sk} g e, \quad (12)$$

где  $E_{sk}$  — теплотребность на отопление квартиры с объемом, отличным от  $200 \text{ м}^3$ ;  $g$  — коэффициент, учитывающий отличие температуры наружного воздуха от расчетной (табл. 15);  $e$  — коэффициент, учитывающий действительный объем квартиры:

$$e = \frac{200n}{Sh}, \quad (13)$$

где  $S$  — общая площадь квартиры,  $\text{м}^2$ ;  $h$  — высота этажей здания, м;  $n$  — количество квартир в здании.

Общественные здания рекомендуется оценивать с точки зрения потребления тепловой энергии по нормам ЧСН 73 0540 в зависимости от тепловой характеристики  $q_0^N$  (табл. 16).

Т а б л и ц а 15. Коэффициент для вычисления теплотребности для отопления  $q$  в зависимости от температуры наружного воздуха  $t_e$ ,  $^\circ\text{C}$  [59]

$^\circ\text{C}$	-12	-15	-18	-21
$g$	1,094	1,0	0,921	0,854

Нормы ЧСН 73 0540 [59] и ЧСН 73 0560 [63] требуют проведения также *теплотехнической и экономической оценки строительных конструкций*. При этом сравниваются капитальные затраты на наружные конструкции и на отопительную систему, включая амортизационные отчисления и ремонт строительных конструкций, стоимость оборудования, а также затраты на топливо и эксплуатацию отопительного оборудования.

Наиболее выгодной считается конструкция с толщиной стены (сопротивлением теплопередаче), для которой сумма указанных выше затрат наименьшая.

Однако такую конструкцию можно рекомендовать только при условии выполнения всех ранее приведенных критериев.

Т а б л и ц а 16. Рекомендуемые значения тепловой характеристики зданий,  $q_0^N$ ,  $\text{Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{K})$  [59]

Рекомендуемые значения тепловой характеристики жилых зданий в зависимости от их наружного объема  $V$ ,  $\text{м}^3$

Объем здания $V \cdot 10^{-3}$ , $\text{м}^3$	1,0	2,0	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0
Тепловая характеристика $q_0^N$ , $\text{Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{K})$	0,802	0,663	0,534	0,430	0,395	0,361	0,361

П р и м е ч а н и е. Значения тепловой характеристики являются только рекомендуемыми, так как объем здания не является исчерпывающим параметром для ее определения. Другими параметрами являются: отношение ширины к длине здания, отношение площади остекления ко всей площади наружных конструкций и т.п.

## 2. ВОЗМОЖНОСТИ СНИЖЕНИЯ ТЕПЛОПOTЕРЬ И РАСХОДА ЭНЕРГИИ НА ОТОПЛЕНИЕ ЗДАНИЙ

Теплопотери и расход энергии на отопление зданий можно снизить или увеличить за счет факторов, указанных в предыдущей части книги. Сложности могут возникнуть, если рассматриваемые факторы имеют противоположное проявление. В этом случае необходимо отдать предпочтение более эффективным решениям.

Возможности уменьшения теплопотерь и расхода энергии на отопление зданий рассмотрим в зависимости от приведенных ранее факторов.

### 2.1. ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ТЕПЛОВЫЕ ПОТЕРИ И РАСХОД ЭНЕРГИИ НА ОТОПЛЕНИЕ ЗДАНИЯ

Для обеспечения требуемого теплового режима в холодный период года в здание необходимо подводить тепловую энергию. В результате различного теплового состояния внутренней и наружной среды происходит передача теплоты из здания в наружное пространство. Передача теплоты осуществляется, с одной стороны, теплопередачей строительных конструкций, с другой стороны — за счет проникания воздуха через швы, стыки и неплотности окон, дверей и строительных конструкций. Эта теплота является потерянной (теплопотери).

Теплопотери здания  $Q$ , Вт, можно определить по формуле

$$Q = \varphi V (t_i - t_e), \quad (14)$$

где  $\varphi$  — тепловая характеристика здания, Вт/(м<sup>3</sup> · К);  $V$  — объем здания, м<sup>3</sup>;

$$V = Sh; \quad (15)$$

$S$  — площадь застройки здания, м<sup>2</sup>;  $h$  — высота здания, м;  $t_i$  и  $t_e$  — температура соответственно внутреннего и наружного воздуха, °С.

Тепловая характеристика здания определяется по формуле

$$\varphi = \left[ \frac{2(1+p)}{\sqrt{pS}} + \frac{a(k_0 - k) + b(k_d - k)}{h} + \frac{c_k(k_s + k_p)m}{h} \right] n + \frac{cl' \sum i S_0 B M}{V}, \quad (16)$$

где  $p = \xi/d$ ;  $\xi$  — ширина здания, м;  $d$  — длина здания, м;  $a = S_0/S$ ;  $b = S_d/S$ ;  $S_0$  — площадь окон в наружном ограждении, м<sup>2</sup>;  $S_d$  — площадь дверей в наружном ограждении, м<sup>2</sup>;  $k$ ,  $k_0$ ,  $k_d$ ,  $k_s$ ,  $k_p$  — коэффициенты теплопередачи соответственно наружных стен, окон, дверей, чердачного перекрытия и перекрытия над неотапливаемым подпольем, Вт/(м<sup>2</sup> · К);  $m$  — коэффициент, учитывающий разницу температуры наружного воздуха и неотапливаемого подполья;  $c_k$  — коэффициент, учитывающий долю внутренних конструкций в площади застройки здания;  $n$  — коэффициент, учитывающий теплопотери через внутренние конструкции;  $l'$  — длина швов, приходящихся на 1 м<sup>2</sup> площади окна, м/м<sup>2</sup>;  $B$  — характеристическое число здания, Па<sup>0,67</sup>;  $M$  — характеристическое число помещений.

Из формул (14) и (16) видно, что теплопотери зданий зависят от их геометрических размеров, теплотехнических свойств строительных конструкций, температуры внутреннего и наружного воздуха, воздухопроницаемости швов, длины открывающихся частей окон и наружных дверей. Характеристическое число  $B$  зависит от скорости ветра и принимается в зависимости от местоположения здания в районе застройки и от его типа. Характеристическое число  $M$  определяется в зависимости от соотношения воздухопроницаемости окон и внутренних дверей.

По нормам ЧСН 060210 [58] при расчете теплопотерь дополнительно учитывается влияние на тепловой комфорт холодных стен и наличие в здании системы периодического отопления.

Из формулы (14) можно было бы сделать вывод, что теплопотери зависят только от температуры внутреннего

воздуха и не зависят от остальных величин, характеризующих тепловой режим здания. Однако это не соответствует действительности. Коэффициент теплопередачи строительных конструкций зависит от коэффициента теплообмена поверхности ограждения, который является функцией разницы температуры воздуха и внутренней поверхности строительных конструкций или скорости движения внутреннего воздуха. Анализ показывает, что на теплопотери влияют все величины, которые характеризуют тепловой режим здания. Подобным образом можно установить, что, помимо температуры наружного воздуха, фактором, способствующим теплопотерям, является также скорость ветра и влажность наружного и внутреннего воздуха. Кроме того, на теплопотери влияет солнечное излучение и другие метеорологические факторы.

Температура на внутренней поверхности конструкции зависит не только от коэффициента теплопередачи, но и от других теплотехнических характеристик: от затухания амплитуды колебания температуры, от тепловой активности полов, от тепловой устойчивости помещений, от воздухопроницаемости и от того, конденсируется ли водяной пар в конструкции или нет. Все эти теплотехнические характеристики необходимо анализировать при проектировании строительных конструкций и зданий. На расход энергии для отопления влияет также интенсивность работы тепловых источников, теплопотери разводок и эффективность регулирования энергии, подведенной к зданию и помещениям.

В настоящее время проводятся интенсивные работы по решению проблем, связанных с использованием нетрадиционных источников энергии. Преследуется цель за их счет уменьшить потребление традиционных (невосполняемых) видов топлива: угля, газа, нефти. В качестве нетрадиционных источников энергии для отопления зданий используют солнечную энергию и вторичную теплоту (теплота, образующаяся от использования теплой бытовой воды и от вентиляционного оборудования зданий). В значительной степени теплопотери и теплопотребность на отопление зависят от людей, пользующихся жилыми и другими зданиями. Их отношение к этой проблеме может сделать совершенно бесполезными предпринимаемые усилия по экономии энергии или, наоборот, значительно способствовать рациональному потреблению топлива и энергии для отопления зданий.

Таким образом, тепловой режим и теплопотребность на отопление зданий зависят от следующих факторов: теплового режима здания; теплового состояния наружного климата; геометрического и диспозиционного решения здания; теплотехнических свойств строительных конструкций; эксплуатации

системы отопления; эффективности работы теплотехнического оборудования; использования нетрадиционных источников энергии; отношения пользователей зданий.

## 2.2. ТЕПЛОВОЙ РЕЖИМ ПОМЕЩЕНИЙ

Поддержание теплового режима помещений относится к основным требованиям, предъявляемым к зданиям. Поэтому отыскание возможностей уменьшения теплопотерь и расхода энергии на отопление должно сопровождаться контролем параметров, которые характеризуют требуемый тепловой режим (см. разд. 1.4): температура воздуха, средняя температура внутренних поверхностей ограждений, скорость и относительная влажность воздуха.

Температура внутреннего воздуха. При оценке теплового комфорта температура внутреннего воздуха непосредственно зависит от температуры внутренней поверхности конструкций. Температура поверхностей выражается средней температурой внутренних поверхностей в помещении [см. формулу (2)]. Совместно с температурой внутреннего воздуха она определяет суммарную температуру помещения.

Для жилых и общественных зданий суммарная температура помещения должна быть  $38^{\circ}\text{C}$  (температура воздуха  $20^{\circ}\text{C}$  и средняя температура внутренних поверхностей  $18^{\circ}\text{C}$ ). Однако из диаграммы на рис. 2 видно, что суммарная температура помещения может быть обеспечена и другой комбинацией температуры воздуха и средней температуры поверхностей. Возникает вопрос о наиболее благоприятном сочетании температуры точки зрения теплопотерь. Из формулы (14) ясно, что теплопотери увеличиваются, если увеличивается температура внутреннего воздуха. Следовательно, наиболее выгодным является такое сочетание, при котором температура внутреннего воздуха будет наименьшей. Изменение температуры внутреннего воздуха и его влияние на теплопотери можно ориентировочно оценить по формуле

$$z = \frac{t_{i2} - t_{i1}}{t_{i1} - t_{e,pr}} 100, \quad (17)$$

где  $z$  — изменение теплопотерь, %;  $t_{i1}$  — требуемая температура внутреннего воздуха,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $t_{i2}$  — действительная температура внутреннего воздуха,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $t_{e,pr}$  — средняя температура наружного воздуха за отопительный сезон,  $^{\circ}\text{C}$ .

Для большинства районов СССР  $t_{e,pr}$  принимается от 2 до  $4^{\circ}\text{C}$  [4]. При  $t_{i1} = 20^{\circ}\text{C}$  и  $t_{i2} = 21^{\circ}\text{C}$ , т.е. при температуре

внутреннего воздуха на  $1^{\circ}\text{C}$  выше, чем требуется, повышение теплопотерь составит от 5,6 до 6,3%. В этом случае можно сделать вывод: повышение температуры воздуха на  $1^{\circ}\text{C}$  по отношению к требуемому уровню увеличивает теплопотери на 6% и, наоборот, снижение температуры воздуха на  $1^{\circ}\text{C}$  позволяет уменьшить теплопотери на 6%.

Иногда в зданиях возникают избыточные теплопотери за счет избыточного отопления, под которым подразумевается подача большего количества теплоты в здание (помещение), чем необходимо для обеспечения теплового режима. При избыточном отоплении увеличивается температура внутреннего воздуха и соответственно теплопотери [см. формулу (17)].

Ранее не исследовалась проблема рационального использования топлива и энергии для отопления зданий. В некоторых случаях, особенно в панельных зданиях, отапливаемых от центральных источников энергии (например, котельных), температура внутреннего воздуха достигала  $24-26^{\circ}\text{C}$ . Если избыточный  $1^{\circ}\text{C}$  вызывает повышение теплопотерь на 6%, то, очевидно, какое количество топлива потеряло народное хозяйство. Избыточное отопление было не только приоритетом СССР. Такое явление было характерно для всех технически развитых стран мира. Одним из первых рациональных мероприятий, связанных с проблемой сокращения потребления топлива и энергии на отопление, во время возникновения энергетического кризиса была борьба против избыточного отопления. Избыточное отопление может иметь и "объективный" характер. Например, неправильно рассчитаны теплопотери и, следовательно, неправильно определены количество и площадь поверхности отопительных приборов в некоторых помещениях; к общей тепловой сети присоединены здания с различными теплотехническими свойствами или имеющие разный режим отопления (жилые дома и школа); отопительная система не разделена на разноориентированные зоны или не имеет регулировки, в этом случае отопление рассчитывается по наиболее неблагоприятному участку и к некоторым зданиям или помещениям подводится избыточное количество теплоты.

Для предупреждения избыточного отопления необходимо: очень внимательно определять теплопотери помещений и зданий и на этой основе правильно проектировать отопительную систему;

отрегулировать отопительную систему после монтажа; присоединять к одной тепловой сети здания, имеющие одинаковые теплотехнические свойства наружных ограждений и одинаковые режимы отопления;

регулировать расход энергии, чтобы в каждое конкретное здание подавалось теплоты не больше, чем требуется.

Из формулы (17) также следует, что при снижении температуры внутреннего воздуха ниже требуемого значения теплотери уменьшаются. И это иногда может быть средством уменьшения расхода теплоты и энергии. Снижение температуры внутреннего воздуха ниже требуемого значения необходимо рассматривать как единичный случай ухудшения условий в жилье или на рабочем месте, однако это вызывает чувство теплового дискомфорта и вынуждает людей искать альтернативное решение. В качестве дополнительного источника часто используют электрические нагреватели, иногда и такие, которые не предназначены для отопления, при этом электрическая энергия используется нерационально — с коэффициентом полезного действия приблизительно 30%, из чего следует, что экономить энергию (топливо) за счет снижения температуры внутреннего воздуха нецелесообразно, так как в этих случаях для отопления используются различные временные и эффективные теплоисточники.

**Средняя температура внутренних поверхностей помещений.** Снижение температуры внутреннего воздуха без нарушения теплового комфорта возможно только тогда, когда имеется возможность повысить среднюю температуру внутренних поверхностей помещения.

Если, например, средняя температура внутренних поверхностей помещения повысится до 19°C, то температуру внутреннего воздуха можно снизить тоже до 19°C (см. рис. 2). Повышение температуры на внутренних поверхностях строительных конструкций желательно с точки зрения уменьшения теплотери, а также теплового комфорта, что выражается требованием: "Теплые стены, холодный воздух".

Температура на внутренних поверхностях строительных конструкций может повышаться за счет улучшения их тепло-технических свойств (см. разд. 2.5).

**Разница температуры внутреннего воздуха и поверхности конструкции.** Между воздухом и поверхностями отдельных строительных конструкций в помещении происходит теплообмен излучением и конвекцией. При естественном движении воздуха в помещении важнейшей величиной, определяющей процесс теплообмена, является разница температуры внутреннего воздуха и внутренней поверхности конструкций. Чем выше эта разница, тем больше коэффициент конвективного теплообмена  $\alpha_k$ , Вт/(м<sup>2</sup> · К) (рис. 13). Уменьшение этой разницы приводит к уменьшению коэффициента теплообмена. Например, уменьшение  $\Delta t = 8$  К до  $\Delta t = 4$  К, приводит к уменьшению коэффициента теплообмена с 3,7 до 2,7 Вт/(м<sup>2</sup> · К). Уменьшение коэффициента теплообмена, а значит и разницы температуры воздуха и внутренней поверхности, приводит к уменьшению коэффициента тепло-

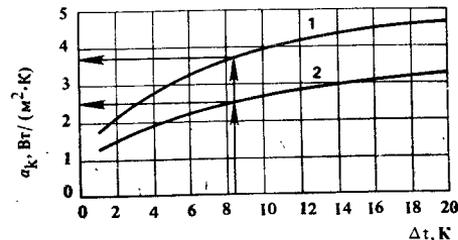
передачи, что, в свою очередь, способствует повышению температуры на внутренней поверхности ограждения (см. рис. 4).

Теплообмен излучением характеризуется коэффициентом лучистого теплообмена  $\alpha_s$ , Вт/(м<sup>2</sup> · К). Он ориентировочно вычисляется по формуле

$$\alpha_s = C_\zeta A^2 \zeta, \quad (18)$$

где  $C_\zeta = 5,67$  Вт/(м<sup>2</sup> · К<sup>4</sup>) — коэффициент излучения абсолютно черного тела;  $A$  — коэффициент поглощения излучения (табл. 17);  $\zeta$  — температурный коэффициент, К<sup>3</sup>; если разница температуры  $t_1 - t_2$  взаимно нагреваемых излучением тел не слишком большая, то  $\zeta$  можно принимать по табл. 18 в зависимости от среднеарифметического значения температуры  $t = (t_1 + t_2) / 2$ .

Рис. 13. Коэффициент конвективного теплообмена  $\alpha_k$  при естественной конвекции  
1 — вертикальные и горизонтальные конструкции при тепловом потоке снизу вверх;  
2 — горизонтальные конструкции при тепловом потоке сверху вниз



Наиболее важной величиной, от которой зависит коэффициент лучистого теплообмена, является коэффициент поглощения излучения. При изменении этого коэффициента от 0,2 до 0,9 коэффициент теплообмена меняется в пределах 0,2—4,6 Вт/(м<sup>2</sup> · К). Наименьший коэффициент лучистого теплообмена будет в помещении с блестящими металлическими внутренними поверхностями. Для светлых поверхностей  $\alpha_s = 1,4$  Вт/(м<sup>2</sup> · К), а для темных — 4,6 Вт/(м<sup>2</sup> · К). В отапливаемых помещениях поэтому редко применяют темные поверхности.

**Скорость воздуха.** При нормальных условиях скорость воздуха в помещении должна быть менее 0,1 м/с. Эта скорость не ухудшает теплового комфорта. При возрастании скорости возникает ощущение дискомфорта. Для сохранения теплового комфорта необходимо компенсировать повышенную скорость воздуха за счет повышения его температуры (см. разд. 1.1). Однако повышение температуры воздуха с энергетической точки зрения невыгодно, о чем уже говорилось. Увеличение скорости воздуха вызывает, кроме того, увеличение коэффициента конвективного теплообмена  $\alpha_k$ , Вт/(м<sup>2</sup> · К), в соответствии с формулой

$$\alpha_k = 4,36 + 3,55v. \quad (19)^*$$

\* Формула (19) применима при скорости воздуха до 5 м/с.

Т а б л и ц а 17. Значения коэффициента поглощения излучения  $A$

Состояние поверхности, вид тела	$A$
Черный, темный	0,9
Серый	0,7
Светлый	0,5
Блестящий металл	0,2
Оксидированный алюминий	0,45
Оксидированная сталь	0,8

Т а б л и ц а 18. Значения температурного коэффициента  $\zeta$  в зависимости от температуры  $t = (t_1 + t_2) / 2$

$t, ^\circ\text{C}$	25	20	15	10	5	0	-5	-10	-15	-20	-25
$\zeta, \text{K}^3$	1,06	1,01	0,96	0,91	0,86	0,81	0,77	0,73	0,69	0,65	0,61

Например, при скорости воздуха  $v = 0,4$  м/с коэффициент теплообмена равен  $5,8 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ . Если сравнить это значение со значениями на рис. 13, то можно увидеть, что оно превышает и значения, которые соответствуют наибольшей допустимой разнице температуры воздуха и поверхности строительных конструкций. Увеличение коэффициента теплообмена ведет к увеличению теплопотерь, поэтому целесообразно ограничить скорость воздуха в помещении.

Увеличение скорости воздуха можно предупредить уплотнением стыков окон и дверей на внешней стороне ограждающих конструкций; уплотнением стыков между окнами и панелями и стыков между панелями.

Относительная влажность внутреннего воздуха влияет на теплопотери зданий, т.е. на величину удельной теплоемкости воздуха, которая тем больше, чем выше его влажность. При высокой относительной влажности теплопотери могут увеличиваться до 1%. Однако в жилых и общественных зданиях относительная влажность не должна быть более 60%, в этом случае увеличение теплопотерь незначительно.

Высокая относительная влажность внутреннего воздуха неблагоприятна с точки зрения конденсации водяных паров на внутренней поверхности и внутри конструкции, как уже говорилось, так как способствует увеличению влажности материала конструкции. При повышении влажности конструкции увеличивается ее теплопроводность и соответственно теплопотери помещения.

Если в помещении имеется источник повышения влажности воздуха, то необходимо интенсивно вентилировать это поме-

щение, что способствует также значительным потерям теплоты.

Влияние влажности внутреннего воздуха на теплопотери может быть незначительно, если она находится в требуемом интервале, однако при высоких значениях ее влияние может быть значительно. Поэтому количество источников влажности в помещениях следует сокращать. Если возникает необходимость вентиляции, то ее следует проектировать с возможно минимальным воздухообменом.

### 2.3. ПАРАМЕТРЫ НАРУЖНОГО КЛИМАТА

Отопительный сезон в ЧССР длится от 202 до 255 дней в году, а в высокогорных районах — иногда и по 280 дней (например, в Праге — 216 дней, в Братиславе — 202 дня, в Брно — 222 дня). Приблизительно пять месяцев в году в зданиях сохраняется нормальный температурный режим, не требующий отопления, и это положение пока изменить нельзя. Попытки применить кондиционирование (создать искусственный климат) вызывают большие затраты. Однако есть иные средства. Можно разместить оборудование здания так, что влияние климатических воздействий на теплопотери и потребление энергии для отопления домов будет минимальным.

При решении проблемы теплопотерь и теплопотребности на отопление, как правило, учитывают следующие параметры климата: температура воздуха, скорость и направление ветра; влажность воздуха, атмосферные осадки и солнечное излучение.

Температура наружного воздуха. Чем ниже температура наружного воздуха, тем выше теплопотери [см. формулу (14)]. Если же удается за счет какого-либо решения повысить температуру на  $1^\circ\text{C}$ , то это приводит к снижению теплопотерь зданий на 3%.

Наинизшая средняя дневная температура воздуха достигает в январе в местностях с отметкой до 400 м над уровнем моря —  $10 \dots -20^\circ\text{C}$ . Наинизшая температура ночью и в отдельные утренние часы достигает  $-15 \dots -20^\circ\text{C}$ . Абсолютная низкая температура — до  $-30^\circ\text{C}$  (за период с 1926 по 1960 г. была зафиксирована самая низкая температура воздуха в ЧССР —  $42,2^\circ\text{C}$ ) [36].

Температура наружного воздуха изменяется в зависимости от высоты над уровнем моря на  $0,34-0,71^\circ\text{C}$  на каждые 100 м [36]. Конкретное значение, однако, зависит от местных условий, т.е. от того, идет ли речь о переходе с долины на склоны или со склонов на вершины, а также от ветровых воздействий и от местоположения по отношению к странам света. Известно, что на южных склонах температура более высокая, чем на северных. Также различается температура на от-

крытой местности и в городах. Приводятся данные, что в большом городе средняя годовая температура на  $0,5-1^{\circ}\text{C}$  выше температуры воздуха открытой местности с той же высотой над уровнем моря. В холодный период года в большом городе наименьшая температура воздуха на  $1-2^{\circ}\text{C}$  выше, чем вне города. Чем больше город, тем выше минимальная температура воздуха. Дневное колебание температуры в городе также меньше, чем вне его [1, 36].

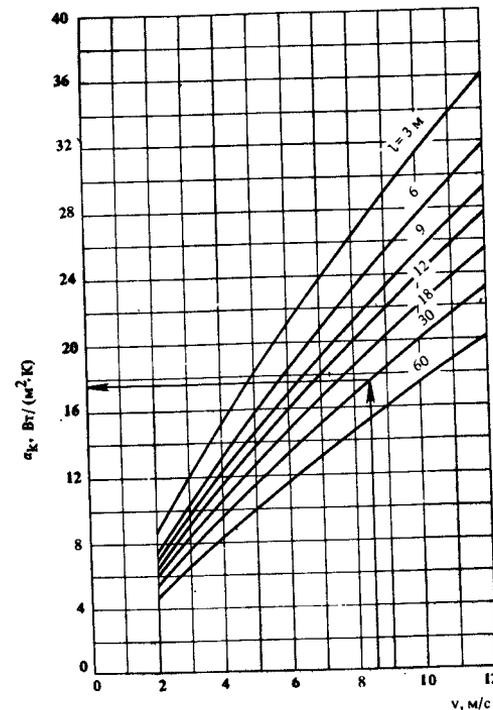
Возможность уменьшения теплопотерь в зависимости от температуры наружного воздуха состоит в расположении здания: на южных склонах (т.е. не на вершинах, где действуют интенсивные ветры), а также вне долин, в которых ночью сосредотачивается холодный воздух; в большом массиве, но не одиночно.

Скорость и направление ветра. При увеличении скорости ветра увеличиваются теплопотери здания не только за счет увеличения коэффициента конвективного теплообмена, а значит и коэффициента теплопередачи ограждения, но и за счет увеличения теплопотерь на нагревание инфильтрующегося воздуха.

Средняя скорость ветра в СССР составляет  $3 \dots 5$  м/с. Скорость отдельных порывов ветра днем иногда достигает  $18$  м/с, порывы ветра выше этого значения бывают очень редко [36]. В Чехии преобладают западные или северо-западные и юго-западные ветры, а в Словакии — северные и южные ветры.

Коэффициент конвективного теплообмена (рис. 14) тем больше, чем больше скорость ветра и чем меньше объект. Для приведенных средних скоростей ветра этот коэффициент может быть в пределах  $6-18$  Вт/( $\text{м}^2 \cdot \text{K}$ ). Для коэффициента лучистого теплообмена на внешней стороне строительных конструкций действительны те же правила, что и для коэффициента лучистого теплообмена в помещении. Разница только в том, что в результате более низкой определяющей температуры  $t$  температурный коэффициент примерно на  $15-20\%$  меньше, чем в помещении (см. табл. 18); на столько же меньше коэффициент теплообмена на наружной поверхности ограждения. Если наружное ограждение неплотное, то под действием ветра воздух проникает через них, особенно через щели окон, охлаждая помещение; возле окон холодный воздух опускается к полу и далее в пространство помещения. Холодный воздух вызывает у людей неприятные ощущения, которые часто устраняют за счет повышения температуры воздуха в помещении. По графику на рис. 10 можно определить, что через  $1$  м щели проходит  $4,5-5,6$   $\text{м}^3/\text{ч}$  воздуха при скорости ветра  $3-5$  м/с. Если скорость ветра повысится до  $8$  м/с, то количество инфильтрующегося воздуха увеличится до  $8$   $\text{м}^3/(\text{м} \cdot \text{ч})$ . Трудности возникают также при одностороннем воздействии ветра. Теплопотери увеличиваются только на наветренной

Рис. 14. Коэффициент конвективного теплообмена при искусственном потоке в зависимости от скорости ветра и длины обдуваемой поверхности (размеров объекта)



стороне. Если система отопления не разделена на отдельные самостоятельные регулируемые ветви, то и это обстоятельство приводит к увеличению теплопотерь, так как здание будет отапливаться в соответствии с принципом "наиболее неблагоприятного участка". В настоящее время рассматриваются возможности уменьшить влияние ветра на теплопотери зданий за счет проектирования защитных преград. Защитные преграды (лесополосы) известны в земледелии. Приводятся данные, что влияние преград действует не только по направлению ветра, но и против него. Зона со сниженной скоростью ветра располагается в области перед преградой, а именно на расстоянии, равном пяти-, восьмикратной преграды, и далее по направлению ветра на расстоянии  $25-35$ -кратной высоте преграды. За преградой, в области с длиной, равной трех-, пятикратной высоте преграды, скорость ветра составит  $15-40\%$  первоначальной; в зоне с длиной, равной шести-двадцатикратной высоте преграды скорость ветра составит  $75-80\%$  и первоначальная скорость ветра восстановится на расстоянии  $35$ -кратной высоты преграды [1]. Если преграду выполнить из деревьев, то необходимо учитывать, что узкая зона с

редким размещением деревьев будет более эффективна, чем густой лес.

В работе [31] описан защищенный дом в Фермонте (Канада). Здание коридорного типа, ступенчатое, в средней части имеет 5,5 этажа и по бокам снижено до 3,5 этажа. Общая длина здания 1200 м. Тем самым образовалось ограждение, предохраняющее город с юга и юго-востока против преобладающих северных и северо-западных ветров. Здание, имеющее высоту 16,5 м, образует более благоприятные микроклиматические условия на площади более чем  $2/3$  застроенной части города.

Для уменьшения теплопотерь зданий с учетом скорости и направления ветра необходимо: размещать здания вне долин и вершин холмов; в направлении преобладающих ветров устраивать преграды, предпочтительно за счет посадки деревьев, к одноэтажным или малоэтажным зданиям пристраивать вспомогательные объекты, например, гаражи; отопительную систему членить на самостоятельные регулируемые ветви с учетом направления преобладающих ветров; максимально уменьшить количество неплотностей в наружных ограждениях (щели окон и притворы дверей).

Влажность воздуха и атмосферные осадки. Чем выше относительная влажность наружного воздуха при данной температуре, тем выше парциальное давление водяного пара, что способствует повышению конденсации водяного пара внутри конструкции, увеличению значения коэффициента теплопередачи и соответственно увеличению теплопотерь.

Относительная влажность воздуха в течение отопительного сезона составляет 70—85%. Годовое количество осадков на территории ЧССР колеблется от 450 до 1500 мм (минимальное количество в январе и феврале) [4]. Атмосферные осадки одновременно увеличивают содержание влаги в конструкции и вызывают увеличение тепловых потерь.

Предохранение наружного ограждения зданий от влажности и атмосферных осадков относится к очень важным задачам при проектировании, возведении и эксплуатации зданий. При нормальных условиях эти факторы особенно не проявляются. Проблемы возникают, когда нарушены гидроизоляционные слои, стыки и швы или появляются трещины на внешней поверхности наружного ограждения. В этой ситуации очень быстро увеличивается влажность конструкции и возрастают тепловые потери. Названные нарушения в конструкции ограждения необходимо как можно быстрее устранить путем проведения соответствующего ремонта.

**Солнечная радиация.** В отличие от предыдущих климатических параметров, солнечная радиация уменьшает в холодный и переходный период года тепловые потери и затраты энергии на отопление зданий.

Излучение солнца является самым интенсивным энергетическим источником нашей Земли. Количество энергии на границе земной атмосферы, приходящейся на площадь, перпендикулярно солнечным лучам, составляет в среднем в год  $1381 \text{ Вт/м}^2$  [36]; это значение называется солнечной постоянной.

Электромагнитный солнечный спектр имеет большую волновую границу. Солнечная радиация с волнами длиной 0,25—3,0 мкм содержит 98% излучаемой энергии. Прямое солнечное излучение при проходе через атмосферу ослабляется в зависимости от длины пути солнечных лучей к поверхности земли, а также от чистоты атмосферы. Загрязняют атмосферу водяной пар, углекислый газ и пыль. Известно, что большое количество водяных паров бывает в летнее время в низинах, меньшее содержание водяных паров зимой и на высоких местах. Мерой ослабления солнечной радиации является так называемый показатель загрязнения атмосферы  $Z$ ; он зависит от количества примесей в воздухе и от атмосферного давления (от высоты над уровнем моря). Наименьшие значения  $Z$  были определены на вершинах высоких гор ( $Z = 2$ ), наибольшее достигается в промышленных городах ( $Z = 6$ ). Обычно принимают значение  $Z = 3$  для среды без промышленных выбросов в атмосферу (в сельской местности) и  $Z = 4$  в городах и промышленных узлах. Солнечное излучение при прохождении через атмосферу отражается, изменяет направление из-за молекул воздуха и твердых частиц, содержащихся в атмосфере. Часть солнечного излучения отражается в пространство, а оставшаяся падает на земную поверхность в виде равномерного освещения небосклона. Эта доля солнечной радиации называется рассеянной. Прямая и рассеянная радиация составляет так называемую суммарную солнечную радиацию.

Данные о падающей на  $1 \text{ м}^2$  площади энергии солнечного излучения в различные периоды года приведены в табл. 19. Значения даны для района г. Праги ( $50^\circ$  с.ш. при  $Z = 3$ ). Из табл. 19 следует, что наибольшее количество энергии падает на поверхность с наклоном  $30^\circ$  от горизонтального положения, а наименьшее — на вертикальную поверхность. На ноябрь, декабрь, январь и февраль приходится 10,8%, на март, апрель, октябрь — 35%, на май, июнь, июль и август — 54% годового количества солнечной энергии. Наиболее благоприятное распределение солнечной энергии для вертикальной поверхности: в зимние месяцы 15,5%, в переходный период года 40,5%, в теплый период 44,0% общей радиации за год. Однако общее количество этой энергии за год относительно мало (см. табл. 19).

Обычно солнечное излучение после его падения на поверхность тела частично отражается, частично поглощается и часть его может проникать через тело (рис. 15).

Т а б л и ц а 19. Энергия солнечного излучения  $Q_{\text{мес}}$ , падающего на различные плоскости поверхности [5]

Наклон плоскости поверхности	$Q_{\text{мес}}$ в периоды года (месяцы)				
		холодный XI, XII, I, II	переходный III, IV, IX, X	теплый V, VI, VII, VIII	за весь год
Горизонтальная, $\alpha = 0^\circ$	кВт·ч/м <sup>2</sup> , % 48,2 5,7	259,7 30,8	536,3 63,5	844,2 100	
Наклонная, $\alpha = 30^\circ$ , ориентированная на юг	кВт·ч/м <sup>2</sup> , % 86,2 8,4	336,7 32,6	608,1 59,0	1031,0 100	
Наклонная, $\alpha = 60^\circ$ , ориентированная на юг	кВт·ч/м <sup>2</sup> , % 105,2 10,8	343,1 35,2	527,3 54,0	975,6 100	
Вертикальная плоскость, ориентированная на юг	кВт·ч/м <sup>2</sup> , % 106,6 15,5	279,9 40,5	304,2 44,0	690,7 100	

Существует зависимость

$$R + A + T = 1. \quad (20)$$

Для непрозрачных строительных конструкций (сплошные наружные стены, панели, кровельные конструкции) проникание излучения  $T = 0$ . Тогда  $R + A = 1$ . В связи с этим с точки зрения уменьшения теплопотерь выгодны такие конструкции, поглощаемость излучения которых была бы наибольшей. В соответствии с табл. 17 это прежде всего конструкции с темными поверхностями. Наоборот, совершенно неподходящими являются блестящие металлические поверхности. Для плоских кровель применяют гидроизоляционные слои на основе битума (асфальта), на их поверхности достигается относительно высокая температура, что в холодный период года очень выгодно. Однако более высокая температура в теплый период действует на кровельный ковер неблагоприятно и уменьшает срок его службы. Так как в летние месяцы воздух проникает через конструкции покрытия со значительным количеством теплоты, перегревая помещения, плоские кровли снабжают различными предохранительными слоями, например, слоем кремния или отражающими покрасками и фольгой, или красят белой краской. Тем самым возможность снижения тепло-

потерь за счет солнечной радиации на плоские кровли в течение отопительного сезона заметно ограничивается.

Проектировать вертикальные наружные ограждения с темными поверхностями не рекомендуется, так как они воспринимаются неэстетично. Однако известно, что новые, чистые, светлые фасады в городах, атмосфера которых очень загрязнена пеплом, пылью, копотью и т.п., не могут длительное время сохранять свой первоначальный вид и отделку.

Из приведенного ясно, что в холодный период года нельзя ожидать значительного уменьшения теплопотерь за счет солнечной радиации, приходящейся на светонепроницаемые строительные конструкции.

В конструкциях из пористых материалов (кирпичная кладка, пористый бетон и т.п.) влияние солнечной радиации способствует еще и уменьшению влаги в них. Это касается в первую очередь тех ограждений здания, которые ориентированы на юг, юго-восток, юго-запад и запад. Уменьшение содержания влаги снижает коэффициент теплопередачи, а тем самым уменьшает теплопотери.

В нормах ЧСН 06 0210 1961 г. [58] это обстоятельство учитывалось в виде различных добавок к основным теплопотерям в зависимости от ориентации наружных ограждений. За счет этого теплопотери увеличились для ограждений, ориентированных на север на 10%, на северо-запад, северо-восток и восток — на 5%. Для юго-западной, юго-восточной и западной ориентации это увеличение равнялось нулю, а для ограждений, ориентированных на юг, уменьшалось на 5%.

В нормах ЧСН 06 0210 1976 г. [58] эти добавки на ориентацию были исключены, но для конструкций из пористых материалов увеличился коэффициент теплопередачи на 10% для наружных ограждений, ориентированных на восток, северо-восток, север и северо-запад [58].

Важнейшим фактором при учете солнечной радиации является проникание излучения через остекленные поверхности (окна), так как большая часть солнечной энергии пройдет через него в здание. В помещениях излучение падает на внутренние поверхности и предметы. При этом коротковолновое излучение преобразуется в длинноволновое, которое уже не имеет достаточной энергии для прохождения через стекло из внутреннего пространства во внешнюю среду. Это явление называется парниковым эффектом. Оно приводит к повышению внутренней температуры в помещении и уменьшает потребление топлива на отопление. Эффект этот особенно важен в переходный период, т.е. в октябре, марте, апреле. Однако через стекло не пройдут все 100% солнечного излучения. Часть энергии поглощается, а часть отражается. Часть энергии, поглощенной стеклом за счет теплообмена, посту-

пает в помещение, другая часть уходит во внешнее пространство (рис. 16). В этом случае говорят о так называемом эффективном проникании  $T_{ef} = T + A_T$  и эффективном отражении  $R_{ef} = R + A_R$  ( $T$  — проникание излучения;  $A_T$  — часть энергии, передающейся от стекла в помещение;  $R$  — отраженное излучение,  $A_R$  — часть энергии, передающейся во внешнее пространство от стекла). Для обычного тянутого прозрачного стекла толщиной 5,5 мм проникание излучения составляет  $T_{ef} = 85\%$ .

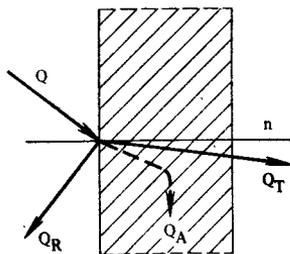


Рис. 15. Распределение солнечного излучения  $Q$ , Вт, падающего на поверхность тела (отражение  $R = Q_R/Q$ , поглощение  $A = Q_A/Q$ , проникание  $T = Q_T/Q$ )

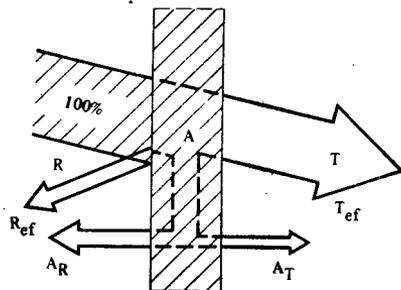


Рис. 16. Энергетический баланс солнечного излучения, падающего на лист простого стекла

Поступление теплоты за счет солнечной радиации зависит от площади окон и от ориентации по странам света. Наиболее выгодной является южная ориентация окна. Ориентация на север с этой точки зрения безрезультатна.

Однако увеличение размеров окон для использования солнечной энергии в холодный период может дать обратный результат, потому что окна имеют значительно большие теплопотери, чем непрозрачные строительные конструкции. С другой стороны, это способствует перегреву зданий летом. Проблему можно решить, проектируя в помещениях, ориентированных на юг, окна больших размеров, при этом на северной стороне следует проектировать окна меньших размеров или вообще обходиться без них.

Таким образом, целесообразно такое архитектурно-планировочное решение зданий, когда на юг ориентированы прежде всего жилые и другие основные помещения, а на север — помещения вспомогательного характера.

Вторая проблема решается путем защиты окон от солнечного излучения. Наиболее удобны подвижные жалюзи и т.п.,

так как зимой и в переходный период года они открыты и не препятствуют прониканию солнечного излучения в здание. Конструкция неподвижного солнцезащитного ограждения должна отвечать следующим требованиям: летом оно должно принимать на себя как можно больше солнечного излучения, а в холодный и переходный период года — как можно меньше. На южной стороне здания этому правилу соответствуют неподвижные горизонтальные жалюзи (рис. 17). В теплый период Солнце находится в таком положении, что

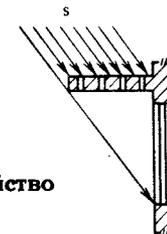


Рис. 17. Горизонтальное солнцезащитное устройство ( $S$  — направление солнечных лучей)

горизонтальные жалюзи отражают максимальное количество излучения, а в зимний и переходный период жалюзи не препятствуют прониканию солнечной радиации в здание. Для низких зданий аналогичную роль может сыграть достаточный вынос кровли (рис. 18).

Горизонтальные неподвижные жалюзи на западном фасаде эффективны в зимний и переходный периоды года, когда они не препятствуют прониканию солнечного излучения в здание, однако летом предохранение помещений от перегрева незначительно.

Применение легких конструкций зданий и увеличение площади окон расширило применение специальных стекол для окон. Эти стекла выполняют функции защиты от зданий от перегрева, так как пропускают значительно меньше солнечного излучения, чем нормальное прозрачное стекло. Например, специальное стекло Спектрофлоат-бронза (Spektrofloat-bronze) пропускает только 67% солнечного излучения, стекло Рефлекс-детермал (Reflex-determal) — 54% общего количества солнечной энергии, падающей на окно [26]. Применение специальных стекол экономически обоснованно только для специальных зданий, которые оборудованы системами кондиционирования воздуха. Стоимость этих систем и их эксплуатация в 3, а то и в 5 раз дороже, чем стоимость оборудования для отопления.

В этом случае часто идут даже на отказ от экономии энергии в холодный и переходный периоды года за счет уменьшения теплопотребления на отопление по сравнению со зданиями с нормальным стеклом.

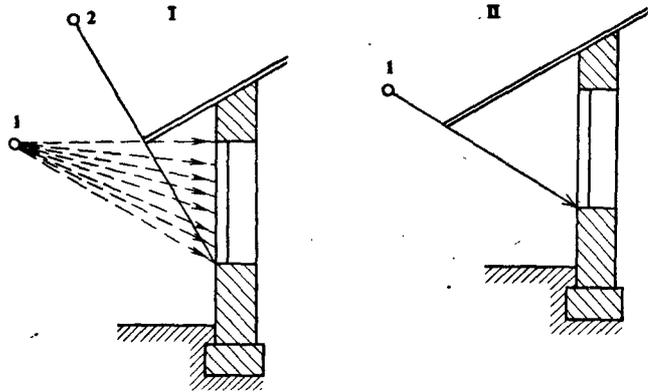


Рис. 18. Свес кровли  
I — правильный; II — неправильный; 1 — положение Солнца в зимние месяцы года; 2 — то же, в летние месяцы года

При массовом строительстве необходимо решать вопрос о размещении зданий таким образом, чтобы их затенения вообще не было или оно было незначительным. Из рассмотрения возможного положения Солнца и его влияния на освещение зданий [1] следует, что при высокой плотности застройки более выгодна застройка из вертикальных зданий с большими разрывами между ними, чем застройка из горизонтальных зданий, особенно тогда, когда здания образуют замкнутое пространство.

Учет влияния солнечной радиации на теплопотребление отапливаемых зданий может дать экономию теплоты не более 10–15% [6], но для этого необходимо выполнение определенных условий: помещения с большими окнами следует ориентировать на юг; на север ориентировать помещения с малыми окнами или помещения без них; солнцезащитные устройства необходимо проектировать так, чтобы в течение отопительного сезона они не препятствовали прониканию солнечных лучей в помещение; размещение зданий при плотной застройке решать таким образом, чтобы отдельные здания не затеняли друг друга; отопительную систему следует разделять на секции в соответствии с ориентацией по странам света и для каждой из них обеспечивать самостоятельное регулирование.

## 2.4. ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ И КОМПОЗИЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ ЗДАНИЙ

Как уже говорилось, геометрическое и композиционное решение может снизить теплопотери зданий и тем самым уменьшить потребность в топливе и энергии на отопление. Одним из важнейших факторов, воздействующих на теплопотери, являются площади наружных и внутренних строительных конструкций, через которые происходят теплопотери. Чем больше площадь этих конструкций, тем больше и теплопотери. В любом случае их значение зависит от геометрического и композиционного решения здания.

Однако при строительстве зданий уменьшение площади строительных конструкций не может быть самоцелью и должно быть соотнесено с определенной единицей измерения. Такой единицей может быть, например,  $1 \text{ м}^3$  объема здания. Задача в том, чтобы выбрать такие размеры зданий, которые дают наименьшую площадь строительных конструкций, приходящейся на  $1 \text{ м}^3$  его объема. Из геометрии известны соотношения объема и поверхности разных тел. Для одинакового объема наименьшую поверхность имеет шар, затем куб и далее прямоугольный параллелепипед.

Другой единицей для сравнения значений площадей наружных конструкций для разных зданий может быть  $1 \text{ м}^2$  застроенной площади. Например, при сравнении зданий с площадью в виде прямоугольника и с площадью в форме буквы L (рис. 19) получаем следующие данные: при застроенной площади  $180 \text{ м}^2$  площадь наружных конструкций составит в первом случае  $342 \text{ м}^2$ , во втором —  $396 \text{ м}^2$ , т.е. примерно на 16% больше.

Теплопотери зданий зависят также от площади внутренних ограждений, которые отделяют отапливаемые помещения от

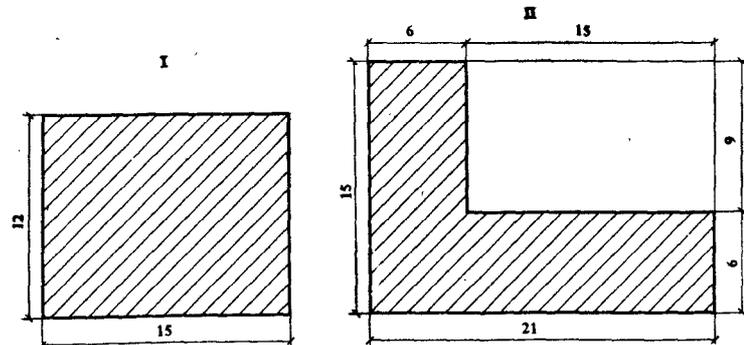


Рис. 19. План здания  
I — прямоугольный; II — L-образный

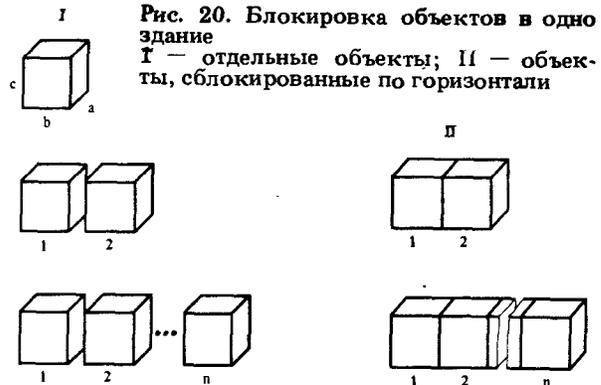


Рис. 20. Блокировка объектов в одно здание  
I — отдельные объекты; II — объекты, сблокированные по горизонтали

неотопливаемых или имеющих более низкую температуру воздуха, чем температура в рассматриваемом помещении. Из этого следует, что можно получить меньше теплотери при правильном композиционном решении здания, особенно при комбинировании отопляемых и неотопляемых объемов. В этом случае действует правило: отопляемые объемы должны граничить друг с другом, т.е. решение считается невыгодным, если чередуются отопляемые и неотопляемые объемы.

Площадь наружных строительных конструкций можно уменьшить также за счет отказа от строительства отдельных объектов, прибегая к их блокировке в одно здание. Например, объект в форме куба с размерами  $a = b = c$  имеет площадь наружного ограждения  $S_f^2 = 6a^2$ . Два отдельных таких объекта будут иметь  $S_f^2 = 12a^2$ , а в общем виде для  $n$  объектов (рис. 20).

$$S_f^2 = n6a^2. \quad (21)$$

Если сблокировать два объекта (рис. 20, II), получится параллелепипед с размерами  $a = c$  и  $b = 2a$ . Площадь наружного ограждения в этом случае равна:  $S_f^2 = 2(ab + ac + bc) = 2(a2a + aa + 2aa) = 10a^2$ .

При блокировании  $n$  объектов, если стороны параллелепипеда равны:  $a = c$ ,  $b = n$ , а площадь наружного ограждения

$$S_f^2 = 2(ana + aa + naa) = 2a^2(2n + 1). \quad (22)$$

Уменьшение площади наружного ограждения при блокировании двух объектов по сравнению с площадью ограждения двух самостоятельных объектов будет равно:

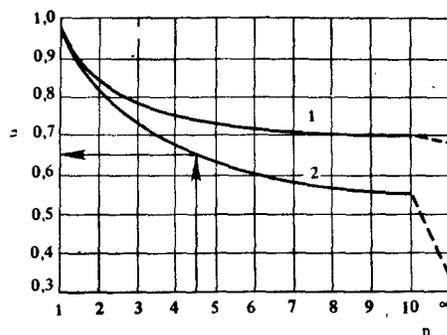


Рис. 21. Уменьшение площади наружного ограждения сблокированных объектов  
1 — объекты, сблокированные по горизонтали; 2 — объекты, сблокированные по горизонтали и по вертикали

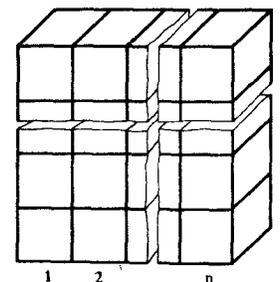
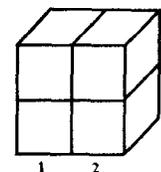


Рис. 22. Блокирование объектов одновременно по горизонтали и вертикали

$$u = \frac{10a^2}{12a^2} = 0,833 \quad (23)$$

и в общем виде при блокировании  $n$  объектов

$$u = \frac{2a^2(2+1)}{6a^2n} = \frac{1}{3} \left(2 + \frac{1}{n}\right). \quad (24)$$

Из формулы (24) следует, что наибольшее уменьшение площади наружного ограждения может достигнуть 33%.

Изменение площади наружного ограждения для сблокированных объектов по сравнению с площадью ограждения отдельных объектов показано на рис. 21 (кривая 1).

Видно, что наибольший эффект достигается при блокировании двух объектов (17%). Эффект постепенно уменьшается: при присоединении третьего объекта это уже 5% (всего 22%), четвертого — 3% (всего 25%) и т.д. Так как наибольший эффект может быть 33%, следует, что блокирование объектов в количестве более 5—6 не приводит к значительным уменьшениям площади наружного ограждения.

Однако объекты могут блокироваться не только по горизонтали один за другим, но и по вертикали — один над другим (рис. 22). Изменение площади наружного ограждения

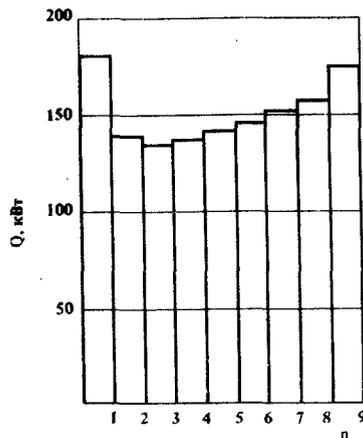


Рис. 23. Влияние количества этажей здания на тепловые потери [13] ( $n$  — количество этажей,  $Q$  — тепловые потери)

в заблокированных таким образом объектах по отношению к площади отдельных объектов показано на рис. 21, кривая 2. В этом случае достигается еще более значительный эффект, чем при блокировании объектов по горизонтали. Из сравнения кривых 1 и 2 на рис. 21 видно, что самым выгодным решением является блокирование четырех объектов друг за другом (по горизонтали) и друг над другом (по вертикали), чем только блокировка объектов по горизонтали. В первом случае уменьшение площади по отношению к площади отдельных объектов 0,667 (т.е. около 33%), во втором случае — 0,75 (т.е. 25%).

Такие выводы находятся в соответствии с известной истиной, что горизонтальная застройка с точки зрения теплопотерь более выгодна, чем застройка одиночная.

Тепловые потери также зависят от высоты здания (количества этажей). Когда речь идет о площади наружного ограждения, то в этом случае действительно зависимость, показанная на рис. 21 (кривая 1), т.е. площадь наружного ограждения уменьшается с увеличением количества объемов, расположенных друг над другом. Однако при увеличении высоты здания возрастают теплопотери на нагревание инфильтрующегося воздуха. Суммарные теплопотери имеют разные тенденции изменения в зависимости от высоты здания. Например, для обычных панельных зданий теплопотери от 4-го до 8-го надземного этажа снижаются на 3–4% по сравнению с 1–3 этажами; увеличение числа этажей от 8 до 16 приводит к увеличению тепловых потерь на 10% по сравнению с 1–3 этажами. Подобное изменение теплопотерь в зависимости от количества этажей приводится в работе [13] (рис. 23).

## 2.5. ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Теплотехнические свойства строительных конструкций относятся к факторам, стоящим на первом месте в обеспечении экономии топлива и энергии. Это проявляется, с одной стороны, в изменениях нормативных требований, с другой — в конкретных проектных предложениях, связанных с уменьшением теплопотерь и потребления энергии на отопление.

Нормативные требования к теплотехническим свойствам строительных конструкций до недавнего времени были связаны с обеспечением температуры на внутренней поверхности конструкции выше температуры точки росы хотя бы частичного уменьшения влияния холодного излучения.

С развитием панельного строительства в ЧССР были разработаны методы оценки теплотехнических свойств строительных конструкций с учетом приведенных выше требований. Однако одновременно возникало мнение о необходимости оценивать здания по потреблению энергии на отопление. Это вызывалось тем, что в панельных зданиях, оборудованных центральным отоплением, потребление энергии на отопление почти в 2 раза выше, чем потребление энергии в зданиях с местным отоплением. Одна из возможностей, приводящая к снижению потребления энергии, заключалась в улучшении теплотехнических свойств строительных конструкций. Для подтверждения этой точки зрения на практике особенно благоприятные условия возникли после 1959–1961 гг. В это время обращалось очень мало внимания на качество строительных конструкций. Значительная часть помещений в панельных домах не отвечала гигиеническим требованиям. Последовали очень дорогие ремонтные работы панельных домов: дополнительно усиливались особенно торцовые стены зданий и стены угловых помещений.

Однако гигиенические дефекты были не единственным неблагоприятным результатом недостаточных теплотехнических свойств строительных конструкций. Следующим недостатком было и чрезмерное повышение теплопотерь и потребления энергии на отопление. Создалось твердое мнение, что ничто не может помешать требованию оценивать здания с точки зрения потребления энергии на отопление. Однако реализации этого требования восприимчиво было то обстоятельство, что стоимость топлива и энергии были относительно низкими и поэтому достаточно широко считалось, что нет необходимости рассматривать проекты зданий с точки зрения потребления энергии на отопление.

Тем не менее были разработаны основные положения, которые вошли в распоряжение правительства 1104/62, где помимо других требований, имелось указание о том, чтобы жи-

лые дома обладали такими теплотехническими свойствами, которые обеспечивали бы потребление на отопление 9,3–9,9 МВт · ч/г для квартиры объемом 200 м<sup>3</sup>. Однако, как показала жизнь, это правительственное распоряжение не имело достаточной силы и не было применено в проектной практике. И только через 16 лет Совет Министров ЧССР в распоряжении № 182/1978 снова подтвердил необходимость потребления энергии на отопление зданий не выше 9,3 МВт · ч/г для квартиры объемом 200 м<sup>3</sup>. Этот показатель внесен в редакцию норм ЧСН 73 0540. Однако необходимо отметить, что на основе упоминавшегося распоряжения правительства 1962 г. было повышено внимание к технологии изготовления теплоизоляционных материалов, особенно минеральной ваты и пенополистирола. Тем самым были подготовлены условия для изготовления более качественных наружных ограждений.

Изменение отношения государственных органов в ЧССР и в других странах к теплотехническим свойствам строительных конструкций с учетом энергетических проблем было вызвано всеобщими энергетическими трудностями (табл. 20).

Из табл. 20 видно, что теплоизоляционным свойством строительных конструкций всегда уделялось наибольшее внимание в скандинавских странах: Швеции, Норвегии и Дании. Разница в значениях коэффициентов теплопередачи отдельных типов строительных конструкций в этих странах по сравнению с остальными странами была перед 1973 г. значительно больше. На 2 и особенно на 3 этапе уже не наблюдается такой большой разницы между отдельными странами. Из этого следует, что энергетический кризис в некоторых западных странах, которые не уделяли особого внимания теплотехническим свойствам строительных конструкций, потребовал решительного улучшения теплоизоляционных способностей наружных ограждений.

Улучшением теплотехнических свойств строительных конструкций занимаются многие страны, в том числе и соседние с ЧССР. Например, в проекте новых нормативных требований теплотехнических свойств в Румынии принимается после 1981 г. коэффициент теплопередачи наружных стен  $k = 0,85 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$  [прежнее значение  $k = 1,5 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ ], а в 1986 г. эта характеристика снизилась до значения  $k = 0,70 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ . Для конструкций чердачных перекрытий предполагается уже с 1981 г. коэффициент теплопередачи снизить до значения  $k = 0,40 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$  [51]. Кроме того, устанавливается наибольшее допустимое среднее значение коэффициента теплопередачи наружного ограждения зданий (включая окна). С 1981 г. он принимается не более чем  $k_{pr} = 2,3 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ , а с 1986 г.  $k_{pr} = 2,0 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ .

Т а б л и ц а 20. Среднее значение коэффициента теплопередачи  $k$ , Вт/(м<sup>2</sup> · К), в некоторых странах [31]

Страны	Этапы	Коэффициент $k$			
		стена	окно	чердачное перекрытие	перекрытие над подвалом
Дания	1	0,42	3,0	0,37	0,55
	2	0,36	3,0	0,27	0,51
	3	0,30	2,5	0,20	0,30
Франция	1	1,57	5,23	2,91	2,33
	2	0,70	3,40	0,55	0,80
	3	0,41	2,33	0,30	0,71
ФРГ	1	1,57	5,23	0,81	1,01
	2	0,81	3,49	0,69	0,83
	3	0,47	3,02	0,38	0,47
Голландия	1	1,67	5,0	0,97	0,97
	2	0,68	5,0	0,68	0,97
	3	0,57	2,96	0,62	0,97
Италия	1	1,39	6,05	2,03	1,47
	2	1,39	6,05	2,03	1,47
	3	0,36	3,77	0,32	0,70
Норвегия	1	0,58	3,14	0,47	0,70
	2	0,43	2,79	0,33	0,35
	3	0,27	2,33	0,20	0,24
Швеция	1	0,58	3,10	0,47	0,47
	2	0,35	3,10	0,25	0,40
	3	0,30	2,50	0,20	0,30
Велико-британия	1	1,70	5,68	1,42	1,0
	2	1,0	5,68	0,60	1,0
	3	0,55	5,68	0,35	0,5

<sup>1</sup> Этап 1 — значения  $k$ , применявшиеся до 1973 г. (год начала энергетического кризиса); этапы 2 и 3 — значения  $k$ , применявшиеся в последующие годы.

Австрийские нормы ONORM (ONORM) 8110 [65] содержат требования для жилых и общественных зданий, в которых даны коэффициенты теплопередачи, приведенные в табл. 21 (для сравнения в ней приведены только данные для районов с температурой наружного воздуха, принимаемой в ЧССР). Указанные в примечаниях к табл. 21 допустимые средние значения коэффициентов теплопередачи наружного ограждения необходимо учитывать, когда площадь окон и дверей составляет более 20% площади наружных стен. Значения коэф-

коэффициентов теплопередачи в табл. 21 не относятся к случаю, когда остекление тройное или воздухопроницаемость окон очень мала, т.е. когда она не превышает значения  $0,18 \text{ м}^3 / (\text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}^{2/3})$  или  $0,5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3 / (\text{м} \cdot \text{с} \cdot \text{Па}^{0,67})$ .

Нормы Австрии ONORM 8110 устанавливают также удельные потери теплоты жилых и общественных зданий. В областях с количеством градусо-дней 3200–3600 (области с расчетной температурой  $-15^\circ\text{C}$ ) удельные теплопотери для индивидуальных домов не должны быть более  $58 \text{ Вт/м}^3$ , в остальных домах —  $41 \text{ Вт/м}^3$  через чердачное перекрытие,  $36 \text{ Вт/м}^3$  через перекрытие над подвалом и  $29 \text{ Вт/м}^3$  — через средние перекрытия. Удельные тепловые потери не нужно вычислять, если свойства строительных конструкций соответствуют приводимым требованиям норм и в тех случаях, когда площадь окон и наружных дверей не превышает 20% площади наружных вертикальных стен. Анализ удельных теплопотерь не требуется даже при площади окон 30%, если термическое сопротивление вертикальных конструкций больше на 100%, а для чердачных перекрытий на 50% по сравнению со значениями табл. 21. В нормах ONORM есть рекомендация применения более высокие значения термического сопротивления, чем те, которые приведены в табл. 21, именно для достижения экономии топлива на отопление.

В ФРГ в 1977 г. было издано предписание [56], которое дополняет основные теплотехнические нормы DIN (ДИН) 4108. Задачей предписания было изменить теплопотери зданий за счет теплопередачи таким образом, чтобы средний коэффициент теплопередачи строительных конструкций (окна, наружные стены, перекрытия последнего этажа и пола первого этажа) не были больше (в зависимости от отношения  $S/V, 1/\text{м}$ ), чем приведенные в табл. 22 ( $S$  — площадь строительных конструкций, через которые происходят тепловые потери,  $\text{м}^2$ ;  $V$  — объем здания,  $\text{м}^3$ ). Для отдельных строительных конструкций значения коэффициента теплопередачи не должны быть больше, чем приведенные в табл. 23 [64].

Среднее значение коэффициента теплопередачи наружного ограждения,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$  определяется в соответствии с нормами ДИН 4108 по формуле

$$k_{pr} = \frac{k_W S_W + k_F S_F + k_D S_D + 0,5 k_G S_G}{S} \quad (25)$$

где  $k_W, k_F, k_D, k_G$  — коэффициенты теплопередачи соответственно стен, окон, конструкций перекрытий и пола первого этажа,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ ;  $S_W, S_F, S_D, S_G$  — площади соответствующих конструкций,  $\text{м}^2$ ;  $S$  — суммарная площадь всех конструкций,  $\text{м}^2$ .

Т а б л и ц а 21. Коэффициенты теплопередачи  $k, \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ , по нормам Австрии ONORM [65]

Конструкции	Коэффициент $k$		
	температура наружного воздуха $t_e, ^\circ\text{C}$		
	-15	-18	-21
Наружные стены	1,52 (0,49)	1,41 (0,54)	1,30 (0,60)
Чердачные перекрытия	0,91 (0,94)	0,84 (1,03)	0,78 (1,12)
Перекрытия над подвалом	1,06 (0,60)	0,98 (0,69)	0,91 (0,76)
Среднее значение коэффициента теплопередачи $k_{pr}, \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$	1,87	1,79	1,69

Примечание. Значения в скобках — термическое сопротивление конструкций  $R \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ .

Т а б л и ц а 22. Наибольшие значения коэффициента теплопередачи  $k_{pr, m}, \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ , в зависимости от отношения  $S/V, 1/\text{м}$  [56]

$S/V, 1/\text{м}$	0,24	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,0
$k_{pr, m}, \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$	1,40	1,24	1,90	0,99	0,93	0,88	0,95	0,82	0,80

Т а б л и ц а 23. Наибольшие значения коэффициента теплопередачи  $k, \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ , для отдельных типов конструкций [64]

Тип конструкции	Коэффициент теплопередачи $k, \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$
Наружные стены, включая окна	От 1,45 до 1,75
Перекрытия, отделяющие помещения от внешнего пространства	0,45
Перекрытия над неотапливаемым подвалом	0,80
Перекрытия и стены, смежные с помещениями без отопления, полы на грунте	0,90

Если здание должно соответствовать повышенным требованиям к теплоизоляционной способности, то должно быть выполнено условие

$$k_{pr} \leq k_{pr, m} \quad (26)$$

где  $k_{pr}$  — определяется по формуле (25), а  $k_{pr, m}$  принимается по табл. 22.

В рассмотренном предписании ФРГ [56] отмечается, что местные власти разрешают в виде исключения отступать (на основании заявления, прошения) от предписания, если тепловые потери в той же степени будут уменьшены за счет иных строительных мероприятий, не предусмотренных этим документом. Кроме того, можно отступить от требований предписания, если при их реализации возникают непомерно большие затраты или эти требования вызывают сложные проблемы.

В ЧССР также были пересмотрены теплотехнические нормы ЧСН 73 0540. В табл. 24 приведены значения коэффициентов теплопередачи (действовавших и действующих норм) наиболее важных строительных конструкций, через которые происходит теплопотери. Наиболее значительные изменения касаются покрытий зданий. Значения коэффициентов теплопередачи уменьшены приблизительно на 0,5. Для конструкций стен в местностях с температурой наружного воздуха  $-15^{\circ}\text{C}$  значение  $k$  уменьшилось на 36% по отношению к значениям действовавших норм. Для конструкций чердачных перекрытий изменились значения для районов с температурой наружного воздуха  $-18$  и  $-21^{\circ}\text{C}$ . Для перекрытий над открытыми проездами и т.п. не произошло никаких изменений. Коэффициент теплопередачи окон в нормах ЧСН 73 0540 старой редакции

Т а б л и ц а 24. Значения коэффициентов теплопередачи  $k$ , Вт/( $\text{м}^2 \cdot \text{K}$ ), которые должны применяться в ЧССР

Конструкции		Коэффициент $k$		
		температура наружного воздуха $t_e$ , $^{\circ}\text{C}$		
		-15	-18	-21
Стена	1*	1,39	1,29	1,19
	2	0,89	0,86	0,79
Окно	1	—	—	—
	2	3,7 (3,15)	3,7 (3,15)	3,7 (3,15)
Бесчердачное покрытие	1	0,93	0,86	0,79
	2	0,51	0,47	0,43
Перекрытие над открытым проездом и т.п.	1	0,51	0,47	0,43
	2	0,51	0,47	0,43
Чердачное перекрытие	1	0,97	0,97	0,97
	2	0,97	0,89	0,82

\* 1 — значения по старым нормам ЧСН 73 0540; 2 — значения по новым нормам ЧСН 73 0540.

не приводился. В нормах ЧСН 06 0210 рекомендуется для постоянно отапливаемых помещений применять только двойное или тройное остекление.

Из примечаний к табл. 7 (см. с. 23) следует, что требуемые значения коэффициентов теплопередачи должны применяться в полной мере с 1984 г.

Сравнение значений коэффициентов теплопередачи строительных конструкций, обязательных для применения в ЧССР, со значениями, применяемыми в других странах (см. табл. 20 и табл. 24), показывает, что в некоторых странах, особенно в скандинавских, требуемые значения значительно меньше. На основе этого сравнения часто критикуют нормы 73 0540. При этом значения, предусмотренные нормами ЧСН 73 0540, считаются менее прогрессивными. Делать выводы только на основе сравнения коэффициентов теплопередачи строительных конструкций, однако, не совсем правильно (это не совсем полное сравнение). Как можно видеть из раздела 1.4, ЧСН 73 0540 требуют выполнения комплекса мер, каждая из которых имеет определенное положительное влияние на тепловые потери зданий. Наиболее важное требование лимитирует потребление энергии на отопление таким образом, как о нем уже говорилось.

Потребление энергии на отопление отличается в зависимости от вида отопительной системы. При постоянном отоплении здания применима формула

$$E_{sk, N} = p \cdot 2,1 \cdot 10^3 \cdot Q_{bN} \quad (27)$$

и для прерывистого отопления

$$E_{sk, P} = p \cdot 1,8 \cdot 10^3 \cdot Q_{bN} \quad (28)$$

где  $E_{sk, N}$ ,  $E_{sk, P}$  — потребность в энергии на отопление зданий соответственно при постоянном и прерывистом отоплении МВт·ч/(г. квартира);  $Q_{bN} = Q_N/n$  — теплопотери средней квартиры, МВт;  $n$  — количество квартир в здании;  $Q_N$  — теплопотери здания, вычисленные по нормам ЧСН 06 0210 при постоянном отоплении, МВт;  $p = 1$  при  $t_{eov} \leq t_{eon} = 12^{\circ}\text{C}$ ;  $p = \frac{dNv}{238}$  при  $t_{eov} > 12^{\circ}\text{C}$ ;  $t_{eov}$  — расчетная температура наружного воздуха, при которой должно включаться (отключаться) отопление,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $t_{eon}$  — нормативная температура наружного воздуха, при которой включается (отключается) отопление,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $dNv$  — количество дней с температурой ниже  $t_{eov}$  (устанавливается совместно с  $t_{eov}$ ) в соответствии с требованиями ЧСН 73 0549.

Если подставить в формулу (27) и (28)  $p = 1$  (нормальная продолжительность отопительного сезона), а  $E_{sk, N}$  и  $E_{sk, P}$

принять равным значениям потребляемой энергии на отопление, т.е. 9,3 МВт·ч/(г·квартира), то можно найти теплопотери

$$Q_{bN} = \frac{9,3}{2,1 \cdot 10^3} =$$

= 4429 Вт и при прерывистом отоплении  $Q_{bN} = 5167$  Вт.

Разделив тепловые потери квартиры на ее объем, равный 200 м<sup>3</sup>, определим, что удельные потери теплоты равны 22,1 Вт/м<sup>3</sup> для первого случая и 25,9 Вт/м<sup>3</sup> для второго, в то же время нормы Австрии предусматривают удельные потери 41–29 Вт/м<sup>3</sup>.

Коэффициент  $p$  характеризует тепловую устойчивость здания. Если здание имеет малую устойчивость, то для него необходимо продлить время отопительного сезона в крайнем случае на 60 дней (в этом случае  $p = 1,25$ ). При этом получаем наибольшие допустимые теплопотери квартиры 3529 Вт (второй случай, т.е. прерывистый способ отопления не принимается во внимание) и удельные теплопотери — 17,6 Вт/м<sup>3</sup>. Тогда необходимый коэффициент теплопередачи вертикального ограждения зданий будет около  $k = 0,3$  Вт/(м<sup>2</sup>·К). При этом сравнение с наибольшим допустимым значением коэффициента теплопередачи, требуемым нормами ФРГ ДИН 4108, уже не вызывает неблагоприятных впечатлений от требований норм ЧСН 73 0540.

В табл. 25 дано сравнение коэффициентов теплопередачи наружных стеновых конструкций некоторых объектов  $k$  для них, отношение  $k_{pr}$  и соответствующие ему допустимые средние значения коэффициентов теплопередачи  $k_{pr, m}$  по табл. 22. Из табл. 25 следует, что объекты ЧССР, соотнесенные к нормам ФРГ ДИН 4108, можно считать правильно запроектированными. Исключение составляет объект Т06-В из керамзитобетонных панелей с коэффициентом теплопередачи  $k = 1,43$  Вт/(м<sup>2</sup>·К), однако он соответствует нормам ЧСН 73 0540, по которым этот объект также считается правильно запроектированным.

Лимит потребления энергии 9,3 МВт·ч/(г·квартира) не распространяется на индивидуальные дома, если на них распространяется распоряжение FMPE (ФМПЕ) № 22/77 [52] и если предполагается использование электрического отопления. Удельные теплопотери индивидуальных домов не должны быть более чем 35 Вт/м<sup>3</sup> отапливаемого объема. Это значение также ниже, чем требуют нормы Австрии ONORM (58 Вт/м<sup>3</sup>).

При сравнении различных нормативных обоснований важным является также способ определения сопротивления теплопередаче строительных конструкций (коэффициента теплопередачи), а именно, имеют ли строительные конструкции мостики холода, неоднородность и т.п. Нормы ЧССР ЧСН 73 0540,

Т а б л и ц а 25. Оценка объектов в соответствии с нормами ДИН (DIN) 4180

Объект	$S/V$ , 1/м	$k_{pr, m}$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	$k_{pr}$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	Соответствие нормам
VVÚ — ETA ( $k = 0,92$ )	0,29	1,29	1,26	Соответствует
VVÚ — ETA ( $k = 0,52$ )	0,28	1,29	1,08	„
T06 — BU ( $k = 0,85$ )	0,31	1,23	1,20	„
T06 — BKV ( $k = 1,43$ )	0,31	1,23	1,28	Не соответствует
P.1.11 ( $k = 0,52$ )	0,31	1,23	1,12	Соответствует
T08 — В ( $k = 0,90$ )	0,27	1,31	1,28	„

хотя и допускают мостики холода с относительно низким значением сопротивления теплопередаче, однако сниженное значение сопротивления должно быть компенсировано повышением сопротивления теплопередаче самой конструкции. Иначе не было бы выдержано требование, содержащееся в нормах ЧСН 73 0540, а именно — сопротивление теплопередаче в табл. 7 установлено таким образом, чтобы средняя температура на внутренней поверхности ограждения была хотя бы на уровне, отвечающем минимальным значениям, приведенным в указанных таблицах. В строительных конструкциях с арматурой необходимо обращать внимание также на влияние арматуры на теплопроводность. Влияние арматуры может быть при определенных условиях значительно, так как теплопроводность стали в 50–100 раз больше, чем у строительных и теплоизоляционных материалов. (Например, для пенополистирола она в 1000 раз меньше). Для пористого бетона изменение теплопроводности можно ориентировочно принимать по табл. 26.

Следующим примером подробного рассмотрения является силикатная панель типа "сэндвич" (рис. 24). Наружные

Т а б л и ц а 26. Повышение теплопроводности поробетона с учетом поперечной арматуры

Процент армирования (отношение массы поперечной арматуры к массе конструкции, %)	1	2	3	4	5	6
Повышение теплопроводности, %	23,5	35,5	43,0	47,7	50,5	52,5

слои такой панели наиболее часто бывают из железобетона, а средний слой из материала с низкой теплопроводностью, например пенополистирола [ $\lambda = 0,043 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$ ]. Железобетонные слои, однако, должны быть соединены арматурой, которая проходит через средний слой, а, кроме того, цементный раствор или бетон затекает между пенополистироловыми плитами. Средний слой при этом становится неоднородным, состоящим из пенополистирола, бетона и арматуры. Теплопроводность первоначального изоляционного материала увеличивается, так как бетон и арматура имеют значительно большие значения теплопроводности. Это увеличение может быть на 10—70% в зависимости от количества бетона, затекшего в швы между плитами, и арматуры. Например, для панели "сэндвич" с пенополистиролом необходимо считаться со значением теплопроводности этого среднего (неоднородного) слоя  $0,047\text{--}0,073 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$ .

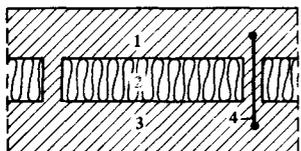


Рис. 24. Расположение слоев в панели типа "сэндвич"  
1, 3 — железобетон; 2 — теплоизоляция;  
4 — арматура

Способ определения расчетных значений теплотехнических величин, прежде всего теплопроводности, применяемый в нормах ЧСН 73 0542, является необычным для других стран. В нормах ЧСН 73 0542 значения теплотехнических величин устанавливаются как сумму средних значений двойного отклонения. Определенное таким способом значение соответствующей величины имеет обеспеченность 0,95 и дает уверенность в том, что это значение не будет превышено. Кроме того, учитывается следующий важный реальный фактор. Расчетные значения теплотехнических свойств гигроскопических материалов устанавливаются с учетом фактической влажности или отношения наибольшей массы конструкции при установившейся влажности к массе конструкции в сухом состоянии. Масса при установившейся влажности бывает наибольшей в конце отопительного сезона. Средняя влажность конструкции за время отопительного периода меньше, чем это значение. Действительная теплопроводность и коэффициент теплопередачи за время отопительного сезона в этом случае меньше, чем это граничное значение.

На основе приведенных факторов можно констатировать, что способ определения сопротивления теплопередаче или коэффициента теплопередачи строительных конструкций по нормам ЧССР дает уверенность, что действительные теплотери и потребление энергии на отопление зданий не будет больше, чем это принималось при проектировании.

Строительные конструкции должны иметь достаточную тепловую инерцию. Проще говоря, при малой теплоемкости материала, примененного для изготовления, необходимо увеличить сопротивление теплопередаче конструкции (а тем самым уменьшить коэффициент теплопередачи), чтобы было достигнуто минимальное значение затухания расчетной амплитуды колебания температуры (см. табл. 10). В крайнем случае, т.е. когда конструкции очень легкие, коэффициент теплопередачи может быть не более  $0,59\text{--}0,72 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$ , если должны быть обеспечены значения затухания  $13,5\text{--}11,1$  (см. табл. 10).

В связи с рассмотрением тепловой инерции необходимо также рассмотреть коэффициент теплопередачи окон. Окна имеют малое значение тепловой инерции. Поэтому нужно бы было принимать значительно более низкую температуру наружного воздуха при определении теплотерь, чем принимаемая для непрозрачных конструкций. Чтобы расчет теплотерь не усложнялся, принимается только одно значение этой температуры (в соответствии с районированием) без учета того, что теплотери происходят через окно (конструкцию с малой тепловой инерцией) или через непрозрачные конструкции (конструкции с большой или хотя бы с достаточной тепловой инерцией). Недостаточная тепловая инерция окон компенсируется увеличением их коэффициента теплопередачи; это увеличение по отношению к первоначальному значению составляет 15% (см. нормы ЧСН 73 0542). Поэтому действительно требуемое значение коэффициента теплопередачи окон равно  $3,15 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$  (см. значения в скобках в табл. 24). Тепловая устойчивость также способствует уменьшению теплотребности на отопление, особенно в переходное время: с одной стороны, в зданиях с большой тепловой устойчивостью может быть большой перерыв в отоплении, с другой — более медленно теряется теплота, полученная от переменного солнечного излучения, проникающего в здание.

О влиянии конденсации водяных паров внутри конструкции и о влиянии воздухопроницаемости на теплотери уже было рассказано в разд. 1.

Норма ЧСН 73 0540 требует также выполнения теплотехнической и экономической оценки строительных конструкций. Оценка зависит от того, будет ли толщина конструкции больше, чем толщина, полученная из расчетов с учетом всех остальных теплотехнических требований. Увеличение толщины конструкции способствует уменьшению коэффициента теплопередачи. Этот способ оценки с точки зрения уменьшения тепловых потерь тем более эффективен в тех случаях, когда топливо и энергия дорогие, а строительные и изоляционные материалы дешевые (проблема будет рассмотрена более подробно в последнем разделе).

Таким образом, требования норм ЧССР находятся на уровне требований соседних государств, они более целесообразны и в некоторых вопросах более точны.

Мероприятия по обеспечению нормативных требований. Нормативные требования являются важным инструментом для обеспечения энергетической политики при строительстве зданий, однако они не являются единственным и конечным актом при решении проблем, связанных с улучшением строительных конструкций. Из табл. 7 следует, что полное применение нормативных требований предполагается с 1984 г. Это время установлено для того, чтобы было подготовлено изменение производства по изготовлению строительных конструкций. Важность этой подготовки подчеркивается в распоряжении правительства № 182/78 и в приказах министерств Чехии и Словакии.

Первый этап был направлен на составление обзора современных строительных конструкций и значений их термического сопротивления (коэффициентов теплопередачи) (см. табл. 27).

Если сравнить значения сопротивлений теплопередаче, представленные в табл. 27, со значениями, приведенными в табл. 7, то можно убедиться, что неудовлетворительными являются прежде всего — строительные конструкции из бетона и легких камней, например шлакокерамзитобетона, керамзитобетона, бетона на вспученных заполнителях, керамических панелей. Удовлетворительными являются панели типа "сэндвич" с пенополистиролом толщиной 6 и 8 см. Было определено, что из всего множества изготавливаемых вертикальных стеновых конструкций удовлетворяют требованиям норм ЧСН 73 0540 около 25% (к 1978 г.).

Современные перекрытия верхних этажей зданий не удовлетворяют вообще повышенным требованиям норм ЧСН 73 0540. Из распределения теплотерь в здании (табл. 28) видно, что необходимо уделять внимание внутренним и оконным конструкциям. Теплотери через внутренние конструкции и окна возрастают при уменьшающихся теплотерях через наружные конструкции, т.е. при уменьшении значения их коэффициента теплопередачи.

На следующем этапе разрабатываются проектные решения по улучшению теплотехнических свойств строительных конструкций, направленные на достижение значений, требуемых нормами ЧСН 73 0540, или даже лучших.

При рассмотрении *наружных вертикальных ограждающих конструкций* (см. табл. 27) видно, что наименьшим коэффициентом теплопередачи обладают (слоистые) железобетонные панели типа "сэндвич" с изоляционным слоем из пенополистирола [толщина железобетона 21 (15 + 6) см и теплопроводность утеплителя от 0,047 до 0,073 Вт/(м<sup>2</sup> · К)]. На рис. 25 верхняя граница относится к более высокой теплопровод-

ности (кривая 1), а нижняя — к более низкой (кривая 2). Минимальные значения коэффициента теплопередачи, которые необходимы с точки зрения нормативных требований, получаются с достаточным запасом при толщине пенополистирола 6—7 см (см. табл. 24) (обычно принимают толщину пенополистирола 8 см). Значение коэффициента теплопередачи в этом случае будет не более 0,72 Вт/(м<sup>2</sup> · К). Из изменения кривых на рис. 25, однако, можно определить, что значение коэффициента теплопередачи рассмотренной панели при соответствующих условиях можно уменьшить до значения 0,5 Вт/(м<sup>2</sup> · К). Этого можно добиться при применении минимального количества соединительной арматуры и исключении затекания бетона между швами плит пенополистирола. Снизить влияние соединительной арматуры можно при изменении толщины наружного защитного слоя железобетона. Наиболее выгодно, однако, заменить этот наружный слой более легким, который на наружной поверхности был бы защищен стойкой полимерной пленкой того же состава [41]. Другими мероприятиями для уменьшения коэффициента теплопередачи панелей типа "сэндвич" являются: устройство теплоизоляционного слоя толщиной 8 см в два слоя из пенополистирола толщиной 4 см со взаимно чередующимися швами; решение стыка панелей с минимальным уменьшением толщины теплоизоляционного слоя (рис. 26); формирование четвертей заполнений с отверстиями; изготовление самостоятельного жесткого каркаса для обоих крайних слоев с целью обеспечить качественную укладку теплоизоляционного слоя.

Из рис. 25 также видно, что коэффициент теплопередачи панелей "сэндвич" при толщине пенополистирола 16 см равен  $k = 0,3$  Вт/(м<sup>2</sup> · К). Это соответствует нормам Швеции [50], в которых указывается, что толщина изоляционного слоя должна быть 15—20 см, при этом должен быть использован высокоэффективный материал с теплопроводностью 0,04 Вт/(м · К).

Иной вариант наружной вертикальной стеновой панели показан на рис. 27, I. При общей толщине панели 30 см и толщине пенополистирола 6 см можно предположить, что коэффициент теплопередачи будет в пределах 0,60—0,79 Вт/(м<sup>2</sup> · К). Конкретное значение зависит от объема арматуры и количества бетона в теплоизоляционном слое. Существует также проект использования керамических блоков в панели с двумя слоями, которые образуются за счет заполнения пустот блоков пенополистиролом (рис. 27, II). Ожидаемое значение коэффициента теплопередачи  $k = 0,79$  Вт/(м<sup>2</sup> · К). Планируется также использовать в качестве заполнения пустот керамических блоков и другие материалы, составленные из строительного гипса, вспученного полистирола, воды и других добавок. Мате-

Таблица 27. Наружные вертикальные стеновые конструкции (разработанные к 1978 г.)

Тип	назначение		Панель характеристика	$R, m^2 \cdot K / Вт \cdot K$	$Вт / (m^2 \cdot K)$	Соответствие нормам ЧСН 73 0540
	назначение	характеристика				
T06-BU (г. Усти)	Фронтон	Слоистая, 6 см пенополистирола	Слоистая, 6 см пенополистирола То же Деревянная, 6,1, см Rotaflex (Ротафлекс)	1,15	0,76	Соответствует
	Фасад	То же		0,96	0,89	"
T06-B FSBU (г. Брно)	Лоджия	Деревянная, 6,1, см Rotaflex (Ротафлекс)	Слоистая, 6 см пенополистирола То же	0,85	0,98	Не соответст- вует <sup>2</sup>
	Фасад	То же		1,28	0,69	Соответствует
T06-B KDU (г. Брно)	Фронтон	Шлакокерамзитобетон 1450 кг/м <sup>3</sup> (30 см)	Шлакокерамзитобетон 1450 кг/м <sup>3</sup> То же, 34 см Двухслойная - бетон (15 см) + керам- зитобетон 1190 кг/м <sup>3</sup> (24 см)	0,47	1,57	Не соответ- ствует
	Фасад	То же, 30 см		0,53	1,42	"
T06-B (г. Карловы Вары)	Фронтон	Двухслойная - бетон (15 см) + керам- зитобетон 1190 кг/м <sup>3</sup> (24 см)	Керамзитобетон 1190 кг/м <sup>3</sup> (27 см) То же, 30 см	0,63	1,26	"
	Фасад	То же		0,45	1,61	"
T06-B OL (г. Оломоуц)	Фасад I	Керамзитобетон 1190 кг/м <sup>3</sup> (27 см)	Слоистая, 8 см пенополистирола Бетон на вспученных заполнителях 1130 кг/м <sup>3</sup> (20 см)	0,51	1,48	"
	Фасад II	То же, 30 см		0,51	1,48	"
T06-B (г. Пардубице)	Фронтон	Бетон на вспученных заполнителях 1130 кг/м <sup>3</sup> (20 см)	Керамическая с бетонным слоем (со спиральной арматурой - с арматурой Монье)	1,80	0,51	Соответствует
	Фасад	То же		0,51	1,48	Не соответ- ствует
T06-B (г. Ческе Будеёвице)	Фронтон	Керамическая с бетонным слоем (со спиральной арматурой - с арматурой Монье)	Керамическая	0,58	1,33	"
	Фасад	То же		0,49	1,52	"
T08-B	Фронтон	Диатомовая земля 20 см + бетон 15 см	Диатомовая земля 20 см + бетон 15 см Керамическая двухслойная 30 см	1,15	0,76	Соответствует
	Фасад	То же		0,65	1,23	Не соответ- ствует
VVU-ETA	Фронтон I	Слоистая, 4 см пенополистирола	Слоистая, 4 см пенополистирола То же	0,94	0,91	"
	Фронтон II	То же		0,81	1,03	"
Larsen (Ларсен) (г. Либерец)	Парапет	То же	Межкомнатная Слоистая, 4 см пенополистирола	0,92	0,92	"
	Фасад	То же		0,82	1,02	"
Larsen (Ларсен) (г. Либерец)	Фронтон	Слоистая, 4 см пенополистирола	Слоистая, 4 см пенополистирола	0,95	0,90	Соответствует
	Парапет	То же		0,93	0,91	Не соответ- ствует
Nielsen (Нильсен)	Фасад	Слоистая, 5 см пенополистирола	Слоистая, 5 см пенополистирола То же	0,88	0,95	"
	Фасад	То же		1,10	0,79	Соответствует
P 1.11 STU	Фасад	Слоистая, 8 см пенополистирола	Слоистая, 8 см пенополистирола То же	1,0	0,86	" 2
	Фасад	То же		1,77	0,52	"
BANKS (г. Либерец)	Фасад	То же	Слоистая, 4 см пенополистирола	1,81	0,52	"
	Фасад	То же		1,70	0,54	"
(Промстав) PS-69	Фасад	Слоистая, 4 см пенополистирола	Слоистая, 4 см пенополистирола	1,64	0,55	Не соответ- ствует
	Фасад	То же		0,83	1,00	"
B-70	Фасад	То же	Керамзитобетон 1180 кг/м <sup>3</sup> (27 см) Легкая - 10 см минеральная пластмасса	0,84	0,99	"
	Фасад	То же		0,94	0,90	"
B-70	Лоджия	Древесно-стружечная + 4 см пенополи- стирола	Древесно-стружечная + 4 см пенополи- стирола	0,45	1,62	Соответствует
	Фасад	То же		1,14	0,77	"
B-70	Фасад	Слоистая, 6 см пенополистирола	Слоистая, 6 см пенополистирола То же	0,84	0,99	Не соответ- ствует
	Фасад	То же		1,25	0,71	Соответствует
B-70	Фасад	То же	Слоистая, 6 см пенополистирола То же	1,25	0,71	"
	Фасад	То же		1,25	0,71	"

<sup>1</sup> Соответствует только для районов с температурой наружного воздуха  $t_e = -15^\circ C$ .

<sup>2</sup> Соответствует для  $t_e = -15^\circ C$  и  $t_e = -18^\circ C$ .

Т а б л и ц а 28. Распределение тепловых потерь в здании

Тип конструкции	Распределение тепловых потерь $\nu$ , %, при коэффициенте теплопередачи наружных ограждающих конструкций $k$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·К)			
	0,5	1,0	1,5	
Наружная ограждающая конструкция	15,6	27,0	33,6	
Окно	теплопередача	25,3	21,7	19,8
	инfiltrация	31,0	26,8	24,3
Пол	2,0	1,7	1,5	
Перекрытие	2,1	1,8	1,7	
Внутренние конструкции	24,0	21,0	19,1	

риал можно транспортировать насосами до устройства в виде пучка трубок, которые при заполнении вставляются в пустоты блоков. В рассмотренных выше конструкциях могут быть также использованы прогрессивные кирпичные изделия из очень эффективных теплоизоляционных материалов. Сами кирпичные изделия имеют коэффициент теплопередачи на уровне классических традиционных значений. Уменьшение коэффициента теплопередачи привело бы к непомерному увеличению толщины этих конструкций. Это обстоятельство хорошо проявляется при классической кладке из обожженного полнотелого кирпича. При толщине 45 см коэффициент теплопередачи  $k = 1,45$  Вт/(м<sup>2</sup>·К) [теплопроводность  $\lambda = 0,86$  Вт/(м·К)]. Только при толщине 90–120 см будут достигнуты значения коэффициента теплопередачи на уровне ранее приведенных наружных конструкций, т.е.  $k = 0,8–0,7$  Вт/(м<sup>2</sup>·К) (рис. 28).

Приемлемые значения коэффициента теплопередачи получают также для поробетонных панелей при толщине около 30 см (рис. 29). В нормах ЧСН 73 0542 указано, что в случаях, когда невозможно принять решение о том, где будет применен газобетон или газосиликат, следует принимать значения коэффициента теплопередачи, относящиеся к газобетону. На рис. 29 значения даны для случая, когда арматура отсутствует. Для армированных наружных ограждающих конструкций из поробетона теплопроводность должна быть увеличена в соответствии с табл. 26.

Рис. 25. Зависимость коэффициента теплопередачи железобетонной панели типа "сэндвич" от толщины пенополистирола 1 —  $\lambda = 0,047$  Вт/(м·К), 2 —  $\lambda = 0,073$  Вт/(м·К)

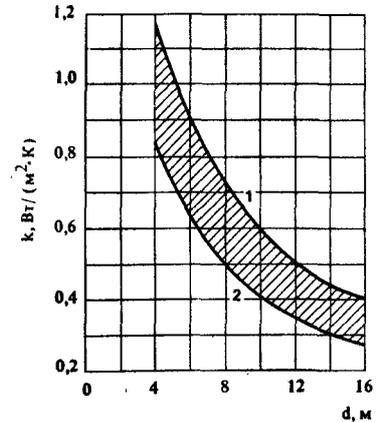
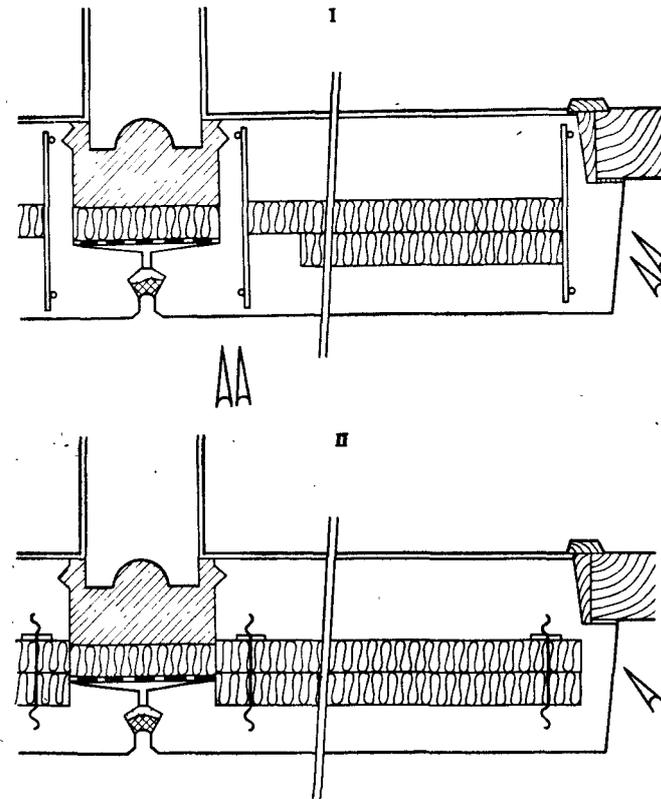


Рис. 26. Детальное решение оконной железобетонной панели типа "сэндвич" [41] I — неправильное решение; II — правильное решение



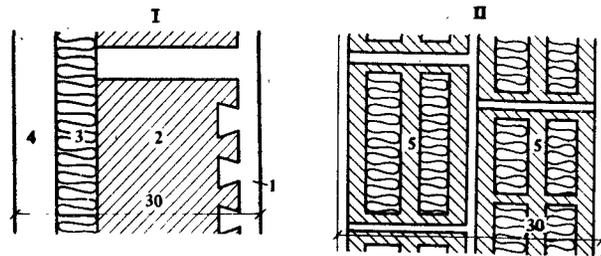


Рис. 27. Керамические панели  
1 — железобетон; 2 — керамика + бетон; 3 — пенополистирол; 4 — железобетон; 5 — керамические блоки, заполненные пенополистиролом

В общем виде влияние теплопроводности и толщины строительных конструкций на коэффициент теплопередачи и термическое сопротивление показаны на рис. 30.

Если сравнить толщину конструкций, необходимую для обеспечения коэффициента теплопередачи  $k = 0,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ , то из рис. 30, а можно определить, что необходима толщина 4–12,5 см, из рис. 30, б — толщина 15–25 см, из рис. 30, в — 31–63 см и из рис. 30, г — 75–124 см. Еще большая толщина необходима для получения коэффициента теплопередачи  $k = 0,3 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$  (см. нижнюю часть заштрихованной площади на рис. 30). Заштрихованная площадь определяет область значений коэффициентов теплопередачи  $k = 0,3–0,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$  и соответствующую толщину конструкции в зависимости от теплопроводности.

Пользуясь рис. 30, можно также определить термическое сопротивление и коэффициент теплопередачи в зависимости от принятой толщины конструкции и теплопроводности применяемого материала. Принята, например, толщина конструкции  $d = 0,4 \text{ м}$  с теплопроводностью  $\lambda = 0,4 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ . Тогда по графику на рис. 30, в термическое сопротивление  $R = 1 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$  и коэффициент теплопередачи  $k = 0,85 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ . Можно также решить и обратную задачу. Например, с точки зрения теплопотерь коэффициент теплопередачи не может быть более чем  $0,6 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ . Толщина конструкции при теплопроводности  $\lambda = 0,35 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$  определяется следующим образом. На правой шкале рис. 30, в найдем значение  $k = 0,6$ , проведем линию, параллельную горизонтальной оси до пересечения с кривой, соответствующей теплопроводности  $\lambda = 0,35$ ; из точки пересечения этой линии и указанной кривой опустим линию, перпендикулярную горизонтальной оси, на которой и определяется искомая толщина конструкции  $d = 0,52 \text{ м}$ .

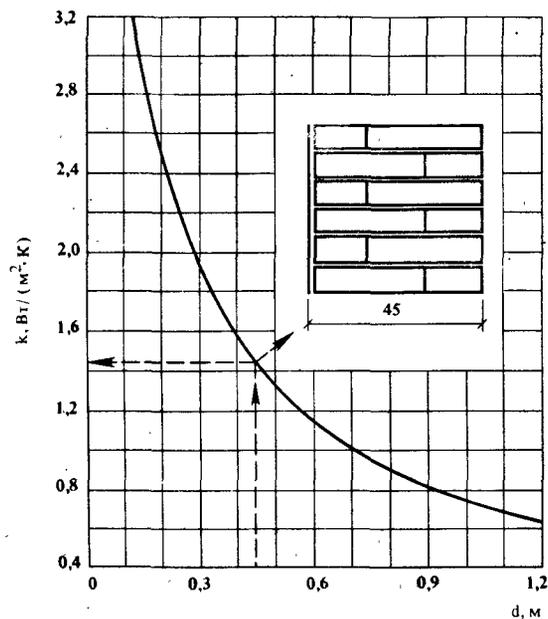


Рис. 28. Зависимость коэффициента теплопередачи кладки из сплошных обожженных кирпичей от ее толщины

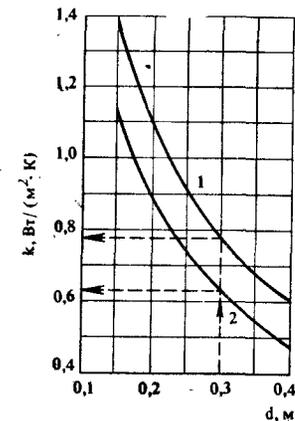


Рис. 29. Зависимость коэффициента теплопередачи поробетонной панели от ее толщины (объемная масса поробетона  $\rho = 575 \text{ кг}/\text{м}^3$ )  
1 — газобетон,  $\lambda = 0,27 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ ; 2 — газосиликат,  $\lambda = 0,21 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$

Величины  $R$  и  $k$  на рис. 30 определены в соответствии с формулами

$$R = d / \lambda; \quad (29)$$

$$k = 1/R_0; \quad (30)$$

$$R_0 = R_i + R + R_e \quad (31)$$

где  $R$  — термическое сопротивление конструкции,  $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ ;  $k$  — коэффициент теплопередачи конструкции,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ ;  $R_0$  — сопротивление теплопередаче конструкции,  $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ ;  $R_i = R_i = 1/\alpha_i$  — сопротивление теплообмену внутренней поверхности конструкции,  $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ ;  $R_e = 1/\alpha_e$  — сопротивление теплообмену наружной поверхности конструкции,  $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ ;  $\alpha_i, \alpha_e$  — коэффициенты теплообмена соответственно внутренней и наружной поверхности конструкции,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ .

Коэффициент теплопередачи на рис. 30 установлен с учетом значений  $R_i = 0,125 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ ;  $R_e = 0,043 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ .

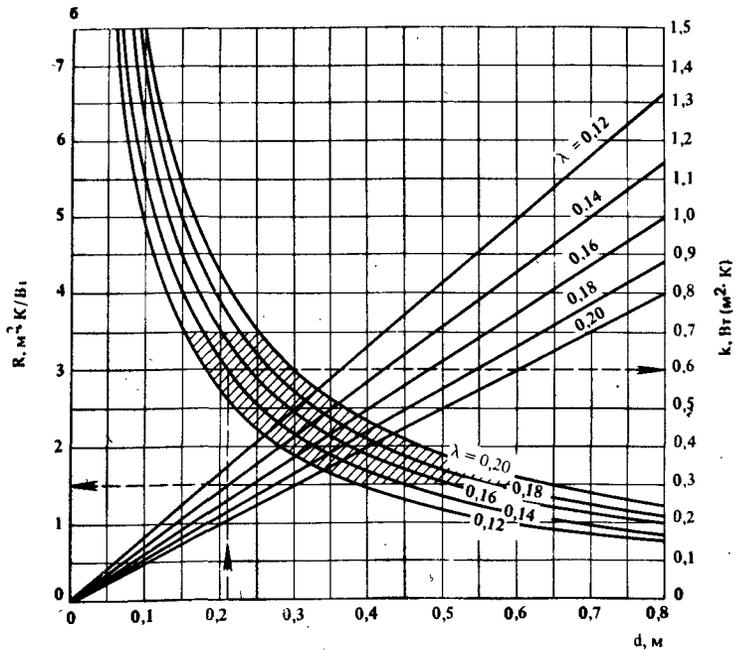
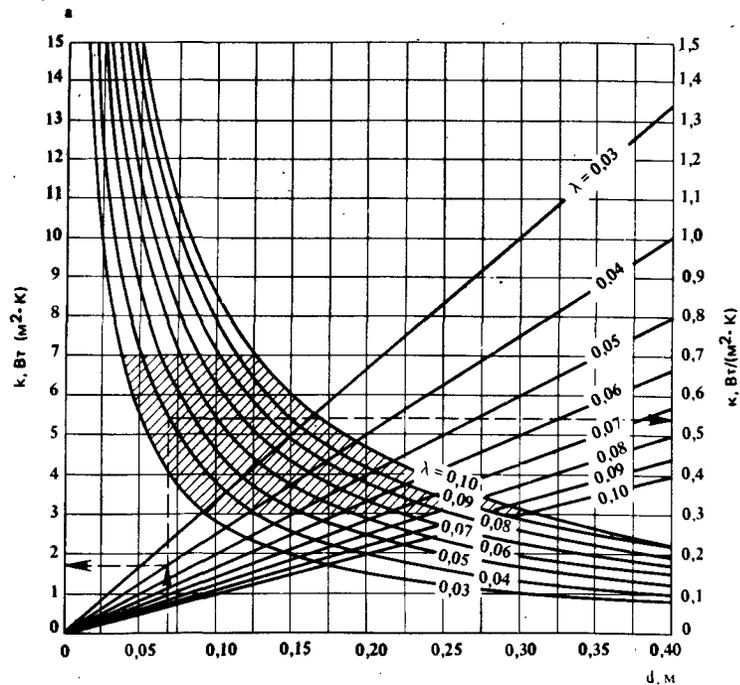
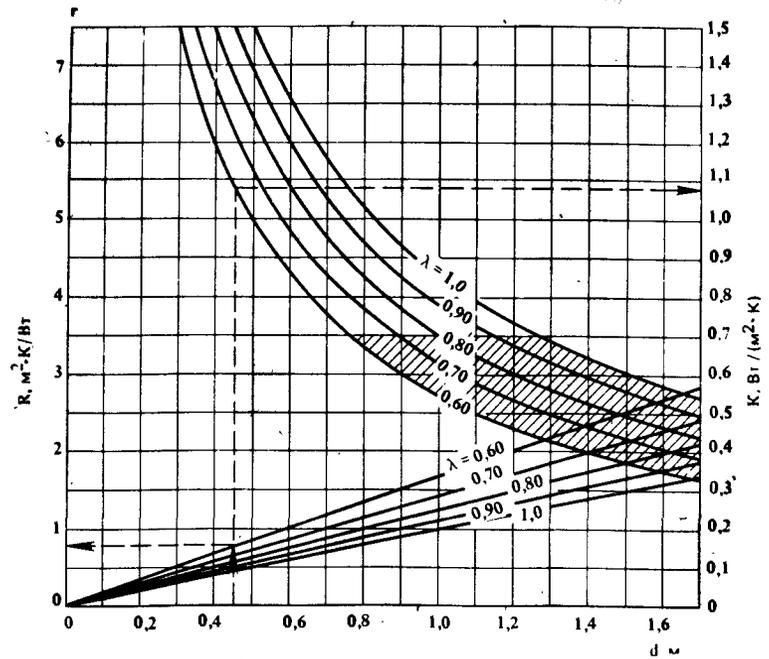
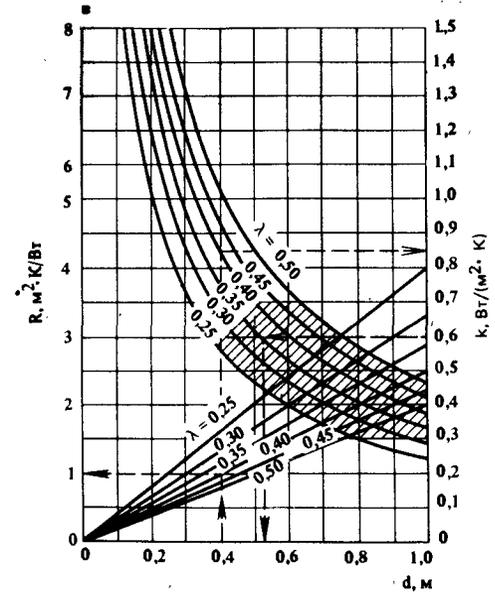


Рис. 30. Зависимость коэффициента теплопередачи и термического сопротивления конструкции от ее теплопроводности и толщины  
 а —  $\lambda = 0,03-0,1$ , толщина 0,0—0,40 м; б —  $\lambda = 0,12-0,20$ , толщина 0,0—0,80 м; в —  $\lambda = 0,25-0,50$ , толщина 0,0—1,0 м; г —  $\lambda = 0,60-1,00$ , толщина 0,0—1,7 м



В перечень конструкций со свойствами, соответствующими требованиям панельного строительства, входит также деревянная стена лоджии с теплоизоляционным слоем толщиной 9 см и теплопроводностью не более  $\lambda = 0,066 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ ; при этом коэффициент теплопередачи  $k = 0,79 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$  (рис. 31).

Плоские конструкции покрытия зданий (рис. 32) соответствуют уточненным требованиям норм ЧСН 73 0540. В первом случае в однослойной кровле наиважнейшим с теплотехнической точки зрения является материал Polsid (Полсид) толщиной 10 см, коэффициент теплопередачи  $k = 0,41 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ . Во втором случае в двухслойной кровле в качестве теплоизоляционного материала применяется минеральный войлок теплопроводностью  $\lambda = 0,066 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ . При толщине минерального войлока 12 см коэффициент теплопередачи  $k = 0,48 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ . Это значение достаточно только для местности с температурой наружного воздуха  $-15^\circ\text{C}$ . Чтобы это покрытие соответствовало температуре наружного воздуха до  $-21^\circ\text{C}$ , толщина минерального войлока должна быть не менее 14 см.

Нормы ЧСН 73 0540 требуют определенных теплотехнических свойств не только для наружных, но и для внутренних строительных конструкций [вертикальных и горизонтальных (см. табл. 8)]. Речь идет о случае, когда внутренние конструкции отделяют отапливаемые помещения от неотапливаемых, или от помещений, имеющих более низкую температуру внутреннего воздуха, чем в рассматриваемом. Это, в частности, внутренние стены, отделяющие отапливаемые помещения от неотапливаемых или отапливаемой лестничной клетки; перекрытие над неотапливаемым подвалом; стены и температурно-осадочные швы; внутренние стены, отделяющие отапливаемые помещения в подвалах (например, сушилки, прачечные) от неотапливаемых.

Нормы ЧСН 73 0540 перед их изменением предусматривали определенное термическое сопротивление для этих строительных конструкций, однако они не были в большинстве случаев учтены в современном панельном строительстве по различным причинам. Поэтому достаточно трудно, а иногда невозможно повысить термическое сопротивление этих конструкций и тем самым уменьшить теплопотери через них. Типичным примером является лестничная клетка. В настоящее время она, как правило, состоит из железобетонной панели толщиной 15 см. Ее термическое сопротивление соответствует нормам только тогда, когда температура воздуха на лестничной клетке составляет не менее  $10^\circ\text{C}$ . Отопление лестничной клетки считается избыточным расходом энергии, поэтому ее стена должна достаточно изолироваться или со стороны жилой площади, или со стороны лестничной клетки. Оба решения вызывают трудности, так как и в жилом помещении, и на лестничной клетке

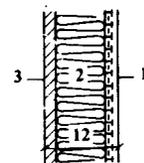


Рис. 31. Деревянная панель лоджии  
1 — древесно-стружечная плита;  
2 — минеральный войлок; 3 — облицовка из дерева

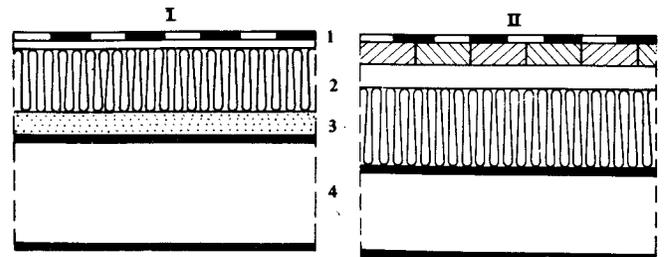


Рис. 32. Плоские конструкции покрытия зданий  
I — однослойное покрытие; II — двухслойное покрытие; 1 — кровельный ковер; 2 — утеплитель POLSID (Полсид); 3 — слой для придания уклона кровли; 4 — железобетон; 5 — обклад (например, панель); 6 — воздушная прослойка; 7 — минеральный войлок

уменьшается полезное пространство. Расположение изоляции внутри помещения вообще нежелательно с точки зрения распределения температуры внутри ограждения.

Внутренние строительные конструкции должны соответствовать не только требованиям теплоизоляции, но и противопожарным требованиям, что значительно ограничивает выбор материала. В настоящее время проектируется применение плит из минеральных волокон с жестким наружным слоем, комбинацией теплоизоляционного слоя из пенополистирола, покрытого плитами Velox (Велокс) со штукатуркой, и комбинацией минерального войлока, покрытого гераклитом (рис. 33). Эти решения значительно снижают теплопотери через внутренние конструкции и являются пригодными для обеих температурных областей ЧССР; они применимы не только для горизонтальных, но и для вертикальных конструкций. Теплоизоляцию можно дополнительно закрепить или с помощью пристрельных реек (в настоящее время самый распространенный способ), или специальных металлических профилей, прикрепленных к основной конструкции.

Варианты А и С (рис. 33) соответствуют требованиям противопожарной безопасности и для помещений путей эвакуации. Вариант В — пригоден только для обустройства панелей в отдельных пожарных отсеках.

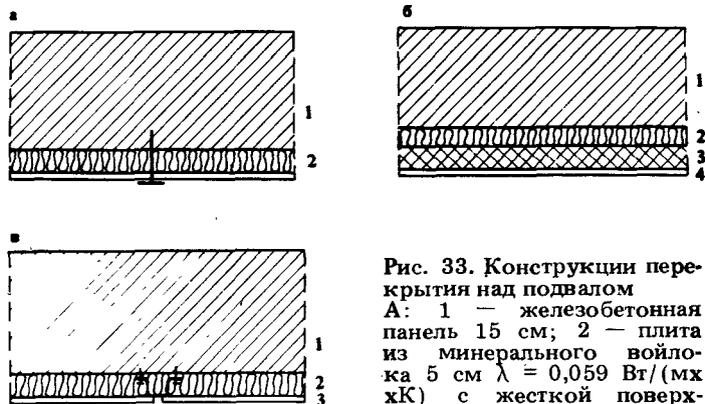


Рис. 33. Конструкции перекрытия над подвалом  
 А: 1 — железобетонная панель 15 см; 2 — плита из минерального войлока 5 см  $\lambda = 0,059$  Вт/(мхК) с жесткой поверхностью в виде плиты толщиной 0,5 см (4,5 + 0,5 см), термическое сопротивление  $R = 0,93$  м<sup>2</sup> · К/Вт; В: 1 — железобетонная панель 15 см; 2 — пенополистирол 2 см; 3 — Velox (Велокс) 3,5 см ( $\lambda = 0,13$  Вт/(м · К)); 4 — штукатурка 0,5 см, термическое сопротивление  $R = 0,89$  м<sup>2</sup> · К/Вт; С: 1 — железобетонная панель 15 см; 2 — минеральный войлок 4 см [ $\lambda = 0,059$  Вт/(м · К)]; 3 — ezalit (эзалит) 1,2 см [ $\lambda = 0,28$  Вт/(м · К)]. термическое сопротивление  $R = 0,83$  м<sup>2</sup> · К/Вт

**Конструкции окон.** Из табл. 28 видно, что при значительном уменьшении коэффициента теплопередачи наружных ограждающих конструкций, т.е. с  $k = 1,5$  Вт/(м<sup>2</sup> · К) до значения, близкого значению  $k = 0,5$  Вт/(м<sup>2</sup> · К), возрастает доля теплопотерь, приходящаяся на конструкции окон.

Теплопотери через окна возникают за счет теплопередачи и инфильтрации воздуха через притворы и неплотности. Тепловые потери за счет теплопередачи зависят от площади и коэффициента теплопередачи конструкции окон.

В табл. 29 приведены коэффициенты теплопередачи окон и дверей, соответствующие нормам ЧСН 73 0542. Если сравнить эти значения со значениями коэффициентов теплопередачи вертикальных конструкций и плоских покрытий, то очевидно, что для окон и дверей коэффициенты теплопередачи в несколько раз больше. Из этого также следует, что 1 м<sup>2</sup> поверхности окна имеет в несколько раз большие теплопотери, чем 1 м<sup>2</sup> непрозрачной строительной конструкции. Поэтому в некоторых странах нормированы наибольшие допустимые размеры окон. Например, нормы Швеции [50] допускают площадь окон не более 15% площади пола помещения при его глубине 5 м. Для помещения глубиной более 5 м площадь окон увеличивается на 3% и определяется по формуле

Т а б л и ц а 29. Значение коэффициента теплопередачи  $k$ , Вт/(м<sup>2</sup> · К), окон и дверей по нормам ЧСН 73 0542

Тип окон и дверей			k
Наружные окна	деревянные или из пластмассы	простейшие	5,2
		простейшие с двойным остеклением:	
		зазор < 10 мм	3,7
		зазор > 10 мм	3,3
		спаренные двойные	2,9
	металлические	простейшие	7,0
		простейшие с двойным остеклением:	
		зазор < 10 мм	4,7
		зазор > 10 мм	4,2
		спаренные двойные	4,0
	остекленные стены (Фонари)	простейшие	7,0
		двойные	4,0
Внутренние окна	деревянные	простейшие	3,5
		двойные	2,3
Наружные двери	деревянные или из пластмассы	входные	4,1
		балконные простейшие со стеклянным остеклением	4,7
		балконные двойные со стеклянным остеклением	2,7
		металлические	—
		металлические	7,0
Внутренние двери	деревянные	—	2,3

$$S_0 = 0,15S_1 + 0,03S_2, \quad (32)$$

где  $S_0$  — площадь окон, м<sup>2</sup>;  $S_1$  — площадь помещения глубиной до 5 м, м<sup>2</sup>;  $S_2$  — дополнительная площадь помещения, если его глубина более 5 м, м<sup>2</sup>.

Этот подход к решению размеров светопрозрачных проемов, однако, можно считать только ориентировочным. Окна должны прежде всего обеспечивать освещение и тем самым удовлетворять в целом требованиям комфорта лю-

дей, находящихся в данных помещениях. В [45] доказывается, что дневное освещение является интегральной неделимой частью конструкции объекта и связано с формой и параметрами размеров конструкций всего объекта и архитектурного пространства. Для грубой оценки необходимой площади окон допустимо применение так называемого индикатора дневного освещения. Например, для жилых помещений современного жилищного строительства рекомендуются следующие индикаторы: остекление в процентах от площади пола помещения должно быть не менее 15%, если отношение глубины помещения к высоте помещения в чистоте не более 1,9; остекление (в процентах) от всей площади внутренних поверхностей помещения должно быть не менее 3,5%; средний коэффициент отражения света должен быть не более 0,475; отношение высоты верхней грани затеняемого объекта к расстоянию между фасадами зданий должно быть 1:2.

Требование категорического уменьшения окон неблагоприятно с точки зрения создания внутреннего комфорта, при этом, однако, имеются резервы. Так, существуют здания с ленточным остеклением по всему фасаду или с окнами одинакового размера для всех типов помещений (для помещений с разными требованиями по освещенности). Ясно, что в этом случае не проводилось проектирования окон, дифференцированных в соответствии с их назначением. Можно также констатировать, что площадь окон в современных зданиях больше, чем в ранее построенных. Например, в зданиях с окнами типа Т03-В отношение их площади на типовом этаже к общей площади ограждения равно 0,14, при окне типа Т06-В-0,18 и при окне типа ВА-NKS, Р 1.11 — 0,20.

Уменьшение площади окон при необходимости для выполнения требований по освещенности приводит не только к уменьшению теплотерь за счет теплопередачи, но одновременно и к уменьшению длины притворов, швов, а значит, к уменьшению теплотерь на нагревание инфильтрующегося воздуха.

Исследовалась возможность уменьшения площади окон в многоэтажных жилых зданиях [45]. В многоэтажных домах обычно размеры окон проектируются по самому нижнему жилому этажу. Площадь окон не изменяется в направлении снизу вверх, хотя это и возможно, так как с увеличением количества этажей уменьшается и степень затенения. В верхних этажах в этом случае площадь окон завышена; возникает возможность оптимизировать размеры окон на основе дифференциации типа квартир по вертикали. В нижних этажах можно проектировать небольшие квартиры с малой глубиной помещений и без лоджий. Остающаяся

часть площади этих этажей может быть использована для общественных помещений. В верхних этажах должны располагаться квартиры большей площадью. Здесь могут быть и лоджии, так как их затемнение уже незначительно.

Коэффициент теплопередачи окон (остекленных частей дверей) зависит от количества зазоров (от количества стекол), от заполнения межстекольного пространства, от способа остекления, материала переплетов и рамы, полотен и от отношения периметра окон к их площади.

Из формулы (30) видно, что коэффициент теплопередачи тем меньше, чем больше термическое сопротивление.

Термическое сопротивление стекла, если его толщина принимается 3 мм и теплопроводность 0,76 Вт/(м · К), определяется по формуле

$$R = \frac{0,003}{0,76} = 0,004 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт.}$$

Если окно имеет два стекла, то их термическое сопротивление равно 0,008 м<sup>2</sup> · К/Вт. Если зазор между стеклами принят 5 см и он заполнен воздухом, то термическое сопротивление воздушной прослойки  $R_w = 0,163 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$  (табл. 30). Таким образом, термическое сопротивление стекол по сравнению с термическим сопротивлением межстекольного пространства незначительно.

Коэффициент теплопередачи окон можно уменьшить за счет увеличения количества воздушных зазоров (увеличения количества стекол). Из табл. 20 можно определить, что самая выгодная толщина воздушного зазора 5 см. Увеличение этого значения не приводит к увеличению термического сопротивления воздушной прослойки.

Особое положение среди конструкций окон занимают так называемые стеклопакеты, изготовленные из стекла одинакового размера. Зазоры между стеклами обеспечиваются полими алюминиевыми профилями. Соединение и уплотнение алюминиевого профиля со стеклом и обеспечение герметичности всего периметра этого элемента производится с помощью органических замазок. Внутренняя замазка находится постоянно в пластическом состоянии; ее задачей является также предотвращение проникания водяных паров в пространство между стеклами. Наружная замазка по периметру (так называемый эластичный материал) имеет хороший контакт со стеклом и алюминием, способна воспринимать механические напряжения, препятствует прониканию воды и водяных паров. Полость алюминиевого профиля заполняется материалом, который поглощает водяные пары, содержащиеся в воздухе. Ширина воздушного зазора наиболее часто принимается 12 мм. Пакет может иметь два, три или четыре стекла.

Т а б л и ц а 30. Термическое сопротивление воздушных прослоек [60]

Воздушная прослойка в стене или в конструкции перекрытия в положении	Термическое сопротивление $R_w$ , м <sup>2</sup> ·К/Вт, при толщине воздушной прослойки $d_w$ , см					
	1	2	3	5	10	15 и более
Вертикальном и горизонтальном при тепловом потоке снизу вверх	0,120	0,146	0,155	0,163	0,163	0,163
Горизонтальном при тепловом потоке сверху вниз	0,146	0,163	0,172	0,181	0,198	0,206

Из табл. 31 видно, что коэффициент теплопередачи для стеклопакетов с тремя стеклами на 33% меньше, чем для стеклопакетов с двумя стеклами, что приводит, однако к увеличению массы примерно на 13 кг/м<sup>2</sup> по сравнению с массой стеклопакетов с двумя стеклами, а также к увеличению их толщины [37]. Это обстоятельство требует иного подхода при проектировании остекленных конструкций. В последнее время исследуются также возможности повышения термического сопротивления окон путем заполнения зазоров между стеклами газом (смесью газов), который имеет меньшую теплопроводность, чем воздух.

Например, в табл. 32 это углекислый газ (СО<sub>2</sub>), фреон и неон. При увеличении зазора увеличивается коэффициент теплопередачи окна (см. табл. 32), так как увеличивается передача теплоты конвекцией и излучением. Предполагается, что аналогично увеличивается теплопередача и в зазорах, заполненных газами. В зазоре, заполненном СО<sub>2</sub>, теплопроводность почти в 1,5 раза, при заполнении фреоном в 3 раза и неоном — почти в 5 раз меньше, чем при заполнении воздухом.

Исследования [37] стеклопакетов с двумя и тремя стеклами дают такие результаты: при применении обычных газов коэффициент теплопередачи двойных стекол уменьшается примерно на 5%, а при применении необычных газов на 12% по отношению к стеклопакетам из двух стекол с заполнением воздухом. Большой эффект можно получить и для пакетов из трех стекол, если заполнить один или оба зазора между стеклами другим газом (не воздухом). При заполнении одного зазора коэффициент теплопередачи стеклопакета из трех стекол уменьшится примерно на 18–23%, а при заполнении обоих зазоров на 23–32% по отношению к стеклопакету

Т а б л и ц а 31. Значения коэффициентов теплопередачи  $k$ , Вт/(м<sup>2</sup>·К), шведских стеклопакетов [32]

Количество стекол	Тип стеклопакета	$k$
2	Двойное стекло, зазор 7,3 мм	3,6
	Двойное стекло, зазор 12,6 мм	3,0
3	Тройное стекло, зазор 12,6 мм	2,0
4	Четыре стекла, зазор 12,6 мм	1,4

Т а б л и ц а 32. Теплопроводность  $\lambda$  зазора между стеклами в зависимости от их размера при разных заполнениях

Газ (смесь газов)	$\lambda$ , Вт/(м·К), при $d$ , мм			
	0,1	10	20	30
Воздух	0,0242	0,083	0,137	0,194
СО <sub>2</sub>	0,0145	0,050	0,083	0,117
Фреон 12	0,0083	0,029	0,047	0,067
Неон	0,0047	0,016	0,027	0,038

там, заполненным воздухом. Теплоизоляционную способность стеклопакетов из трех стекол можно еще улучшить тем, что в одном зазоре будет слой металла или углекислого газа, которые обеспечивают отражаемость инфракрасных лучей.

Материал рам и полотен имеет значительное влияние на коэффициент теплопередачи оконных конструкций. Разница значений обусловлена разными значениями теплопроводности примененных материалов [теплопроводность стали  $\lambda = 58$ , алюминия  $\lambda = 204$ , пластмасс и дерева от  $\lambda = 0,16$  до  $\lambda = 0,24$  Вт/(м·К)]. Особенно способствуют повышению коэффициента теплопроводности металлические рамы окон, что видно из данных табл. 29. Окна с металлическими рамами имеют на 27–37% больший коэффициент теплопередачи, чем окна с деревянными окнами. К теплотерям окон обычно прибавляют также теплотери через рамы, которые возникают потому, что в месте стыка рамы окна со стеной в ней происходит понижение температуры по сравнению с температурой участков стены, находящихся на достаточном удалении от окна (рис. 34). Теплотери в этом месте тем больше, чем больше периметр окна по отношению к его площади и чем меньше расстояние между окнами в той же сте-

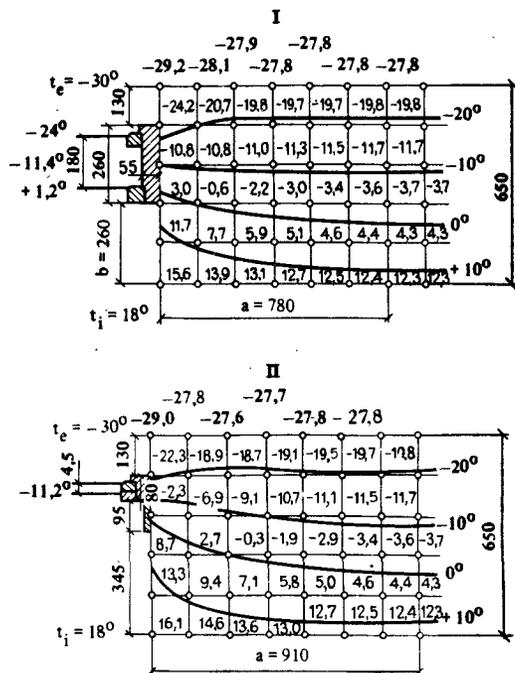


Рис. 34. Изменение температуры стены непосредственно возле окна [15]  
 I — раздельный переплет;  
 II — спаренный переплет

не. Например, отмечается увеличение коэффициента теплопередачи из-за теплопотерь в месте стыка рамы со стеной до значения  $k = 0,4 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$  для окна в виде стеклопакета из трех стекол размером  $210 \times 150 \text{ см}$  в кирпичной стене толщиной  $45 \text{ см}$  [33]. Для деревянного окна с двойным остеклением коэффициент теплопередачи  $k = 2,9 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ , а окна с учетом теплопотерь через стык рамы со стеной составляет  $k = 3,3 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ . При низком коэффициенте теплопередачи наружных ограждающих конструкций увеличивается доля тепловых потерь за счет инфильтрации до 30% от всех потерь (см. табл. 28). Такие большие тепловые потери нежелательны с энергетической точки зрения. Причиной увеличения теплопотерь может быть и изменчивость инфильтрации, что вызывает трудности при центральном регулировании подачи тепловой энергии к зданию. Изменчивость инфильтрации вызывается прежде всего изменением скорости и направления ветра (рис. 35). На рис. 35, I зафиксировано, что направление ветра было относительно постоянным в течение дня, а скорость ветра изменялась в значительном интервале. На рис. 35, II скорость ветра до второй половины дня мала, зато направление ветра переменное.

В указанные дни в помещении измерялся также воздухообмен, вызванный инфильтрацией и эксфильтрацией. Днем 6.2.1974 г. между 10 и 11 ч при средней скорости ветра  $11,5 \text{ м}/\text{с}$  и южном ветре (см. рис. 35, I) была зафиксирована кратность воздухообмена  $4,7 \text{ 1}/\text{ч}$ . Помещение имело объем  $54,5 \text{ м}^3$ , поэтому количество инфильтрующегося воздуха было  $256 \text{ м}^3/\text{ч}$ . При общей длине швов окон и балконных дверей  $13,77 \text{ м}$  на  $1 \text{ м}$  шва приходится  $18,6 \text{ м}^3/\text{ч}$ , или  $51,67 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{см}$ . Днем 9.8.1973 г. около 10 ч был определен воздухообмен при скорости ветра  $1,5 \text{ м}/\text{с}$  юго-западного и юго-восточного направления (см. рис. 35, II). Установленное значение воздухообмена было  $1,02 \text{ 1}/\text{ч}$ , т.е.  $55,6 \text{ м}^3/\text{ч}$ , или  $11,2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{см}$ , что составляет только около 20% по отношению к предыдущему случаю (измерение проводилось на первом этаже одноэтажного объекта в помещении, ориентированном на юг). В нормах ЧСН 060210 требуется, чтобы связанная с этим доля теплопотери не была больше 20% тепловых потерь за счет теплопередачи. Однако при этом в нормах имеется указание, что по гигиеническим требованиям кратность воздухообмена должна быть не менее чем  $n = 0,3 \text{ 1}/\text{ч}$ .

Количество воздуха, инфильтрующегося через швы и неплотности окон  $V_{inf}$ ,  $\text{м}^3/\text{с}$ , определяется по формуле

$$V_{inf} = \sum i l B M, \quad (33)$$

где  $i$  — коэффициент воздухопроницаемости швов,  $\text{м}^2/(\text{с} \cdot \text{Па}^{0,67})$ ;  $l$  — длина швов, м;  $B$  и  $M$  — характеристические числа,  $\text{Па}^{0,67}$ .

Значение часового воздухообмена  $n$ ,  $\text{1}/\text{ч}$  — это отношение количества воздуха, проникшего в помещение через неплотности швов, к объему помещения, определяемое по формуле

$$n = \frac{3600 \sum i l B M}{V} \quad (34)$$

Для обычно применяемых окон размером  $180 \times 160$ ,  $210 \times 160$ ,  $240 \times 160$  длина швов составляет  $10$ – $14,4 \text{ м}$ . При характеристических числах  $B = 8$ ,  $M = 0,7$  и площади помещения  $12$ – $18 \text{ м}^2$  получим  $i = 1,4 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/(\text{с} \cdot \text{Па}^{0,67})$  (значение в соответствии с нормами ЧСН 060210 для спаренных переплетов окон из дерева или пластмасс) и приблизительную кратность воздухообмена  $n = 0,9 \text{ 1}/\text{ч}$ .

Экспериментально установленный воздухообмен за счет инфильтрации является явно избыточным. Снизить теплопотери можно за счет увеличения плотности швов окон и наружных дверей.

Значения коэффициента воздухопроницаемости современных уплотненных и неуплотненных окон и дверей, в частности де-

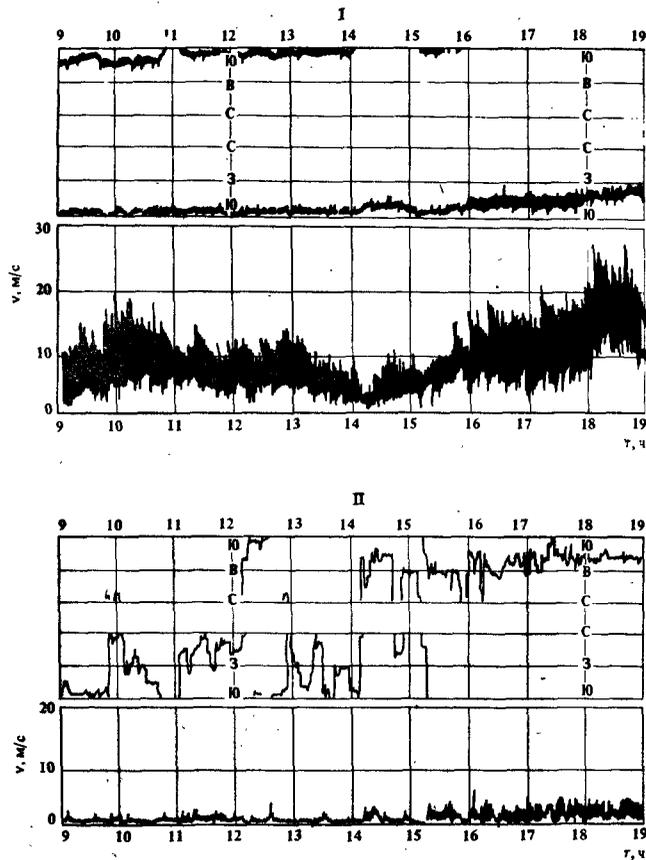


Рис. 35. Записи универсальных анемографов (станция Рузина — аэродром)  
I — 6.2.1974; II — 9.8.1973

ревянных сдвоенных окон, уплотненных пенополиуретаном, могут достигать (табл. 33)  $0,13 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 / (\text{с} \cdot \text{Па}^{0,85})$ , что в некоторых случаях не обеспечивает гигиенического воздухообмена. Новые конструкции окон имеют очень низкий коэффициент воздухопроницаемости (табл. 34).

Значения, приведенные в табл. 33 и 34, определены измерениями в лаборатории. Замеры на стройках дают иногда значительно большие значения (см. табл. 35). Эта разница получается также и из-за того, что заделка окон в лаборатории более качественная, чем на стройках или заводах железобетонных

Т а б л и ц а 33. Значения коэффициента воздухопроницаемости окон и дверей  $i$ ,  $\text{м}^2 / (\text{с} \cdot \text{Па}^{0,85})$ , [33]

Тип окон и дверей		$i$	$n$	Примечание
1	2	3	4	5
Окна деревянные	простейший:			
	без уплотнения	$3,8 \cdot 10^{-4}$	0,63	Уплотнение войлоком и жгутом Уплотнение пенополиуретаном
	с уплотнением	$0,39 \cdot 10^{-4}$	0,65	
	спаренный:			
	без уплотнения	$2,8 \cdot 10^{-4}$	0,67	
	с уплотнением	$0,73 \cdot 10^{-4}$	0,70	
то же	$0,13 \cdot 10^{-4}$	0,85		
двойной:				
	без уплотнения	$2,0 \cdot 10^{-4}$	0,65	
	с уплотнением	$0,25 \cdot 10^{-4}$	0,68	
Окна металлические	простейший со	$5,7 \cdot 10^{-4}$	0,50	Без уплотнения Уплотнение металлом Без уплотнения
	спаренный	$4,9 \cdot 10^{-4}$	0,56	
	двойной	$5,4 \cdot 10^{-4}$	0,50	
Окна из пластмасс	простейший со	$0,30 \cdot 10^{-4}$	0,78	Уплотнение пенополиуретаном и пористой резиной
	стеклопакетом из двух стекол и сдвоенный из ПВХ (PVC)			
	ориентированный материал	$1,8 \cdot 10^{-4}$	0,60	
	деревяно-пластик	$2,0 \cdot 10^{-4}$	0,60	То же
Окна комбинированные	спаренный			Деревянные полотна Стальная коробка С уплотнением
	без уплотнения	$4,56 \cdot 10^{-4}$	0,62	
	с уплотнением	$2,35 \cdot 10^{-4}$	0,61	
	спаренный поворотный с присоединенным наружным полотном из алюминия			
	спаренный деревянный с присоединенным полотном из ПВХ (PVC)	$1,04 \cdot 10^{-4}$	0,65	
простейший со				Уплотнение резиновым "язычком"
стеклопакетом из двух стекол с полотнами без обвязки	$0,62 \cdot 10^{-4}$	0,70		
				Деревянная рама, уплотнение из пенополиуретана

Продолжение табл. 33

Тип окон и дверей		i	n	Примечание
1	2	3	4	5
Двери деревянные с металлической коробкой	внутренние	$4,72 \cdot 10^{-4}$	0,675	Без уплотнения, $l = 5,6$ м
	наружные	$5,72 \cdot 10^{-4}$	0,675	То же
	среднее значение для дверей наружных и внутренних	$4,96 \cdot 10^{-4}$	0,675	"
	наиболее часто встречающееся значение воздухопроницаемости швов для всех дверей	$5,59 \cdot 10^{-4}$	0,675	"

Таблица 34. Значения коэффициента воздухопроницаемости  $i$ ,  $m^2/(c \cdot Pa^n)$ , новых конструкций окон [33]

Тип окон		i	n	Примечание
1	2	3	4	5
Спаренные или простые	деревянные спаренные открывающиеся	$0,28 \cdot 10^{-4}$	0,69	ZDZ г. Тураны, уплотнение резиной на внутренней четверти, $l = 4,862$ м
	деревянные простые со стеклопакетом из двух стекол, открывающиеся	$0,046 \cdot 10^{-4}$	0,67	То же, $l = 4,92$ м
	деревянные простые со стеклопакетом из трех стекол качающиеся	$0,105 \cdot 10^{-4}$	0,71	ZDZ г. Тураны, резиновое уплотнение на одной четверти, $l = 4,84$ м
	деревянные простые со стеклопакетом из двух стекол качающиеся	$0,23 \cdot 10^{-4}$	0,71	VZZ/V г. Весели, уплотнение резиной на одной четверти, $l = 4,95$ м
	простые из ПВХ (PVC) со стеклопакетом из двух стекол	$0,031 \cdot 10^{-4}$	0,65	PCHZ г. Жилина, OS металлические детали, резиновое уплотнение в двух четвертях, $l = 4,88$ м

Продолжение табл. 34

Тип окон и дверей		i	n	Примечание
1	2	3	4	5
	простые из ПВХ (PVC) со стеклопакетом из трех стекол	$0,014 \cdot 10^{-4}$	0,76	То же, $l = 4,36$ м
	простые из алюминия, тип ALME	$0,144 \cdot 10^{-4}$	0,67	Механика г. Простеев, уплотнение резиновое в двух четвертях
Деревянные спаренные с тремя стеклами	спаренные поворотные с тремя стеклами (стеклопакет + стекло)	$0,091 \cdot 10^{-4}$	0,73	VVUD г. Прага, резиновое уплотнение в двух четвертях, $l = 4,95$ м
	спаренные качающиеся с тремя стеклами (стеклопакет + стекло)	$0,046 \cdot 10^{-4}$	0,75	То же, $l = 4,98$ м
	спаренные качающиеся с тремя стеклами	$0,034 \cdot 10^{-4}$	0,82	То же, $l = 4,88$ м
	спаренные открывающиеся с тремя стеклами	$0,0404 \cdot 10^{-4}$	0,73	VVUD г. Прага, неопределенное уплотнение в двух четвертях, $l = 4,95$ м

Таблица 35. Значение коэффициента воздухопроницаемости  $i$ , измеренного в лаборатории и на стройке [34]

Окна	$i \cdot 10^4, m^2/(c \cdot Pa^{0,67})$	
	в лаборатории	на стройке
Деревянные спаренные	0,66	3,30
Из пластмассы спаренные	0,39	0,60
То же, со стеклопакетом из двух стекол	0,02	0,17

изделий. Проявляется и старение материала окон. Часто говорят об улучшении качества изготовления окон. Однако нельзя также забывать о квалифицированной работе, связанной с их установкой в стену. В реальных условиях увеличения плотности окон на стройках можно достигнуть [2]: уменьшением ширины швов между рамой окна и стеной; применение

нием новых герметизирующих материалов с низкой теплопроводностью и качественным наполнителем швов по всему периметру (очень хорошие результаты при применении полиуретановой пены); применением новых способов крепления с возможностью лучше прижать окна к стене в процессе эксплуатации; заполнение швов снаружи замазкой со значительным сроком службы, резиновыми профилями и профилями из пластмасс, которые легко заменяются.

Улучшение теплотехнических свойств окон предполагается в двух фазах. В первой фазе (в самое короткое время) будет достигнуто улучшение за счет применения неопренового уплотнения с длительным сроком службы; соответствующих скобяных изделий, особенно петель и закрывающих приборов; нового типа профиля из резины для остекления.

Во второй фазе будет достигнуто улучшение теплотехнических свойств, характеризующееся приближенными следующими значениями: коэффициентом теплопередачи  $k = 1,8 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$  и коэффициентом воздухопроницаемости  $i = 0,3 \text{ м}^3/(\text{с} \cdot \text{Па}^{0,67})$ . При этом улучшение предполагает применение окон с тройным остеклением: 1) окна деревянные с тремя стеклами (рис. 36); окна сконструированы по принципу окон с двойным остеклением; требующие параметры обеспечиваются тем, что в специальные выемки в середине между усиленными полотнами закрепляются стеклянные листы; среднее стекло имеет по периметру прикрепленный неопреновый профиль; 2) окна со стеклопакетом из двух стекол и еще одним стеклом (рис. 37); в окнах сохранен известный тип конструкции; внутреннее несущее полотно застеклено стеклопакетом из двух стекол, а наружное полотно — одним стеклом; 3) конструкции окон со склеенным тройным стеклопакетом (рис. 38) — это совершенно новая конструкция окон, пока не изготавливаемых в ЧССР (не было поставок импортных тройных стеклопакетов).

Кроме рассмотренных случаев имеются и другие возможности снизить теплотери окон. Об окнах, как пассивных коллекторах солнечного излучения, уже говорилось. Предполагается, что этим способом удастся уменьшить потребление энергии на отопление на 10—15% в помещениях, ориентированных на юг. Однако важным условием является обеспечение регулирования отопительной системы.

Напомним ранее оправдавшее себя мероприятие для уменьшения тепловых потерь окон: ночью необходимо опускать свертывающиеся шторы и закрывать занавески и жалюзи. Проектируется также устройство полиуретановых сдвижных ставней — система Пленар (Plenar) [8]. Применение этих устройств увеличивает тепловое сопротивление окон, так как занавеска и т.п. увеличивает количество воздушных про-

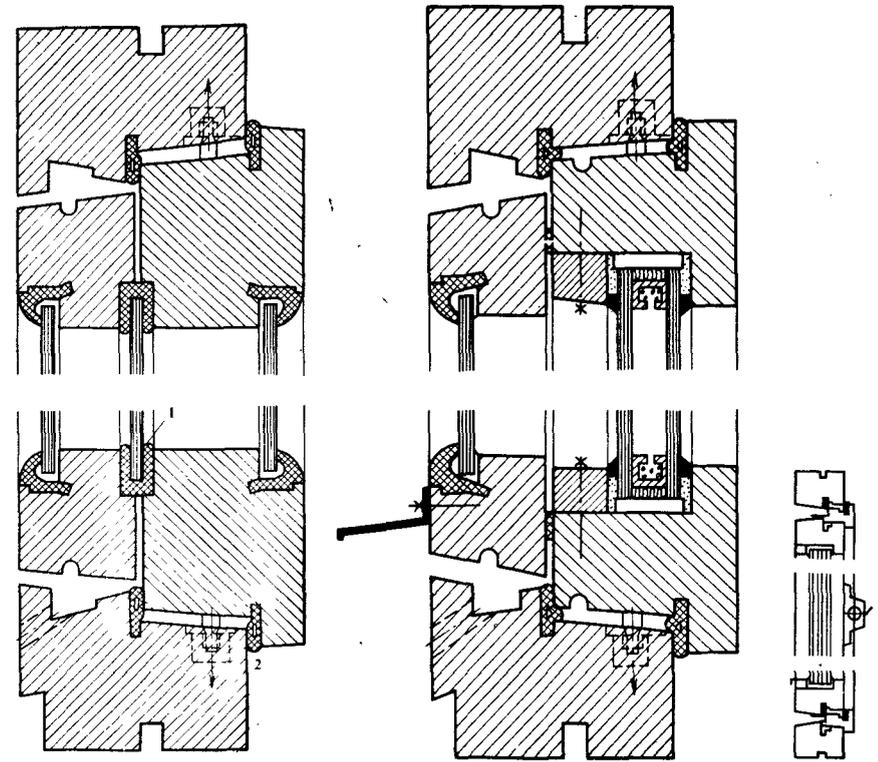


Рис. 36. Окно спаренное деревянное с тремя стеклами [32]  
1 — профильное микропористое уплотнение; 2 — неопреновое уплотнение PND (ПНД) 21/374—72

Рис. 37. Окно спаренное с комбинацией стеклопакета из двух стекол и одного отдельного стекла [32]

Рис. 38. Окно со склеенным тройным стеклопакетом [27]

слоек. Тем самым осуществляется правило, что более выгодны два воздушных зазора меньших размеров, чем одна воздушная прослойка двойной ширины; полиуретановые ставни имеют, кроме того, еще относительно большое собственное термическое сопротивление. Увеличение термического сопротивления окна (уменьшение коэффициента теплопередачи) ночью выгодно также потому, что температура наружного воздуха, как правило, падает и в ранние часы достигает минимума.

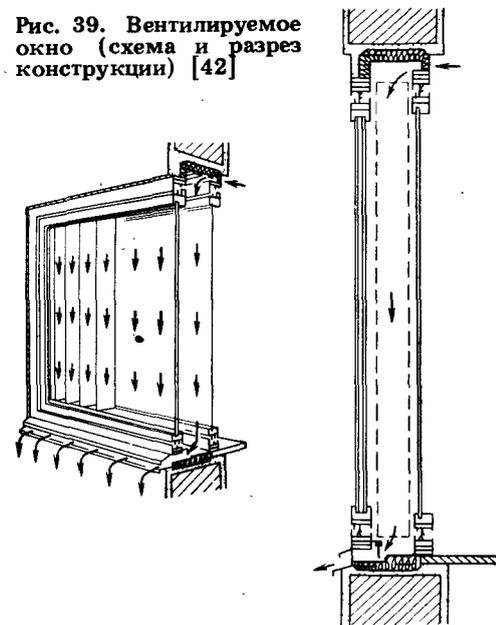
Рассмотренные возможности увеличения сопротивления теплопередаче окон зависят от плотности образованных воздушных зазоров, однако всегда при использовании указанных выше устройств уменьшится передача теплоты излучением. Из табл. 30 следует, что большую эффективность имеет воздушная прослойка на наружной стороне окна, так как лучистый коэффициент теплообмена тем меньше, чем меньше температурный коэффициент (см. табл. 18, в соответствии с которой температурный коэффициент меньше на наружной стороне).

Воздухообмен, очевидно, за счет инфильтрации воздуха через швы окон и дверей, расположенных на наружном ограждении зданий, будет нерегулярным и бесконтрольным, поэтому, например в Швеции [12], требуется и для жилых зданий механическая вентиляция. Выгоду видят в том, что в помещении подается ровно столько воздуха, сколько его необходимо, т.е. контролируемое количество. Если в помещении никого нет, то можно уменьшить воздухообмен или отключить систему вентиляции. Основой правильного функционирования механической вентиляции является тщательное уплотнение наружных ограждений здания. Контроль количества подаваемого воздуха вместе с исключением тепловых потерь при инфильтрации через неплотности наружного ограждения приносит экономию энергии, хотя стоимость самой системы вентиляции частично снижает эту экономию.

Когда в здании имеется избыточное давление, то удастся использовать так называемое вентилируемое окно для дополнительного снижения потребления энергии на отопление. Вентилируемое окно (рис. 39) имеет наружную раму с двойным стеклопакетом и внутреннюю раму с одинарным остеклением; в верхней части внутренней рамы и в нижней части наружной рамы имеются вентиляционные проемы. Под воздействием избыточного давления воздух движется в междуоконном пространстве и обогревает его, так что температура в этом пространстве выше, чем она была бы без этого устройства. Клапан в нижней части окна препятствует обратному току воздуха, если вентиляция, обеспечивающая избыточное давление, выключена. При применении такого окна отпадает необходимость в устройстве вытяжных каналов и установке вентиляторов в системе вентиляции, что снижает капитальные затраты. Воздух, входящий в окно, само собой разумеется, должен быть теплым [12, 42].

**Индивидуальные дома.** В соответствии с нормами ЧСН 73 0540 нет необходимости выделять индивидуальные дома по потреблению энергии на отопление (исключение составляют, как отмечалось ранее, дома, имеющие электрическое отопление). Не учитывать свойства строительных конст-

Рис. 39. Вентилируемое окно (схема и разрез конструкции) [42]



рукций, влияющие на теплотери и потребление энергии на отопление индивидуальных домов, в связи со все более трудным обеспечением топливом и энергией, невыгодно как для владельца дома, так и для народного хозяйства.

Рассмотрим возможности уменьшения тепловых потерь индивидуальных домов. Теплотери отдельных конструкций индивидуального дома (табл. 36) по сравнению со значениями табл. 28, в частности через кровлю и пол, более существенны, чем в многоэтажных домах, а теплотери через внутренние конструкции, наоборот, меньше.

В традиционных конструкциях индивидуальных домов в основном для стен применяются кирпичная кладка, шлакобетонные блоки, поробетон и т.п. Кладка из полнотелого обожженного кирпича сама по себе не позволяет рационально воздействовать на уменьшение теплотерь (см. рис. 33). Точно так же обстоит дело с прогрессивными изделиями из кирпича (кладка из кирпича с поперечными отверстиями; кладка из блоков с поперечными отверстиями; то же, с продольными отверстиями; кладка из блоков с поперечными пустотами и т.п.), потому что в основном сечения этих кладок подбираются как эквивалентные кладке из обычного сплошного обожженного кирпича.

То же относится и к кладке из легких несущих бетонных блоков, так как коэффициент теплопередачи составляет

Т а б л и ц а 36. Распределение теплопотерь для индивидуальных домов

Конструкции	Доля в %
Кровля	12,5
Пол	12,8
Окна	31,6
Наружные стены	34,0
Внутренние конструкции	9,1

П р и м е ч а н и е. Распределение теплопотерь было вычислено для одноэтажных индивидуальных домов с наружными стенами, имеющими коэффициент  $k = 0,5 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ .

1,3–1,5  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ . Если сравнить значения термического сопротивления и коэффициента теплопередачи для кладки из поробетонных блоков (табл. 37) со значениями эквивалентных кладок из кирпича, то, очевидно, что они значительно эффективнее, особенно при толщине кладки 30 см. Для некоторых параметров они сопоставимы со значениями наружных ограждающих конструкций панельных зданий, например при объемной массе поробетона 400  $\text{кг}/\text{м}^3$  толщиной 25 см и при объемной массе поробетона 500  $\text{кг}/\text{м}^3$  толщиной 30 см. Из табл. 37 можно также видеть влияние объемной массы раствора. Например, при толщине 25 см, объемной массе поробетона 500  $\text{кг}/\text{м}^3$ , а раствора 1900  $\text{кг}/\text{м}^3$  термическое сопротивление кладки не отвечает требованиям норм ЧСН 73 0540.

Для групповой застройки индивидуальных домов (принимается около 40–50 домов) применяют те же наружные ограждения из сборных элементов, что и в панельном строительстве, т.е. железобетонные панели типа "сэндвич", керамические блоки и т.п. (об улучшении их теплотехнических свойств см. с. 67).

В конструктивных элементах из дерева наиболее часто применяют панели типа "сэндвич" с изоляцией из минеральной ваты. Типичные поперечные сечения даны на рис. 40–42.

Измеренные значения термических сопротивлений и вычисленные по ним коэффициенты теплопередачи даны в табл. 38 [46]. Значения коэффициентов теплопередачи деревянных конструкций типа "сэндвич" относительно малы. Поскольку рассматриваются легкие конструкции и легкие здания, выгодно уменьшить коэффициент теплопередачи до значения, близкого  $k = 0,3 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ , что приблизит потребление энергии на отопление к значению 9,3  $\text{МВт} \cdot \text{ч}/(\text{г} \cdot \text{квартира})$  в настоящее время дома из дерева имеют потребление энергии на отопление 11,6–16,2 ( $\text{МВт} \cdot \text{ч})/(\text{г} \cdot \text{квартира})$ .

Т а б л и ц а 37. Значения термического сопротивления и коэффициента теплопередачи поробетонных блоков

Толщина, $d$ , см	Объемная масса, $\text{кг}/\text{м}^3$		Термическое сопротивление, $R$ , $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$	Коэффициент теплопередачи $k$ , $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$
	поробетона	раствора		
25	400 <sup>1</sup>	1400	1,38	0,65
		1600	1,28	0,69
		1900	1,17	0,75
	500	1400	1,07	0,81
		1600	0,99	0,86
		1900	0,92	0,92
	700	1400	0,77	1,07
		1600	0,75	1,09
		1900	0,73	1,11
30	400 <sup>1</sup>	1400	1,65	0,55
		1600	1,53	0,59
		1900	1,40	0,64
	500	1400	1,28	0,69
		1600	1,18	0,74
		1900	1,10	0,79
	700	1400	0,92	0,92
		1600	0,89	0,95
		1900	0,86	0,97

<sup>1</sup> Необходимо проверить измерением.

Т а б л и ц а 38. Значение термического сопротивления  $R$ ,  $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ , и коэффициента теплопередачи  $k$ ,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ , деревянных панелей типа "сэндвич"

Панель по рисунку	$R$	$k$
53	1,84	0,50
54	1,60	0,57
55	2,24	0,40

Из приведенного видно, что за исключением кладки из поробетонных блоков (с соответствующей объемной массой) и деревянных конструкций типа "сэндвич" наружные конструкции индивидуальных домов не соответствуют требованиям норм ЧСН 73 0540.

Улучшение теплотехнических свойств сборных железобетонных конструкций типа "сэндвич" и конструкций из керамических блоков уже рассматривалось. Кладка из кирпичных

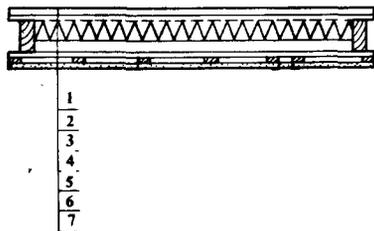


Рис. 40. Наружная ограждающая рядовая панель на деревянной основе  
1 — древесно-волокнистая плита 1,3 см; 2 — фольга PVC (ПВЦ); 3 — минеральный войлок толщиной 6 см; 4 — воздушная прослойка; 5 — плита толщиной 1,3 см; 6 — система перекрестных брусов толщиной 1,5 см; 7 — cembaelit (цембалит) 0,6 см

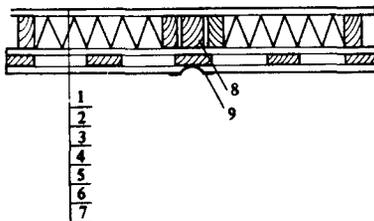


Рис. 41. Наружная ограждающая панель со стыковым швом на деревянной основе  
1 — двухслойная покраска latex (латекс) — внутренняя поверхность; 2 — плита толщиной 1,3 см; 3 — минеральный войлок толщиной 6 см; 4 — плита; 5 — система перекрестных досок размером 5/1,5 см через 30 см; 6 — cembaelit (цембалит) толщиной 0,6 см; 7 — двухслойная покраска latex (латекс) — наружная поверхность; 8 — соединительная рейка; 9 — алюминиевый нащельник

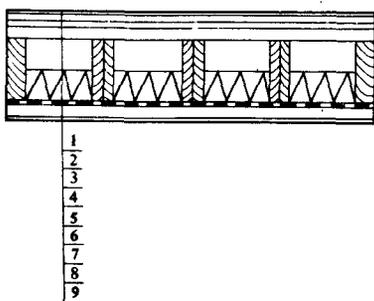


Рис. 42. Панель перекрытия на деревянной основе  
1 — покрытие пола PVC (ПВЦ); 2 — плита толщиной 1,3 см; 3 — IZOMIN (Изомин) толщиной 1,3 см; 4 — сплошной черный пол толщиной 2,4 см; 5 — воздушная прослойка толщиной 8 см; 6 — минеральный войлок толщиной 6 см; 7 — фольга PVC (ПВЦ); 8 — система перекрестных досок толщиной 2,4 см через 30 см; 9 — плита

изделий, включая сплошной обожженный кирпич и различные прогрессивные керамические блоки, может быть применена лишь в том случае, когда они комбинируются с эффективной теплоизоляцией.

Термическое сопротивление наружной кладки из сплошного обожженного кирпича, кирпича с поперечными отверстиями CDm, блоков с поперечными отверстиями CDK-32, блоков с поперечными отверстиями CDK-36, блоков с продольными отверстиями CpD 8, блоков с поперечными пустотами CD-TY N 1 и лицевых блоков с продольными отверстиями CD-LK 10 (9) приведены в табл. 39 в зависимости от толщины кладки и объемной массы.

Т а б л и ц а 39. Значение термического сопротивления  $R$ ,  $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ , наружной кладки из кирпичных изделий

Тип кладки	Толщина $d$ , м	Объемная масса в сухом состоянии, $\text{кг}/\text{м}^3$	Теплопроводность, $\lambda$ , $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$	$R$	Примечание
1	2	3	4	5	6
Из полнотелых панельных кирпичей (ЧСН 72 2610)	0,065 0,14 0,29 0,44	1800	0,86	0,076 0,163 0,337 0,512	
Из кирпичей с поперечными отверстиями	0,24 0,24 0,365 0,365	1350 1450 1550 1550	0,71 0,72 0,77 0,69 0,72	0,338 0,333 0,312 0,529 0,50	
Из блоков 3,5 CDm (ЧСН 72 2611) с поперечными отверстиями	0,175 0,175 0,365 0,365	1450 1550 1400 1500	0,83 0,91 0,69 0,76	0,211 0,192 0,529 0,480	
Из блоков CDK 32 (ЧСН 72 2611) с поперечными отверстиями	0,24 0,24 0,24 0,24 0,32 0,32 0,32 0,32	1300 1400 1350 1450 1300 1400 1350 1450	0,79 0,88 0,79 0,88 0,58 0,64 0,57 0,63	0,304 0,273 0,304 0,273 0,552 0,500 0,561 0,508	$\nu = 11,3 \text{ см}$ $\nu = 15 \text{ см}$ $\nu = 11,3 \text{ см}$ $\nu = 15 \text{ см}$
Из блоков CDK-36 (ЧСН 72 2611) с поперечными отверстиями	0,24 0,24 0,24 0,36 0,36 0,36 0,36	1200 1150 1250 1200 1300 1150 1250	0,63 0,62 0,69 0,55 0,62 0,52 0,58	0,381 0,387 0,348 0,655 0,581 0,692 0,621	$\nu = 11,3 \text{ см}$ $\nu = 14 \text{ см}$
Из блоков CpD 8 (ЧСН 72 2611) с продольными отверстиями	0,14 0,14 0,29 0,29	750 850 800 850	0,49 0,55 0,58 0,60	0,286 0,255 0,500 0,483	$\nu = 11,3 \text{ см}$ $\nu = 14 \text{ см}$

Продолжение табл. 39

Тип кладки	Толщина $d$ , м	Объемная масса в сухом состоянии, кг/м <sup>3</sup>	Теплопроводность, $\lambda$ , Вт/(м·К)	$UR$	Примечание
1	2	3	4	5	6
Из блоков CD-TYNI	0,19	1200	0,59	0,322	
(рабочая нормаль 72 2675)	0,29	1300	0,64	0,297	
с поперечными отверстиями	0,29	1200	0,49	0,592	
	0,29	1300	0,53	0,547	
Из прессованных блоков CDLK 10 (9)	0,30	1250	0,49	0,612	$e = 30$ см
с продольными отверстиями	0,30	1350	0,55	0,545	
	0,30	1250	0,50	0,600	$e = 33$ см
	0,30	1300	0,55	0,545	
	0,29	1350	0,56	0,518	$e = 19$ см
	0,29	1400	0,60	0,483	
	0,29	1300	0,55	0,527	
	0,29	1400	0,62	0,468	$e = 29$ см

Примечание.  $\nu$  — высота блока;  $e$  — длина блока.

В табл. 40 приведено термическое сопротивление плит Лигнопор (Лигнопор) разных толщин (плиты из Лигнопора, изготовлены из пенополистирола и имеют на одной или на двух сторонах слой из древесной шерсти и цемента; термическое сопротивление, приведенное в табл. 40, дано для плит с одно-сторонним слоем древесной шерсти и цемента толщиной 0,5 см).

В табл. 41 даны термические сопротивления плит разной толщины из древесной шерсти и цемента. В табл. 42 даны термические сопротивления плит из минеральной ваты в зависимости от толщины и объемной массы.

Из табл. 40—42 можно сделать вывод, что относительно малыми толщинами указанных изоляционных материалов можно достигнуть значительного термического сопротивления за счет комбинации этих плит с кладкой из кирпичных изделий. Лигнопор и плиты из древесной шерсти и цемента можно штукатурить, они пригодны для конструкции на рис. 43, а; для плит из минеральной ваты пригоден решение на рис. 43, б; тепловую изоляцию можно разместить между слоями из кирпичных изделий (рис. 43, в).

Таблица 40. Значение термического сопротивления  $R$ , м<sup>2</sup>·К/Вт, плит Лигнопор (Лигнопор)

Толщина $d$ , м	0,025	0,035	0,05	0,075
$R$	0,51	0,71	0,99	1,47

Таблица 41. Значение термического сопротивления  $R$ , м<sup>2</sup>·К/Вт, плит из древесной шерсти и цемента

Объемная масса в сухом состоянии, кг/м <sup>3</sup>	$R$ при толщине $d$ , м				
	0,025	0,035	0,050	0,075	0,10
300	0,15	0,21	0,30	0,45	0,60
400	0,12	0,17	0,25	0,37	0,49

Таблица 42. Значение термического сопротивления  $R$ , м<sup>2</sup>·К/Вт, плит из минеральной ваты

Объемная масса в сухом состоянии, кг/м <sup>3</sup>	$R$ при толщине $d$ , м						
	0,02	0,04	0,06	0,08	0,10	0,12	0,16
60	0,28	0,56	0,83	1,11	1,39	1,67	2,22
95	0,30	0,61	0,91	1,31	1,52	1,82	2,42
120	0,29	0,58	0,87	1,16	1,45	1,74	2,32
150	0,25	0,49	0,74	0,99	1,23	1,48	1,98

На рис. 43 показана кладка из сплошного обожженного кирпича. Однако в конструкции могут быть применены и другие изделия из кирпича (см. табл. 39).

Пример. Необходимо запроектировать наружную стену из кирпича с тепловой изоляцией так, чтобы термическое сопротивление было не менее  $R = 1,1$  м<sup>2</sup>·К/Вт. Принимаем кладку из сплошного обожженного кирпича толщиной 45 см и изоляцию Лигнопор.

Решение. Из табл. 39 определяется, что термическое сопротивление указанной кирпичной кладки  $R_c = 0,512$  м<sup>2</sup>·К/Вт. Лигнопор должен обеспечивать термическое сопротивление  $R_L = R - R_c = 1,1 - 0,512 = 0,588$  м<sup>2</sup>·К/Вт.

Из табл. 42 определим, что для этого случая толщина Лигнопора должна быть 3,5 см. Общее термическое сопротивление кирпичной кладки с Лигнопором будет равно:  $R = 0,512 + 0,700 = 1,212$  м<sup>2</sup>·К/Вт.

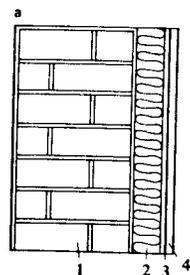
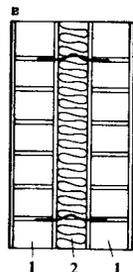
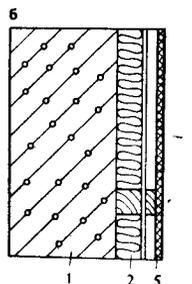


Рис. 43. Конструкции с различной тепловой изоляцией

а — кирпичная кладка с изоляцией на наружной стороне; б — панель с изоляцией на наружной стороне; в — тепловая изоляция внутри кирпичной кладки; 1 — кирпичная кладка; 2 — тепловая изоляция; 3 — сетка стальная для крепления изоляции и армирования штукатурки; 4 — штукатурка; 5 — асбестоцементная плита



В последнее время находит применение кладка из аглопоритобетонных блоков со специальными отверстиями для кладки без раствора (рис. 44). Размер блоков 60x30x15 см, масса в сухом состоянии 21,3 кг. В табл. 43 приведены результаты измерения на образцах размером 160x160x30 см. Образцы были оштукатурены искусственной штукатуркой монофас (монофас) [47].

Измерение было проведено как при незаполненных отверстиях, так и с заполнением их изоляционным материалом Thermisol (Термисол) [в 1 м<sup>3</sup> термисола; 50 кг цемента, 10 кг силиката, 10 кг извести, 100 кг легкого заполнителя experlit (эксперлит) EP150 и 3 кг присадки Slovapon N (Словапон Н)]. Исследовались также блоки с перегородками в воздушных отверстиях, выполненными из пенополистирола толщиной 3 см (рис. 45). Влажность аглопоритобетона на практике принимается не более 10%. Из табл. 43 видно, что приблизительно такая влажность и была при измерениях. Можно также констатировать: кладка из блоков с перегородками из полистироловых вкладышей полностью соответствует условиям для температурных районов I и II ЧССР (не соответствует только для применения в местностях, расположенных выше уровня моря на 800 м, а также в температурном районе III ЧССР).

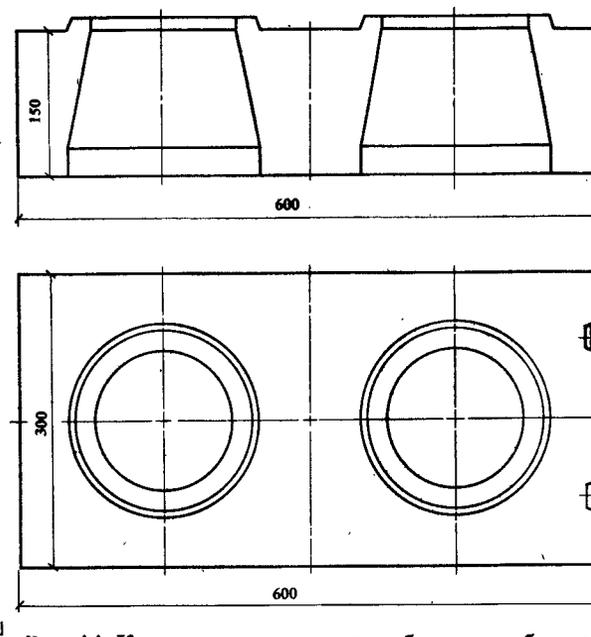


Рис. 44. Конструкция аглопоритобетонного блока

Чердачное перекрытие, стены помещений мансарды, перекрытие над подвалом или пол на грунте необходимо основательно изолировать.

Для горизонтальных конструкций кроме названных типов изоляции могут применяться и сыпучие материалы (перлит, керамзит, шлак и т.п.).

Значительное количество подобных конструкций спроектировано в Швеции (рис. 46). Толщина минеральной ваты на рис. 46, I не менее 10 см; на 46, II — не менее 12 см. На рис. 46, III толщина изоляции над плитой перекрытия во избежание конденсации водяных паров должна быть не более половины толщины изоляции под плитой перекрытия [66]. На рис. 46, IV показано решение объема подвала с уменьшенным воздухообменом, осуществляющимся через вентиляционные отверстия в каждом углу здания. Если изолируются стены подвала и частично его пол, то можно уменьшить изоляцию перекрытия над подвалом, при этом тепловые потери не увеличатся. В ЧСН 06 0210 рекомендуется провести расчет теплового баланса объема подвала, на основе которого принимается решение о толщине изоляции. Толщину изоляции можно уменьшить приблизительно в 2 раза, если применить решение, показанное на рис. 46, IV. Изоляция стены может быть

Т а б л и ц а 43. Значение термического сопротивления  $R$ ,  $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ , кладки из аглопоритовых блоков при сухой (безрастворной) кладке

Устройство кладки	Относительная влажность, %		$R$
	аглопоритобетон	изоляционное заполнение	
Блоки с отверстиями без заполнения	10,2	—	0,67
То же	0	—	0,98
Блоки с заполнителем Thermisol (термисол)	10,1	41,3	0,94
Блоки с полистироловыми вкладышами	10,8	—	1,04

выполнена ниже уровня земли при устройстве пола на грунте (рис. 47).

Дополнительная тепловая изоляция строительных конструкций при модернизации и реконструкции старого жилого фонда или индивидуальных домов, особенно с учетом повышения цен на топливо и энергию, окупится при устройстве ее по всей площади или на отдельных частях. Дополнительную изоляцию можно разместить как на наружных, так и на внутренних поверхностях конструкции. С точки зрения конденсации водяных паров в конструкции дополнительная изоляция на наружной стороне более выгодна и имеет преимущество перед изоляцией с внутренней стороны. Этот способ изоляции устраняет мостики холода, строительные конструкции получают новый защитный от атмосферных явлений слой. Поскольку первоначально конструкция выполняет функции несущей, она более мощная, чем изоляция.

Более массивный слой на внутренней стороне конструкции способствует аккумуляции теплоты и повышению тем самым тепловой устойчивости помещения. Однако при применении дополнительной изоляции на наружной стороне помещения здания при воздействии солнечного излучения в летнее время медленнее нагреваются, а зимой при прекращении отопления не так быстро остывают, как при размещении изоляционного слоя на внутренней стороне. Кроме того, остается без изменений полезная площадь помещения. Недостатком дополнительной изоляции на наружной стороне конструкции является обычно большая трудоемкость и более высокая ее стоимость, а также необходимость, как правило, выполнять работы только с помощью специализированной организации.

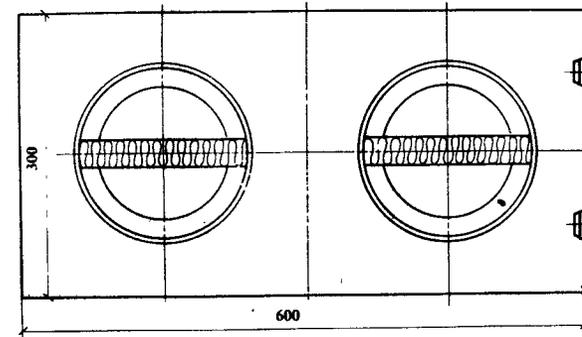


Рис. 45. Конструкция аглопоритобетонного блока с вкладышами из пенополистирола

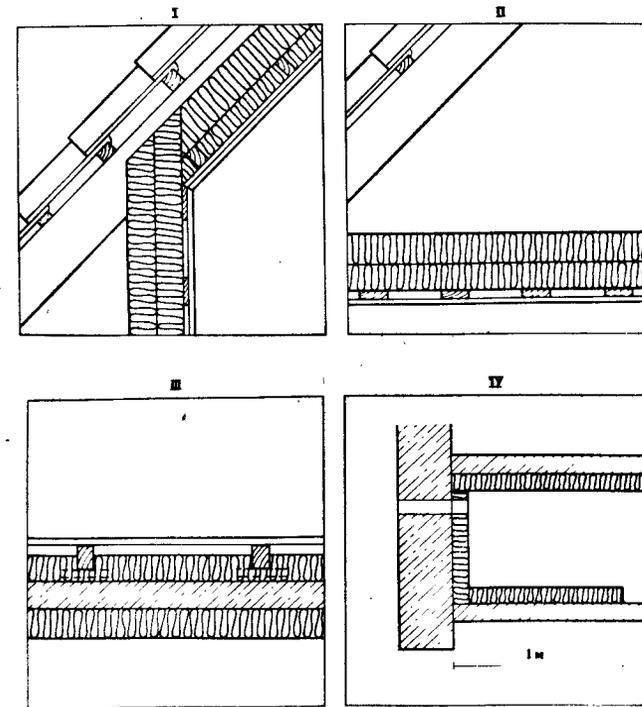


Рис. 46. Устройство тепловой изоляции [66]  
I — стены помещения мансарды; II — чердачного перекрытия; III — перекрытия подвала; IV — подвала

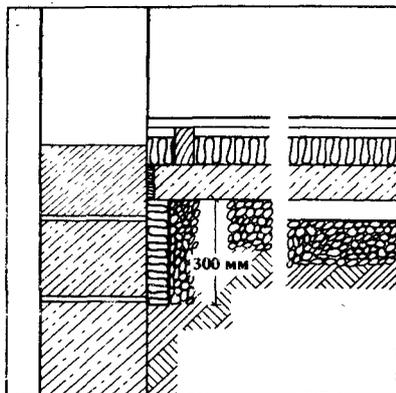


Рис. 47. Устройство тепловой изоляции пола, лежащего на грунте

Следует отметить, что дополнительную изоляцию на наружной стороне конструкции не всегда можно выполнить. Старые дома часто имеют члененные фасады, которые совместно с соседними домами создают единый архитектурный ансамбль. В этом случае тепловую изоляцию необходимо размещать на внутренней стороне конструкции. Внутренняя изоляция обычно не так дорога и трудоемка, как внешняя. Наружный фасад остается неизменным, тепловой изоляционный слой не подвергается воздействию атмосферных явлений, при периодическом отоплении требуется меньше время для введения в действие системы отопления. Тепловая изоляция выгодна для помещений, которые не отапливаются, но используются постоянно. К недостаткам следует отнести уменьшение полезной площади помещения и снижение его тепловой устойчивости. Большой опасностью является конденсация водяных паров, особенно на границе изоляционного слоя и основной конструкции. Поэтому необходимо повысить диффузионное сопротивление поверхностного слоя настолько, чтобы в конструкцию проникало как можно меньше водяных паров. Довольно часто необходимо переделывать или перемещать электрическое оборудование и сети, плинтуса, настенную живопись, обои и т.п.

Чердачное пространство индивидуальных домов иногда имеет пол из досок с воздушными зазорами между несущими балками. Если доски поднять выше, образовавшееся пространство можно заполнить теплоизоляционным материалом, например из минеральных, стеклянных и других волокон, после чего привести пол в первоначальное положение. В других типах чердачного перекрытия в качестве дополнительной изоляции пригодны сыпучие теплоизоляционные материалы. Теплоизоляционная способность конструкции перекрытия над

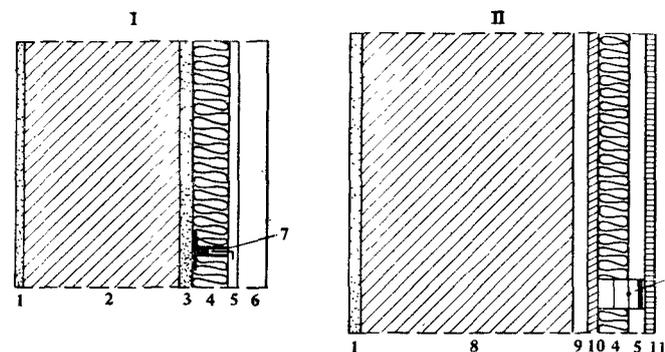


Рис. 48. Присоединение дополнительной тепловой изоляции алюминиевой клеммерой [55]

1 — известково-цементная штукатурка; 2 — кладка из полнотелых обожженных кирпичей; 3 — известково-цементная штукатурка; 4 — плиты из минерального войлока; 5 — воздушная прослойка; 6 — облицовка из алюминиевого профилированного листа; 7 — алюминиевая клеммера; 8 — кладка из керамических блоков с поперечными отверстиями; 9 — ложе из раствора; 10 — керамическая плитка; 11 — асбестоцементная плита

подвалом может быть улучшена за счет изоляции нижней поверхности конструкции, например Лигнопором.

Устройства дополнительной изоляции можно выполнить так, как показано на рис. 33 и 43.

На рис. 43, в наружный предохранительный слой выполнен из асбестоцементных листов. Вместо них можно применить облицовку металлическую или из стойкого PVC (ПВС) (гПВС — hPVC), так называемый Dekorplast (Декорпласт).

При выполнении дополнительной изоляции строительных конструкций наибольшие трудности вызывает способ крепления изоляционного слоя к существующей конструкции. На рис. 48 показано крепление изоляционных слоев специальными алюминиевыми клеммерами. Металлические материалы являются хорошими проводниками теплоты и поэтому заметно снижают теплоизоляционные свойства строительных конструкций, создают мостики холода. Для устранения этих недостатков применяют пластмассовые клеммеры системы NAPDO (рис. 49).

Пример расчета тепловой характеристики здания. Повышение качества строительных конструкций уменьшает тепловые потери и сокращает потребление энергии на отопление. Эффективность принятого решения оценивается с помощью тепловой характеристики здания, при определении которой учитываются все основные факторы, влияющие на тепловые потери [см. формулу (16)]. На основе тепловой характеристики

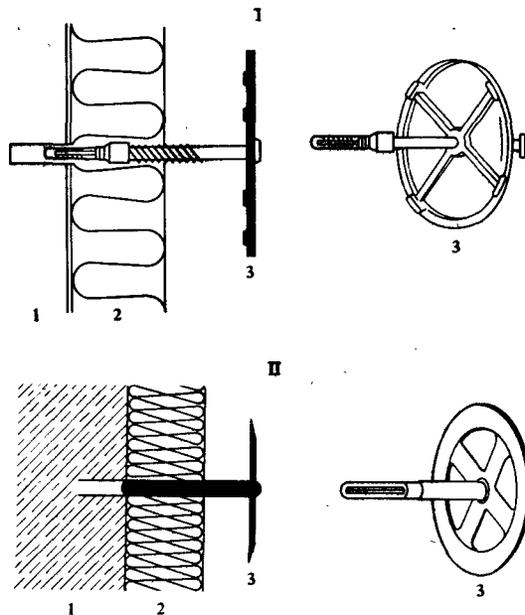


Рис. 49. Присоединение дополнительной тепловой изоляции пластмассовой кляммерной системы HARDO (Гардо) [67]  
1 — кладка; 2 — тепловая изоляция; 3 — кляммера

устанавливаются теплотери [см. формулу (14)] и потребность энергии на отопление.

Произведем расчет тепловой характеристики объекта, состоящего из трех секций. Размеры:  $s = 12,45$  м,  $d = 65,25$  м, высота  $h = 22,4$  м (8 этажей). Общая площадь окон (включая окна на лестничных клетках)  $S_o = 1213$  м<sup>2</sup>. Площадь наружных дверей дома  $S_d = 22$  м<sup>2</sup>. Площадь лоджий  $S_{dz} = 38,7$  м<sup>2</sup>. Коэффициент теплопередачи наружных стен  $k = 0,5; 1,0; 1,5$  Вт/(м<sup>2</sup> · К), перекрытия (последний этаж)  $k_s = 0,5$  Вт/(м<sup>2</sup> · К), пола (первый этаж)  $k_p = 1,0$  Вт/(м<sup>2</sup> · К). Коэффициент воздухопроницаемости швов  $i = 1,0 \cdot 10^{-4}$  м<sup>2</sup>/(с · Па<sup>0,67</sup>). Далее принимаем:  $c = 0,9$ ;  $m = 0,8$ ;  $l' = 3,27$  м/м<sup>2</sup> (обычно подставляется  $\Sigma l$ , т.е. суммарная длина швов);  $n = 1,3-1,25$  (для интервала изменения коэффициента теплопередачи наружных стен  $k$  от 0,5 до 1,5 Вт/(м<sup>2</sup> · К). Характеристическое число  $B = 6$  Па<sup>0,67</sup> и  $M = 0,7$  (см. нормы ЧСН 06 0210). Вычисляем значения величин, входящих в формулу (16):

а) отношение ширины и длины  $p = s/d = 12,45/65,25 = 0,191$ ;

б) площадь застройки  $S' = s \cdot d = 12,45 \cdot 65,25 = 812,4$  м<sup>2</sup>;

в) площадь застройки без лоджий

$$S = S' - S_{dz} = 812,4 - 38,7 = 773,7 \text{ м}^2;$$

г) объем здания  $V = Sh = 773,7 \cdot 22,4 = 17330$  м<sup>3</sup>;

д) отношение площади окон к площади застройки

$$a = S_o/S = 1213/773,7 = 1,57;$$

е) отношение площади дверей к площади застройки

$$b = S_d/S = 22/773,7 = 0,028.$$

Тогда по формуле (16), при  $k = 1,0$  Вт/(м<sup>2</sup> · К) и соответственно  $n = 1,275$ :

$$q = \left[ \frac{2(1 + 0,191)}{\sqrt{0,191 \cdot 773,7}} \cdot 1,0 + \frac{1,57(2,9 - 1,0) + 0,028(4,1 - 1,0)}{22,4} \right] +$$

$$+ \frac{0,9(0,5 + 1,0)0,8}{22,4} \cdot 1,275 + \frac{1300 \cdot 1,0 \cdot 10^{-4} \cdot 3,27 \cdot 1213 \cdot 6 \cdot 0,7}{17330} =$$

$$= 0,486 + 0,125 = 0,611 \text{ Вт/(м}^3 \cdot \text{К)}.$$

При коэффициенте теплопередачи наружных стен  $k = 0,5$  Вт/(м<sup>2</sup> · К) получается тепловая характеристика  $q = 0,540$  Вт/(м<sup>3</sup> · К) и при  $k = 1,5$  Вт/(м<sup>2</sup> · К)  $q = 0,679$  Вт/(м<sup>3</sup> · К).

Теплотери здания при  $k = 1,0$  Вт/(м<sup>2</sup> · К) определяем по формуле (14):  $Q = qV\Delta t = 0,611 \cdot 17330 \cdot 35 = 370\ 602$  Вт. Другие значения теплотери здания в зависимости от коэффициента теплопередачи стены даны в табл. 44 (приведены также теплотери, установленные в соответствии с нормами ЧСН 06 0210; разница значений незначительна).

Потребность в энергии на отопление при постоянном отоплении определяется по формуле (см. норму ЧСН 730 549  $E_r = 2,1 \cdot 10^3 \cdot Q$ , из которой следует, что если потребность в энергии не должна превысить значение 9,3 МВт · ч/г, на квартиру объемом 200 м<sup>3</sup>, то тепловая потеря не должна быть больше, чем

$$Q = \frac{9,3 \cdot 10^6}{2,1 \cdot 10^3} = 4429 \text{ Вт}.$$

Т а б л и ц а 44. Теплотери зданий в зависимости от коэффициента теплопередачи стены (к численному примеру)

Способ вычисления	Теплотери здания $Q$ , Вт, в зависимости от коэффициента теплопередачи наружных стен $k$ , Вт/(м <sup>2</sup> · К)		
	0,5	1,0	1,5
По формуле (16)	327560	370602	411870
По ЧСН 60 0210	325940	567410	408660
Разница, %	0,5	0,9	0,8

Этому значению соответствует тепловая характеристика

$$q = \frac{4429}{200 \cdot 35} = 0,633 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{К}).$$

Если сравнить "нормативную" тепловую характеристику с ранее вычисленной, то видно, что при коэффициенте теплопередачи  $k = 1,5 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$  здание не соответствует требованиям норм.

Нормы ЧСН 73 0540 требуют при температуре наружного воздуха  $-15^\circ\text{C}$  значения коэффициента теплопередачи стены  $k = 0,89 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ . При этом, принимая значения остальных величин без изменений, в соответствии с формулой (16) получим

$$q = \left[ \frac{2(1+0,191)}{\sqrt{0,191 \cdot 773,7}} + \frac{1,57(2,9-0,89) + 0,028(4,1-0,89)}{22,4} + \frac{0,9(0,5+1,0)}{22,4} \right] 1,28 + \frac{1300 \cdot 1,0 \cdot 10^{-4} \cdot 3,27 \cdot 1213 \cdot 6 \cdot 0,7}{17 \cdot 330} = 0,595 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{К}).$$

Следовательно, при обеспечении нормативного значения коэффициента теплопередачи наружной стены  $k = 0,89 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$  тепловая характеристика данного объекта соответствует требованиям норм.

Тепловую характеристику объекта можно разделить на две части:

$$q = q_p + q_v. \quad (35)$$

где  $q_p$  — тепловая характеристика, зависящая от тепловых потерь здания за счет теплопередачи, и  $q_v$  — тепловая характеристика, зависящая от тепловых потерь за счет инфильтрации, т.е.

$$q_p = \left[ \frac{2(1+p)}{\sqrt{pS}} k + \frac{a(k_o - k) + b(k_d - k)}{h} + \frac{c_k(k_s + k_p)m}{h} \right] n; \quad (36)$$

$$q_v = \frac{1300 l' \Sigma S_o B M}{V}. \quad (37)$$

При таком разделении расчета тепловой характеристики можно проследить влияние одного из факторов (теплопередачи или инфильтрации).

Например, необходимо определить влияние изменения коэффициента воздухопроницаемости швов со значениями  $i = 1,0 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/(\text{с} \cdot \text{Па}^{0,67})$  до  $i = 1,4 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/(\text{с} \cdot \text{Па}^{0,67})$  (это значение приведено в нормах ЧСН 06 0210), если при этом  $q_p = 0,470 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$ . В соответствии с формулой (37) имеем

$$q_v = \frac{1300 \cdot 1,4 \cdot 10^{-4} \cdot 3,27 \cdot 1213 \cdot 6 \cdot 0,7}{17 \cdot 330} = 0,175 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{К}).$$

Суммарное значение тепловой характеристики равно:

$$q = 0,470 + 0,175 = 0,645 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{К}).$$

Из расчета следует, что при коэффициенте воздухопроницаемости швов  $1,4 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/(\text{с} \cdot \text{Па}^{0,67})$  тепловая характеристика данного объекта больше, чем необходимо для обеспечения потребления энергии на отопление 9,3 МВт·ч/(г.квартира) [т.е. должно быть  $q = 0,633 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$ ; см. ранее полученное значение]. Изменение возможно за счет более тщательного уплотнения швов окон.

Из формулы (36) можно определить коэффициент теплопередачи наружных стен

$$k = \frac{\frac{q_p h - [k_o(a+b) + c_k(k_s + k_p)m]}{n}}{\frac{2(1+p)}{\sqrt{pS}} h - (a+b)}. \quad (38)$$

а также коэффициент теплопередачи окон

$$k_o = \frac{\frac{q_p}{n} h - k \left[ \frac{2(1+p)}{\sqrt{pS}} h - (a+b) \right] - b k_d - c_k(k_s + h_p)m}{a}. \quad (39)$$

или отношение площади окон к площади застройки

$$a = \frac{\frac{q_p}{n} h - \frac{2(1+p)h}{\sqrt{pS}} k - b(k_d - k) - c_k(k_s + k_p)m}{k_o - k}. \quad (40)$$

Отношение площади окон к площади застройки можно также найти из формулы (37), так как  $V = Sh$ ,  $a = S_o/S$ :

$$a = \frac{q_p h}{1300 l' \Sigma B M}. \quad (41)$$

Коэффициент теплопередачи наружных вертикальных стеновых конструкций  $k$  может быть определен по формуле (38), если тепловая характеристика  $q_p$  должна быть больше, чем  $0,470 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$  (остальные значения неизменны):

$$k = \frac{0,470}{1,28} - \frac{22,4 - 2,9(1,570 + 0,028) + 0,9(0,5 + 1,0)0,8}{\frac{2(1+0,191)}{\sqrt{0,191 \cdot 773,7}} 22,4 - (1,570 + 0,028)} = 0,9 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Из этого следует, что для заданных значений коэффициент теплопередачи наружных стен не должен быть больше, чем  $k = 0,9 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ .

Коэффициент теплопередачи окон  $k_o$  может быть вычислен из формулы (39), если тепловая характеристика  $q_p$  не должна быть больше, чем  $0,470 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$ , и остальные значения те же, что и в предыдущем примере:

$$k_o = \frac{1}{1,570} \left\{ \frac{0,470}{1,28} 22,4 - 0,89 \left[ \frac{2(1 + 0,191)}{\sqrt{0,191 \cdot 773,7}} 22,4 - (1,57 + 0,028) \right] - 0,028 \cdot 4,1 - 0,9(0,5 + 1,0)0,8 \right\} = 2,9 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Если должно быть выполнено условие, заданное в примере, коэффициент теплопередачи окон не должен быть больше, чем  $k = 2,9 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ .

Из формулы (40) можно определить допустимое отношение площади окон к площади застройки, если тепловая характеристика здания  $q_p$  не должна быть больше, чем  $0,470 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ :

$$a = \frac{1}{(2,9 - 0,89)} \left[ \frac{0,470}{1,28} 22,4 - \frac{2(1 + 0,191) \cdot 22,4}{\sqrt{0,191 \cdot 773,7}} - 0,89 - 0,028(4,1 - 0,89) - 0,9(0,5 + 1,0)0,8 \right] = 1,57.$$

Отношение  $a$  можно определить также из формулы (41) для заданной тепловой характеристики  $q_p$ . Если принимается  $q_p = 0,125 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$ , то

$$a = \frac{0,125 \cdot 22,4}{1300 \cdot 3,27 \cdot 1,0 \cdot 10^{-4} \cdot 6 \cdot 0,7} = 1,57.$$

Если тепловая характеристика здания  $q_p$  не должна превышать  $0,470 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$ , а тепловая характеристика  $q_v$  значения  $0,125 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$ , то отношение площади окон к площади застройки не должно быть больше, чем  $a = 1,57$ .

**П р и м е ч а н и я:** 1. Так как отношение  $a = 1,57$  вычислено для восьмизатжного дома, то на один этаж приходится  $a' = \frac{1,57}{8} = 0,196$ .

2. В приведенных примерах принятые величины в некоторых случаях незначительно отличаются; например, было задано  $k = 0,89$ , однако вычисленное в соответствии с формулой (38) значение равнялось  $k = 0,9 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ . Эта вызвано неточностями, которые возникают при округлении.

## 2.6. ЭКСПЛУАТАЦИЯ СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ

Отопление здания может быть постоянным или периодическим. При периодическом отоплении цикл изменения температуры в жилых домах соответствует графику на рис. 50. Этот цикл имеет три части: I — начало работы системы отопления (период натопа): температура в помещении повышается от начальной  $t_k$  до  $t_U$ ; II — время установившегося режима (температура в помещении удерживается на постоянном уровне); III — подвод теплоты в помещение прекращается, охлаждение помещения и понижение температуры до значения  $t_k$ . Из диаграммы потребления теплоты при периодическом отоплении (рис. 51) видно, что тепловой поток в начале цикла больше, чем во время установившегося режима, что является необходимым, если требующаяся в помещении температура должна быть достигнута в короткое время.

Из рис. 50 и 51 очевидно следующее:

а) если температура  $t_U$  представляет собой требуемое значение, то в частях цикла I и III (начало работы системы отопления и охлаждение) условия в помещении неудовлетворительные;

б) если обозначить потребляемую теплоту при постоянном отоплении за  $E_U$ ,  $24$ ,  $\text{Вт} \cdot \text{ч}$ , теплоту, потребляемую в части I за  $E_Z$ ,  $\text{Вт} \cdot \text{ч}$ , и теплоту при установившемся состоянии (часть II) с продолжительностью  $\tau_U$  за  $E_U$ , то периодическое отопление является более экономичным, если выполнено условие  $E_Z + E_U < E_U$ ,  $24$ , т.е. теплота, потребляемая в начале работы системы отопления и в период установившегося режима должна быть в сумме меньше, чем теплота, затрачиваемая при постоянном отоплении в течение  $24$  ч.

Кроме того, потребляемая теплота тем больше, чем ниже температура в помещении (чем больше помещения охлаждены). Если помещение посещают люди после перерыва в отоплении, то снижение этой температуры ограничено (см. разд. 1.4). Если люди не посещают помещения после перерыва в работе системы отопления и если нет никаких иных причин для ограничения температуры в помещении, то охлаждение помещения не ограничивается. Однако для данного случая имеется примечание в нормах ЧСН 73 0540: "если проверяется тепловая устойчивость помещения в зимнее время года для случая, когда люди в нем не бывают, рекомендуется произвести контрольный расчет, подтверждающий, что с точки зрения потребления энергии в начале работы системы отопления или времени продолжительности начальной части цикла, нет необходимости ограничить снижение температуры более высоким ее значением, чем значение, приведенное в табл. 6 норм ЧСН 73 0540".

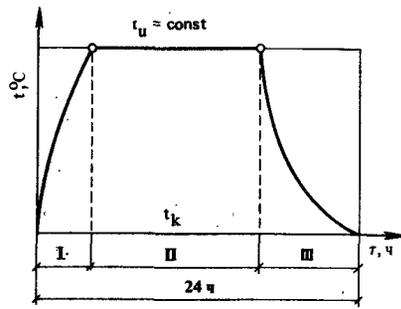


Рис. 50. Дневной цикл изменения температуры при периодическом отоплении

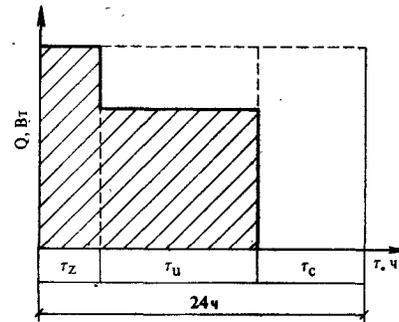


Рис. 51. Потребление теплоты при периодическом отоплении

$\tau_Z$  — время начала работы системы отопления;  $\tau_U$  — время установившегося режима;  $\tau_C$  — время охлаждения

В табл. 45 приведены результаты рассмотрения конкретных вариантов. Видно, что во всех случаях потребление энергии на отопление при периодическом отоплении меньше, чем при непрерывной эксплуатации.

Наименьшая экономия в варианте 1; однако отношение теплового потока в период натопа к максимально возможному меньше, чем 1. Это означает, что нет необходимости увеличивать количество отопительных приборов. В варианте II экономия больше, чем в варианте 1, однако количество отопительных приборов должно быть больше на 7–24% (в зависимости от продолжительности времени натопа) и в большей мере ухудшается тепловой комфорт. Наибольшая экономия при периодическом отоплении в варианте III, однако количество отопительных приборов должно быть больше на 135–213%.

Таким образом, можно констатировать, что периодическое отопление всегда ведет к уменьшению потребления энергии, однако при этом обычно ухудшается тепловой комфорт. Эти выводы подтверждены и результатами измерений, проведенных в прошлом в г. Праге в поселке Инвалидовна [23]

В этом поселке вначале было смонтировано газовое отопление с водяными или воздушными системами. Некоторые здания были присоединены к газовой котельной.

Наружное ограждение домов выполнено из железобетонных панелей типа "сэндвич" толщиной 14 см, при этом средний изоляционный слой выполнен из пеностекла толщиной 4 см. Коэффициент теплопередачи панелей  $k = 1,45 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ . Расположение зданий показано на рис. 52.

Т а б л и ц а 45. Потребность энергии на отопление для разного времени начала отопления и другие характеристики

$\tau, \text{ч}$	Вариант	$E_Z, \text{МВт} \cdot \text{ч}$	$E_U, \text{МВт} \cdot \text{ч}$	$E_C, \text{МВт} \cdot \text{ч}$	$E_{U,24}, \text{МВт} \cdot \text{ч}$	$\Delta E, \text{МВт} \cdot \text{ч}$	$E_f, \%$	$n_Z$	
								a (-)	b (-)
0,5	I	0,09	2,16	2,25	2,74	0,49	17,9	0,83	—
	II	0,13	1,87	2,00		0,74	27,0	—	1,24
	III	0,17	1,59	1,76		0,98	35,8	—	3,13
1	I	0,16	2,12	2,28	2,74	0,46	16,8	0,79	—
	II	0,24	1,82	2,06		0,68	24,8	—	1,15
	III	0,30	1,54	1,84		0,90	32,8	—	2,76
1,5	I	0,23	2,08	2,31	2,74	0,43	15,7	0,74	—
	II	0,33	1,77	2,10		0,65	23,4	—	1,10
	III	0,42	1,49	1,91		0,83	30,3	—	2,53
2	I	0,29	2,05	2,34	2,74	0,40	14,6	0,74	—
	II	0,42	1,72	2,14		0,60	21,9	—	1,07
	III	0,52	1,44	1,96		0,78	28,5	—	2,35

Обозначения, принятые в табл. 45:  $\tau_Z$  — время натопа.

Варианты: I — снижение суммарной температуры помещения на  $36^\circ\text{C}$ , II — снижение суммарной температуры помещения на  $35^\circ\text{C}$ , III — время перерыва в работе системы отопления 8 ч за 24 ч;  $E_Z$  — потребность энергии при натопе;  $E_U$  — потребность энергии при постоянном режиме работы системы отопления;  $E_C$  — общая потребность в энергии;  $E_{U,24}$  — потребность в энергии при постоянном отоплении за 24 ч;  $\Delta E = E_{U,24} - E_C$ ;  $E_f = (E/E_{U,24}) \cdot 100$ ;  $n_Z = Q_Z/Q_U$ ; в столбце "а" принимается, что начало работы системы отопления может быть только до температуры наружного воздуха  $t_c = -6^\circ\text{C}$ , а в столбце "в" — при любой температуре наружного воздуха.

Пятиэтажный дом А1 имеет объем  $14\,971 \text{ м}^3$  и 64 квартиры; производительность системы отопления  $523\,000 \text{ Вт}$ . Дома А2, А7, А8 восьмизэтажные, каждый объемом  $19\,800 \text{ м}^3$  и с 123 квартирами; производительность системы отопления  $594\,000 \text{ Вт}$ . Дома А3, А5 и А6 пятиэтажные, каждый объемом  $8000 \text{ м}^3$  и с 36 квартирами; производительность системы отопления  $331\,000 \text{ Вт}$ .

Среднее значение удельной тепловой потери равно  $32,9 \text{ Вт}/\text{м}^3$ . Для отопления квартир в домах А1, А2, А3 (всего 223 квартиры) была применена водяная система с принудительной циркуляцией. Источником теплоты был газовый автоматический агрегат Мора 662 производительность  $7000 \text{ Вт}$ . Четыре квартиры в доме А3 были снабжены воздушным отоплением от бытового газового теплообменника Мора 680.

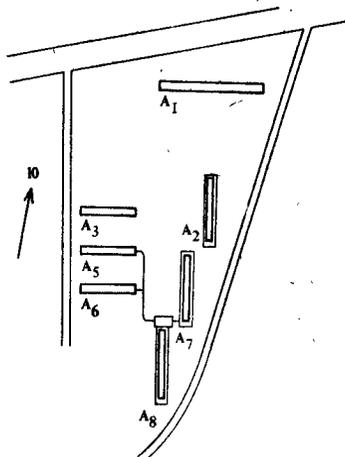


Рис. 52. Расположение зданий в поселке Инвалидовна в Праге

Измерением было доказано, что потребность в топливе (газе) для отопления зависит от разных факторов, а именно: от геометрических размеров квартир, от теплотехнических свойств строительных конструкций, а также от количества членов семьи, их места работы и т.п. Время эксплуатации (потребление газа для отопления), однако, непостоянно и не одинаково даже для одного и того же квартирносъемщика. Увеличение количества часов эксплуатации отопления заметно повышается во время отдыха (воскресенье и праздники) и во время болезни кого-либо из членов семьи (рис. 53 и 54). На рис. 53 показана температура внутреннего воздуха за время с 6.11 до 13.11 1962 г. Жители включали отопление только в вечерние часы после возвращения с работы. На рис. 54 показано изменение температуры в той же квартире с 29.1 1963 г. В это время в квартире был больной член семьи, поэтому система отопления работала 12–16 ч, причем температура внутреннего воздуха регулировалась термостатом. В домах, присоединенных к газовой котельной, отопление было постоянным (рис. 55). Результаты измерения газа (в м<sup>3</sup>) за время отопления и потребление теплоты в домах A1, A2, A3 даны в табл. 46.

Сравнение потребления газа в зданиях A2 и A3, отапливаемых местными отопительными системами, с потребностью в зданиях A5 и A8, присоединенных к центральной газовой котельной, приведено в табл. 47. Из таблицы видно, что квартиры с собственной отопительной системой отапливаются только тогда, когда жители дома, поэтому потребление теплоты в них значительно меньше, чем в зданиях, обеспеченных центральным отоплением. Однако рис. 53 и 54 показывают, что снижение теплопотребления ухудшает тепловой комфорт.

		3	6	9	12	15	18	21	τ, ч	t, °C
1	6.11								5 3/4	+4,2
2	7.11								3 1/4	+4,0
3	8.11								3	+3,2
4	9.11								3 1/4	+5,9
5	10.11								4	+6,7
6	11.11								7	+5,6
7	12.11								4 1/2	+9,5
8									4 1/2	+5,6

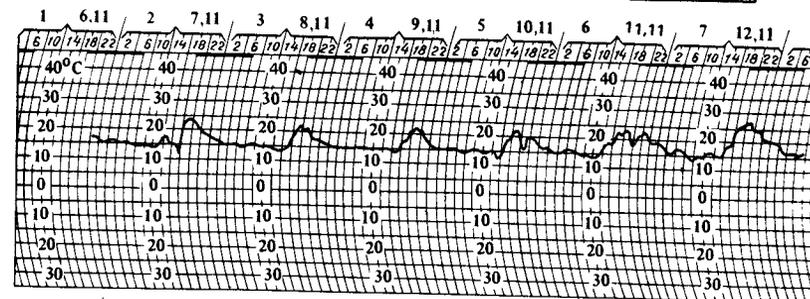


Рис. 53. Изменение температуры воздуха в помещении при кратковременном отоплении

1 — понедельник; 2 — вторник; 3 — среда; 4 — четверг; 5 — пятница; 6 — суббота; 7 — воскресенье; 8 — среднее значение; τ — продолжительность отопления, ч

		3	6	9	12	15	18	21	τ, ч	t°С
1	29.1								5 1/2	-4,6
2	30.1								16 3/4	-7,6
3	31.1								15 1/5	-7,2
4	1.2								16	-6,8
5	2.2								12 1/2	-3,9
6	3.2								14 1/2	-1,3
7	4.2								12 2/4	-0,6
8									13 1/4	-4,6

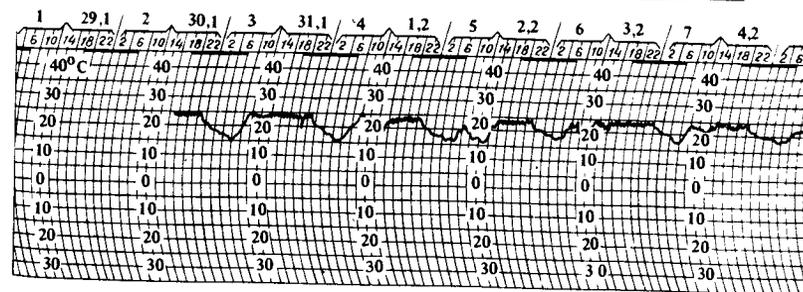


Рис. 54. Изменение температуры воздуха в помещении при длительном отоплении (обозначения — см. рис. 53)

	3	6	9	12	15	18	21	т, ч	t°С
1	11,2							24	+0,8
2	12,2							24	+0,6
3	13,2							24	-0,6
4	14,2							24	-1,4
5	15,2							24	-2,2
6	16,2							24	-2,6
7	17,2							24	-2,4
							8	24	-1,1

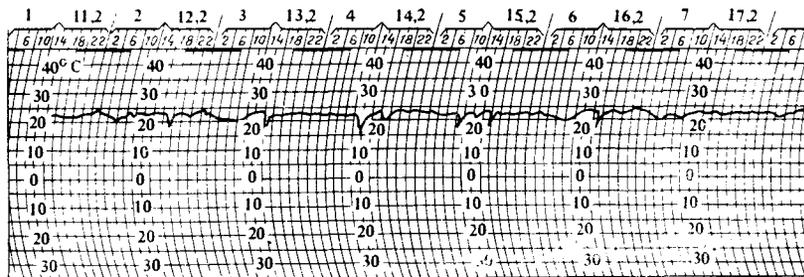


Рис. 55. Изменение температуры воздуха в помещении при постоянном отоплении (резкие снижения температуры воздуха вызваны провертыванием помещения) (обозначения — см. рис. 53)

Из табл. 46 следует, что потребление теплоты в здании А2 значительно меньше, чем в зданиях А1 и А3, что обусловлено тем, что в доме А2 больше количество малогабаритных квартир — на два-три человека, которые бывают дома только вечером.

Однако в зданиях с достаточной тепловой устойчивостью можно использовать возможность снижения теплопотребления на отопление за счет периодического ухудшения комфорта, необходимо ориентироваться на переходный период года. Если отопление будет прерываться в интервале температуры наружного воздуха 12–5°С, то это означает, что около 90 дней в году достаточно топить по 16 ч в день (количество дней для местности с температурой наружного воздуха –15°С). При этом температура воздуха в помещениях понизится при самых неблагоприятных условиях до 17,4°С (пример D в табл. 48). Для сравнения в табл. 48 приведено помещение Z. В таком помещении нельзя вообще прекратить отопление больше чем на 8 ч в день, если температура наружного воздуха ниже 5°С.

Описанный режим отопления в интервале температуры наружного воздуха 12–5°С позволяет экономить около 15%

Т а б л и ц а 46. Результаты измерения потребления газа и теплоты

Дом	Количество квартир	Объем квартиры, м <sup>3</sup>		Время отопления, ч	Потребление газа, м <sup>3</sup> , на квартиру	Теплопотребность, МВт·ч, на квартиру
		строительный	отопляемый			
А1	64	240	130	8–10	2200	6,63
А2	123	160	92	6–10	1240	3,84
А3	36	230	142	6–10	2040	6,40
Итого	—	191	110,7	6–10	1680	5,12

Т а б л и ц а 47. Сравнение теплопотребления в зданиях, отапливаемых местными системами отопления и газовой котельной

Дом	Примерный объем, м <sup>3</sup>	Время отопления, ч	Потребление газа, м <sup>3</sup>		Теплопотребность, МВт·ч, на квартиру
			на квартиру	на 1 м <sup>3</sup> отапливаемого объема	
А2–А3	103,4	6–10	1420	13,7	4,3
А5–А9	103,4	18–24	2640	25,5	7,91

Т а б л и ц а 48. Снижение температуры воздуха в разных помещениях при температуре наружного воздуха t<sub>e</sub> = 5°С

Помещение	Время охлаждения, ч			
	0	2	4	8
А	20	19,5	19,2	18,8
В	20	19,2	18,7	18,2
С	20	19,2	18,8	18,0
Д	20	18,8	18,1	17,4
З	20	16,6	14,8	13,1

А — помещения с одной наружной стеной из пеносиликата с термическим сопротивлением R = 1,2 м<sup>2</sup> · К/Вт; В — помещение с двумя наружными стенами, одна из которых с R как в А, другая с R = 1,36 м<sup>2</sup> · К/Вт; С — помещение с одной наружной стеной с R, как в А, и плоским покрытием с R = 2,15 м<sup>2</sup> · К/Вт; Д — помещения, как В, + плоское покрытие, как в С; З — помещения с легкими конструкциями стен, например из металла, пластика и стекла.

энергии на отопление зданий. При рассмотрении влияния солнечного излучения на здания констатировалось, что в переходный период года возможно использовать энергию солнечного излучения, что приведет к экономии топлива на 10–15%. В этом случае при прерывистом отоплении не происходило бы никакого ухудшения теплового комфорта.

## 2.7. ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОТОПИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

Теплота, подаваемая в помещения здания для обеспечения требуемого теплового режима, вырабатывается с определенными потерями, которые возникают при добыче и транспортировке топлива, при его сжигании и превращении в теплоту, при передаче теплоты от источника его получения к потребителю, а также за счет того, что подаваемая теплота используется без соответствующего регулирования. Потери эти значительны. Например, в [44] приводятся следующие значения эффективности разных способов обеспечения зданий теплотой: печь для обогрева комнаты со сжиганием твердого топлива имеет эффективность 44–68%, со сжиганием жидкого топлива — 59–69%; газовые отопительные приборы (печи, камины, радиаторы, конвекторы) при применении газа: с газового завода (высокого давления) имеют эффективность 33–40%, со станции разложения — 49–66%, природного газа — 63–73%; электрические отопительные приборы при применении электроэнергии конденсационных тепловых электростанций имеют эффективность 25–32%; блочные котельные и котельные, расположенные в доме, — 55–79%; котельные при сжигании бурого угля 57–68%, при сжигании жидких топлив и природного газа — 68–79%. Теплоэлектроцентрали работают с эффективностью 64–84%.

Таким образом, видно, что из 100 кг добытого топлива используется обычно только 25 кг и в самом благоприятном случае 84 кг. Очевидно поэтому громадное значение всемерного снижения тепловых потерь. Снижение тепловых потерь, приводящее к экономии 1 кг топлива, означает экономию 1,2–4 кг добытого топлива.

При рационализации потребления топлива и энергии очень важным является регулирование подвода теплоты к отапливаемым помещениям. Идеальным будет регулирование, которое обеспечивает подвод в данное время и в данное место только требуемого количества теплоты, которое равняется тепловым потерям, зависящим от температуры наружного воздуха, скорости и направления ветра, солнечного излучения и т.п. (см. разд. 2.3). При этом необходимо также учесть, что речь идет о факторах, переменных во времени. Кроме того, при поддержании требуемого теплового режима проявляется наряду со стационарными и нестационарными характе-

ристики строительных конструкций и зданий. Следовательно, при регулировании системы следует стремиться к тому, чтобы подвод необходимого количества теплоты в помещение изменялся бы не только от изменения температуры наружного воздуха, скорости и направления ветра, интенсивности солнечного излучения, но и от устойчивости теплового режима зависящих от нестационарных тепловых характеристик строительных конструкций, из которых выполнено помещение. Все это рассмотрено применительно к одному помещению.

В здании с большим количеством помещений, имеющих разную ориентацию, должны еще учитываться неравномерность воздействия солнечного излучения, а иногда и противоположное воздействие (скорость и направление ветра) наружной среды. Поэтому отопительная система должна разделяться на самостоятельные зоны в соответствии с ориентацией по странам света (особенно на северную и южную) или с учетом преобладающего направления ветра. Имеется проект [49], который предусматривает разделение отопительной системы на самостоятельно регулируемые ветви таким образом, чтобы подаваемая теплота обеспечивала в помещениях постоянную температурную стабильность.

Относительно легко можно осуществить регулирование для небольших зданий, в частности для индивидуальных домов. В [7] приведено описание электронной регулирующей системы Villamatik (Вилламатик), которая состоит из термостата, соединенного с часами, наружного датчика и трехходового смешивающего вентиля, являющихся частями системы отопления. Температурным датчиком термостата является термистор (полупроводниковое термосопротивление). Термостат автоматически переключается на температуру, которая установлена заранее. Часы позволяют произвести до четырех переключений за 24 ч (рис. 56).

Более сложно регулировать подвод теплоты к зданиям с центральным источником (котельные, теплоэлектроцентрали). Регулирование в этом случае должно обеспечиваться тремя ступенями, а именно у источника теплоты, в распределительных узлах и у потребителя (около отопительных приборов). У источника теплоты может быть только основное регулирование. Наиболее важным, однако, является регулирование в распределительных тепловых узлах. По сравнению с нерегулируемыми системами такое регулирование дает снижение теплопотребления на 15–20%. С учетом основного регулирования можно добиться снижения потребления энергии на отопление на 20–25% [54]. Из проведенных экспериментов [54], однако, следует, что влияние регулирования в распределительных тепловых узлах незначительно. Определено, что 57–70% этих узлов в ЧССР (Чехии) не имеет автоматического или вообще какого-либо регулирования. Недавно было начато произ-

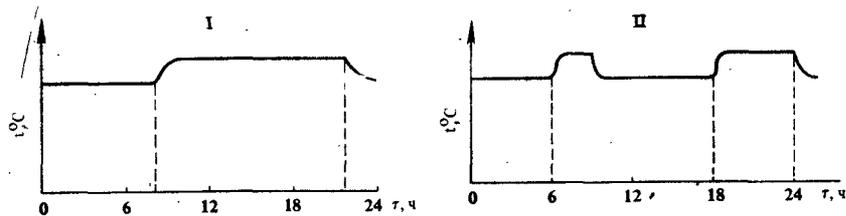


Рис. 56. Изменение температуры воздуха в помещении при регулировании  
I — с двумя переключениями; II — с четырьмя переключениями

водство термостатического регулятора температуры обратной воды TRF-75 [16], который должен благоприятно влиять на эффективность работы тепловых сетей. В то же время у источников теплоты и в распределительных тепловых узлах необходимо автоматическое регулирование, а у отопительных приборов — эффективное ручное регулирование. Автоматическое регулирование у отопительных приборов значительно дороже, чем автоматическое в первых ступенях системы (у источника и в узлах). В [7] приводится следующий пример: устройства регулирования в распределительном тепловом узле стоят примерно 10 000 крон. Среднее значение тепловой производительности распределительных узлов бывает в новых жилых районах примерно 4,5–6 МВт. Это означает, что узел обеспечивает теплотой 500–600 квартир. При условии, что средняя квартира будет иметь примерно четыре радиатора, к тепловому распределительному узлу присоединено 2000–2400 радиаторов. Если бы каждый из этих радиаторов был снабжен собственным терморегулирующим вентилем, стоимость которого 150 крон, то для обеспечения регулировочными вентилями всех отопительных приборов необходимо 360 000 крон.

Регулированию подвода теплоты к зданиям уделяют внимание и в других странах. Например, из шведских источников [50] следует, что при применении регулирования в индивидуальных домах получают экономию энергии 3500 кВт·ч, что эквивалентно экономии, которая может быть получена за счет улучшения тепловой изоляции здания. Что, однако, важнее — расходы на регулирование (2350 шведских крон) или расходы на тепловую изоляцию (5000 шведских крон)? Для многоквартирных домов регулирование даст экономию энергии 3100 кВт·ч на одну квартиру при ее стоимости 1000 шведских крон, в то же время тепловая изоляция даст экономию 2000 кВт·ч при стоимости 2700 шведских крон. Из приведенного сравнения видно, что затраты на регулирование и на тепловую изоляцию одинаково выгодны.

Т а б л и ц а 49. Влияние количества секций на тепловую производительность радиатора [7]

Количество секций	2–3	4	5	6	7–11	12–14	15–18	19–25
Поправочный коэффициент	1,04	1,03	1,02	1,01	1,0	0,99	0,98	0,97

П р и м е ч а н и е. Эталонном является отопительный прибор из 7–11 секций; из таблицы видно, что уменьшение на 2–3 секции приводит к увеличению производительности прибора на 4%, а увеличение на 19–25 секций — к уменьшению на 3%.

Т а б л и ц а 50. Влияние укрытий на производительность отопительного прибора [7]

Тип укрытия отопительного прибора	Поправочный коэффициент					
1		<i>c</i> , мм	40	60	80	100
		<i>z</i>	0,95	0,96	0,97	0,98
2		<i>c</i> , мм	40	60	80	100
		<i>z</i>	0,90	0,92	0,94	0,95
3						0,87
4	Прибор окрашен с добавлением металлических присадок					0,90

П р и м е ч а н и е. Прибор, расположенный свободно у стены (без укрытия), имеет  $z = 1,0$ .

На работу отопительных приборов влияют и другие факторы. Отопительные приборы, состоящие из отдельных секций (радиаторы), имеют тепловую производительность тем меньше, чем больше в них секций, так как уменьшается влияние крайних секций на увеличение теплоотдачи радиатора (табл. 49).

Теплоотдача отопительных приборов часто снижается за счет разного рода укрытий (табл. 50). Имеется разница также в том, устанавливается ли отопительный прибор под окном у наружной стены или внутри у стены. Прибор, установленный в нише, имеет на 5—10% меньшую производительность, чем прибор, установленный у наружной стены.

Отопительный прибор, установленный у наружной стены, увеличивает температуру ее поверхности и тем самым тепловые потери. Поэтому для устранения таких дополнительных теплопотерь выгодно увеличить теплоизоляционную способность стены или облицевать стену за радиатором рефлекторной алюминиевой фольгой.

## 2.8. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕТРАДИЦИОННЫХ ИСТОЧНИКОВ ТЕПЛОТЫ

Мировая потребность в энергии в настоящее время обеспечивается на 90% за счет невозобновляемого органического топлива, т.е. угля, нефти и природного газа. Энергия, полученная из этого топлива, сопряжена с растущими затратами, так как добывать его приходится во все более тяжелых условиях. Получение энергии из органических видов топлива сопровождается выделением нечистот и материалов, вредных для здоровья. Так как органическое топливо является важнейшим сырьем для химической промышленности, предполагается в будущем применить его только для промышленных целей.

Энергетические проблемы мирового хозяйства вызвали интенсивную заинтересованность в применении таких источников, которые известны уже давно, но по различным соображениям не могли применяться в более широком масштабе, чем до настоящего времени, заменив органическое топливо.

В недалеком будущем предполагается, что большее значение в энергетическом хозяйстве займет ядерная энергетика. Исследуются возможности использования геотермальной энергии и кинетической энергии космических тел. Большие надежды связаны с использованием солнечной энергии. Решаются также проблемы, связанные с использованием так называемых вторичных источников теплоты. В энергетическом хозяйстве для непрямой ответственности сферы речь идет об использовании теплоты выбросов вентиляционного воздуха, отводимого из здания, а также использованной воды.

С точки зрения экономии энергии в системах горячего водоснабжения и отопления в настоящее время наибольший интерес представляет использование солнечной энергии.

Использование солнечной энергии применительно к условиям в ЧССР. Для выявления возможности использования солнечной энергии решающими являются данные об интенсивности солнечной радиации и времени солнечного освещения в данном месте. Из рассмотрения климатических условий в ЧССР следует, что все количество солнечной энергии, которое падает на поверхность площадью в  $1 \text{ м}^2$ , приблизительно равно [5]: на горизонтальную поверхность  $850 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^2$ ; на наклонную поверхность, расположенную под углом  $30^\circ$ — $60^\circ$  и ориентированную на юг,  $1000 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^2$ ; на вертикальную поверхность, ориентированную на юг,  $700 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^2$ .

Наибольшее количество солнечной энергии приходится на март — октябрь. Среднее годовое время действительного солнечного освещения на территории ЧССР находится в пределах  $1600$ — $2200 \text{ ч}$ , наименьшая продолжительность на западе, в направлении к востоку она увеличивается. Конкретные данные для некоторых городов ЧССР приведены в табл. 51.

Это средние значения за  $1926$ — $1950 \text{ гг}$ . Из сравнения значений для периодов апрель — сентябрь и октябрь — март очевидно, что в первом случае значения более чем в 2 раза больше, чем во втором.

Наименьшая продолжительность солнечного освещения (менее  $1600 \text{ ч}$ ) на Шумае, в Крконоших, Йизерских и Крушных горах. Большая часть Моравы, за исключением Чешско-Моравской возвышенности и северных горных областей Есеники и Бескид, имеют  $1800$ — $2000 \text{ ч}$ . Подобное положение в Чехии в области Раковники и Сланого, в окрестностях г. Праги, в восточной части Полаби. На оставшихся частях территории ЧССР продолжительность солнечного освещения составляет  $1600$ — $1800 \text{ ч}$  за год.

Можно констатировать, что условия для использования в ЧССР солнечной энергии для отопления и горячего водоснабжения подобны условиям в ФРГ, Австрии, Дании и др. [11, 36].

Схема и элементы солнечного устройства (основной элемент — солнечный коллектор) показаны на рис. 57.

Для горячего водоснабжения (ГВ) и для отопления наиболее часто применяют плоские коллекторы (рис. 58), которые имеют следующие части: съемное укрытие 1, абсорбер 2, соединенный с трубками для отвода теплоты 3 (вместо трубок могут быть устроены каналы небольшого сечения, например, из двух соответствующим образом профилированных листов), тепловой изоляции 4 и рамы 5.

Съемное укрытие уменьшает тепловые потери коллекторов, оно должно пропускать как можно больше коротковолнового

Т а б л и ц а 51. Время солнечного освещения, ч, в разных районах ЧССР [11, 36]

Город	Период года		
	за весь год	апрель—сентябрь	октябрь—март
Брно	1806	1344	462
Взенец	1912	1398	514
Ческе Будейовице	1691	1228	463
Градец Кралове	1826	1348	478
Карловы Вары	1554	1162	392
Милешовка	1753	1250	503
Млада Болеслав	1603	1215	388
Опава	1751	1269	482
Прага — Карлов	1902	1396	506
Подбрады	1791	1338	453
Поличка	1816	1346	470
Пршеров	1790	1334	456
Раковник	1772	1285	487
Шриндлерув Млин	1444	1046	398
Табор	1649	1229	420
Тршебонь	1757	1251	506
Братислава	2168	1588	580
Губаново	2146	1548	598
Кошице	2024	1454	570
Ломницкий штит	2159	1218	941
Риштаны	2148	1539	609
Прешов	1956	1417	539
Тренчин	1936	1423	513
Зволен	1722	1232	490

излучения и как можно меньше инфракрасного (длинноволнового излучения). Для повышения эффективности укрытия на нижнюю сторону наносят рефлексный слой для длинноволнового излучения, а на верхнюю — антирефлексный слой для коротковолнового излучения. Укрытие бывает большей частью из стекла в один, два или несколько слоев. Применяется для укрытия и пластмасса, имеющая то же пропускание солнечного излучения, что и стекло, однако пропускание длинноволнового излучения у нее выше. Абсорбером, как правило, является металлический лист, который должен поглощать как можно больше солнечного излучения и отражать как можно меньше инфракрасного излучения. Потери отраженного излучения можно уменьшить за счет применения селекционного покрытия на поверхность абсорбера. Экспериментируют, например, с окисью меди ( $\text{CuO}$ ) и окисью никеля ( $\text{Ni}_2\text{O}_3$ ) [11, 19]. Коллектор с селекционным покрытием и простейшим укрытием считается самым выгодным для низкотемпературного преобразования солнечной энергии в условиях стран Средней Европы.

Наибольший эффект достигается, если солнечное излучение направлено перпендикулярно абсорберу. Обеспечение

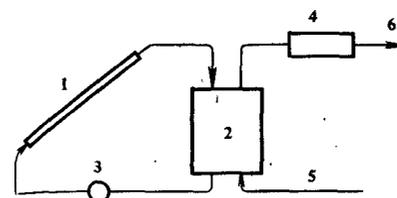


Рис. 57. Схема и элементы солнечного устройства  
1 — солнечный коллектор; 2 — емкость системы ГВ; 3 — насос; 4 — дополнительный источник теплоты; 5 — подвод холодной воды; 6 — потребитель

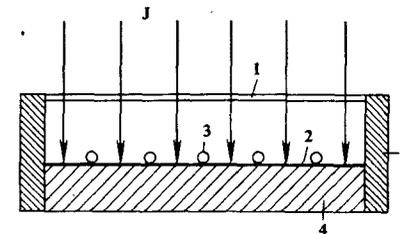


Рис. 58. Устройство плоского коллектора  
J — интенсивность солнечного излучения

этого положения потребовало бы автоматического наведения коллектора. Такое решение, однако, слишком дорого. Поэтому иногда применяют комбинированное решение, т.е. закрепление коллектора проектируют в двух положениях: одно для зимнего и другое для летнего времени года. Наиболее дешево неподвижное закрепление коллектора в одном положении, но в этом случае абсорбер должен иметь большую способность поглощать солнечное излучение при разных углах падения солнечных лучей.

Если же коллекторы закрепляются неподвижно, то необходимо принять решение о их наклоне в соответствии с тем, в какое время года будет преобладать использование солнечного излучения. В [5] отмечается, что в ЧССР при использовании коллектора в течение всего года наиболее выгодно наклонять его на  $50-70^\circ$ , а при использовании только в летний период года этот угол должен составлять  $20-40^\circ$  (в обоих случаях принимается южная ориентация). Наклон коллекторов важен с точки зрения использования прямого солнечного излучения. Если же используется часть энергии рассеянной радиации, что имеет место для климатических условий ЧССР, то наклон коллекторов уже не играет большого значения. Доказывают это и результаты измерений в ФРГ [3]. Определено, что изменение наклона коллектора в интервале  $10-80^\circ$  соответствует эффективности коллектора  $55-60\%$ , в то же время без изменения наклона эффективность равна  $50-80\%$ .

Для передачи теплоты в качестве теплоносителя наиболее часто применяется вода. Если хотят использовать солнечную энергию и в зимнее время, то необходимо сделать так, чтобы вода не замерзала. Проблему можно решить, обеспечив автоматический спуск воды из контура коллектора. Другое ре-

шение состоит в устройстве двух контуров; в закрытом первичном контуре протекает незамерзающая жидкость, из него теплота передается вторичному водяному контуру. Пригодных незамерзающих жидкостей для этих целей пока в ЧССР нет. Fridex (Фридекс), применяемый в автомобильном транспорте, является гигиенически вредной жидкостью, а Friterm (Фритерм), применяемый для центрального отопления, относительно дорог.

С точки зрения эффективности работы коллектора важным фактором является его тепловая изоляция. В ЧССР для этой цели применяется базальтовая вата, пенополиуретан, или стойкий PVC (hPVC). В табл. 52 [30] приводятся характеристики некоторых коллекторов.

Производительность коллектора  $q_k$ , Вт/м<sup>2</sup>, зависит от солнечного излучения  $J$ , Вт/м<sup>2</sup>, падающего на коллектор; от потерь, возникающих при отражении и поглощении излучения в съемном укрытии коллектора  $Z_j$ , Вт/м<sup>2</sup>, а также от теплопередачи  $Z_p$ , Вт/м<sup>2</sup>, от разницы температуры коллектора  $t_k$ , °C, и окружающего воздуха  $t_v$ , °C (рис. 59).

Тепловые потери за счет теплопередачи включают потери теплопроводностью, конвекцией и излучением передней и задней стороной, а также боковыми стенками коллектора.

В [11, 19] приводятся следующие значения этих потерь: отражение излучения от съемного укрытия коллектора 8–30%, отражение излучения от абсорбера 2–10%, поглощение излучения укрытием коллектора 4–10%. Другие потери могут возникать за счет загрязнения съемного укрытия — до 5% (уменьшается пропускание излучения через укрытие), затенения абсорбера укрытием (около 3%), наличия снега, наледи и росы.

Если потери от отражения и поглощения солнечного излучения постоянны, то для определенной интенсивности солнечного излучения производительность коллекторов тем больше, чем меньше разница температуры коллектора и температуры окружающей среды (см. рис. 59). Поэтому выгодно температуру теплоносителя поддерживать на возможно более низком уровне.

Поскольку температура окружающего воздуха выше в летнее время года, то и эффективность коллектора выше, чем в зимнее время. В летнее время года производительность может достигнуть 80%, а в зимнее — только 10%. За год эффективность использования падающего солнечного излучения составит [5]: 75–80% энергии для нагревания воды на 30°C; 65–70% на 45°C и 55–60% на 60°C.

Характерное изменение производительности коллектора в зависимости от разницы температуры коллектора и окружающего воздуха приведено на рис. 60 [14]. Кривая 1 спра-

Т а б л и ц а 52. Основные характеристики некоторых коллекторов, выпускаемых в ЧССР [30]

Изготовитель и год изготовления	Коллектор	Размеры, мм	Площадь абсорбера, м <sup>2</sup>	Удельная масса, кг/м <sup>2</sup>	Удельный объем воды, л/м <sup>2</sup>	Тип абсорбера	Покрытие	Изоляция
SKD DUKLA (ЧКД Дукла) 1978	Радиаторные	1611 658 120	0,86	79,0	10,40	Стальной плоский отопительный прибор	2-слойное стекло 4 мм	Базальтовая вата 41 мм
ЛКОВ (ЛИКОВ) Либерец 1979	Трубчатые	1845 1070 107	1,72	55,6	0,56	Стальной трубчатый меандр на плите	2-слойное стекло 4+3 мм	Мягкая PU (ПУ) пена 40 мм
	Текстильные рукава	1875 1070 107	1,67	56,5	0,62	Параллельные трубки с полимерными пластинами	2-слойное стекло 4+3 мм	Мягкая PU (ПУ) пена 40 мм
	Флажковые	1845 1070 107	1,61	55,6	0,64	Параллельные стальные трубки с флажками	2-слойное стекло 4+3 мм	Мягкая PU (ПУ) пена 40 мм
OPS (ОПС) Кромнерж	СП 80/80 стекло	1570 670 80	0,86	30,2	0,93	Параллельные стальные трубки с флажками	1 слой стекла 5 мм	hPVC (ГПВЦ)
KOVENTA (КОВЕНТА) Деска Гршебова	Щелевые PUR (ПУР)	1590 640 80	0,93	47,3	2,42	Стальной плоский отопительный прибор	1 слой стекла 4 мм	PUR пена 40 мм
	Щелевые СЕД-ПС (СЕД-ПС)	1610 660 85	0,93	54,8	2,42	То же	1 слой стекла 4 мм	Базальтовая вата 20 мм, полистирен 20 мм

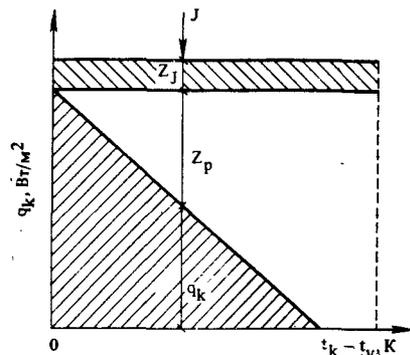


Рис. 59. Тепловой баланс коллектора

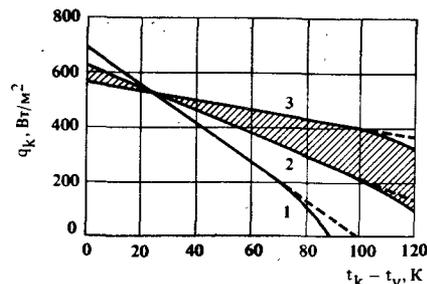


Рис. 60. Изменение производительности коллектора с расчетной мощностью  $800 \text{ Вт/м}^2$  [14]

ведлива для укрытия с одинарным простым остеклением, кривая 2 — для укрытий с двойным остеклением. Из рис. 60 хорошо видно также, что небольшая разница температуры коллектора и окружающего воздуха позволяет достигнуть значительной эффективности и при простейшем укрытии. Такое решение пригодно, например, для нагревания воды в бассейне при разнице температуры 25–30 К. Кривая 3 справедлива для очень эффективных коллекторов. Большая эффективность достигается за счет еще большего ограничения тепловых потерь коллектора, а именно за счет того, что абсорбер и теплоноситель находятся в вакууме. В этом случае возникает проблема обеспечения прочности, поэтому такие коллекторы имеют вид трубочек. Трубчатые коллекторы действуют эффективно при высокой эксплуатационной температуре. Они значительно чувствительней, чем плоские коллекторы. Приводятся данные [11], что коллекторы фирмы Philips (Филипс) работают летом при полностью затянутом тучами небосклоне с производительностью 20%.

Солнечное излучение является переменным во времени источником энергии. Для восполнения его недостатка в системе солнечного устройства включают аккумулятор теплоты.

Аккумулировать теплоту можно, используя твердый или жидкий теплоноситель. Можно также использовать фазовое изменение состояния некоторых веществ. Выбор теплоносителя в системах аккумулирования зависит обычно от характера процесса использования солнечной энергии. При нагреве воды, естественно, для аккумуляции применяется теплая вода. Если же в коллекторах нагревается воздух, то выгодно сохранение теплоты в щебеночном аккумуляторе. Преи-

муществом этих способов аккумуляции является их легкая реализация, недостатком — малая аккумулирующая способность и в связи с этим большие размеры устройств. С этой точки зрения наиболее эффективна аккумуляция теплоты с использованием различных эвтектических смесей (табл. 53). Недостатком этого способа аккумуляции является пока слишком высокая его стоимость.

Т а б л и ц а 53. Примеры эвтектических смесей, рекомендуемых для аккумуляции солнечной энергии [9]

Состав смеси, %	Температура плавления, °С	Аккумулируемая теплота, кДж/кг
$\text{CaCl}_2 - \text{MgCl}_2 - \text{H}_2\text{O}$ 41 — 10 — 49	25	175
Ацетамид-кислота стеариновая 17 — 83	65	218
Мочевина $\text{NH}_4\text{NO}_3$ 45,3 — 54,7	46	172

Одной из неблагоприятных проблем при аккумуляции теплоты являются тепловые потери аккумулятора, которые можно значительно снизить, если аккумулятор разместить внутри здания.

Один из таких проектов [25] основан на следующих принципах: основным источником энергии является электроэнергия, потребляемая ночью; теплота, получаемая за счет электроэнергии ночью и от солнечной энергии днем, аккумулируется водой; накопительная емкость с водой размещается в вертикальном положении и по возможности в середине отапливаемого здания, чтобы теплота, излучаемая с поверхности емкости, использовалась для обогрева пространства вокруг него; емкость проходит через все здание от фундамента до плоской крыши, где заканчивается крышкой с тепловой изоляцией; емкость может быть выполнена из бетона, стали или слоистого пластика; ее внутренний объем из расчета 1–1,3 м<sup>3</sup> на 10 м<sup>2</sup> отапливаемой площади, а внутренний диаметр должен быть не менее 80 см.

Элементами солнечного устройства могут также являться: циркуляционные насосы, регуляторы контура коллектора, емкости под давлением, обменники, расширительные баки и др.

На рис. 61 дана схема устройства для системы ГВ, на рис. 62 — комбинированное устройство для системы ГВ и отопления.

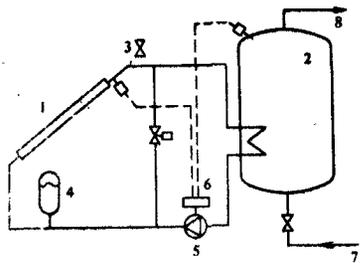


Рис. 61. Схема устройства для системы горячего водоснабжения (ГВ) [5]

1 — коллектор; 2 — накопительная емкость системы ГВ; 3 — воздухоотделительный вентиль; 4 — расширительный бак; 5 — циркуляционный насос; 6 — регулятор; 7 — подвод холодной воды; 8 — выход теплой воды

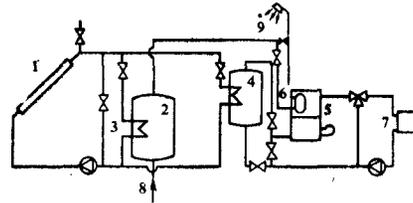


Рис. 62. Схема комбинированного устройства для отопления и горячего водоснабжения [5]

1 — коллектор; 2 — накопительная емкость системы ГВ; 3 — теплообменник; 4 — накопительная емкость системы отопления; 5 — котел; 6 — дополнительный нагреватель хозяйственной воды; 7 — отопительная система; 8 — подвод холодной воды; 9 — отвод теплой хозяйственной воды

Для индивидуальных домов комплексное изготовление системы солнечного оборудования для системы ГВ производит Чехословацкий союз кооперативных обществ. В этом принимают участие общества-изготовители: Likov (Ликов), г. Либерец; Inklemo (Инклемо), г. Прага; Slokov (Слоков), г. Годонин; Elko (Элко), г. Книн и Druopol (Друпол), г. Прага, названные "Кооперативная система солнечного оборудования". Незамерзающую жидкость будет поставлять Hlubna (Глубна), г. Брно. Система имеет шесть коллекторов, накопительную емкость объемом 500 л с теплообменником и циркуляционный насос с регулятором. Общество OPS (ОПС), г. Кромнержж, комплектует системы для общественных зданий, зданий здравоохранения и отдыха, а также для сельскохозяйственных объектов. Изготовителем и поставщиком больших систем с площадью коллекторов 50—100 м<sup>2</sup> является SKD Dukla (ЧКД Дукла), г. Прага.

Другой возможностью эффективного использования солнечной энергии является применение теплового насоса, который передает теплоту за счет механической работы (рис. 63). Испаритель 1 погружен в источник теплоты, циркулирующее вещество (холодильный агент) отбирает необходимую теплоту для собственного испарения. Пары холодильного агента засасываются компрессором 2 и сжимаются до такого давления, при котором достигается требуемая температура. В конденсаторе 3 сжатые пары конденсируются и жидкий холодильный агент перетекает через дроссельный клапан 4 опять в испаритель.

Источником теплоты может быть грунтовая или речная вода, атмосферный воздух, земля, воздух, отводимый из здания, и т.п. В качестве холодильного агента применяют, например, фреон марки R 12, R 22, R 502.

Фактор, который характеризует энергетическую эффективность, т.е. отношение полученной и использованной энергии, выражается величиной

$$\epsilon = \eta \frac{T_2}{T_2 - T_1}, \quad (42)$$

где  $\eta$  — коэффициент полезного действия (кпд) двигателя компрессора и циркуляционной системы;  $T_2$  — температура вещества после сжатия — на выходе, К;  $T_1$  — температура вещества перед сжатием — на входе, К.

Эффект, полученный от передачи теплоты, тем больше, чем меньше разница температуры на входе и выходе.

Если компрессор приводится в действие электроэнергией, которая выработана с эффективностью 25—35%, то тепловой насос энергетически выгоден, если фактор  $\epsilon$  имеет значение 3—4.

Комбинация системы солнечного оборудования с тепловым насосом (рис. 64) имеет следующие преимущества: тепловой насос можно применить и для коллекторов малой энергетической производительности при пасмурной погоде, которой бы одной было недостаточно для отопления; отбор теплоты из первичного контура коллектора сопровождается охлаждением теплоносителя, тем самым увеличивается эффективность коллекторов. Недостатком является значительная стоимость.

Системы солнечного оборудования изменяют архитектуру дома, поэтому их установка должна решаться по согласованию с соответствующими архитектурными органами. Для снижения капитальных затрат коллекторы выгодно устраивать так, чтобы они были частью строительных конструкций. Однако для этого необходим соответствующий уклон кровли, благоприятный для установки солнечного оборудования, лучше с ориентацией на юг. Самостоятельное размещение коллекторов дороже, чем расположение их в пределах строительных конструкций; однако его достоинством является легкий подход к коллекторам и независимость от здания.

В настоящее время наиболее выгодно использовать солнечную энергию для индивидуальных домов (используемых для постоянного проживания), так как они имеют достаточную площадь кровли, где размещается необходимое количество коллекторов. При неблагоприятной ориентации и при уклоне кровли, не отвечающей необходимым требованиям установки солнечного оборудования, можно разместить коллекторы

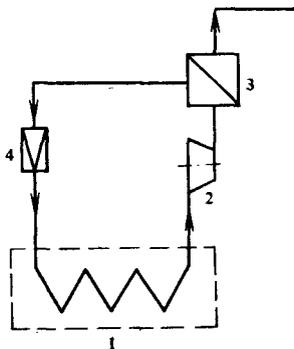


Рис. 63. Схема работы теплового насоса

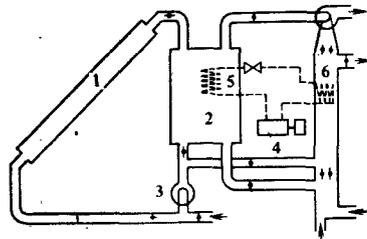


Рис. 64. Комбинация теплового насоса с солнечным устройством [9]  
1 — коллектор; 2 — накопительная емкость; 3 — вентилятор; 4 — тепловой насос; 5 — испаритель; 6 — конденсатор

возле здания. Важно также, что низкоэтажная застройка может быть обеспечена теплотой от центрального источника только при больших капитальных затратах.

Использование солнечного оборудования для системы ГВ и особенно для отопления будет требовать новых подходов к решению строительных конструкций и внутренней планировки зданий. Речь идет о значительном улучшении тепло-технических свойств строительных конструкций по сравнению с современным уровнем, в том числе и о прочностных решениях конструкций и т.п. Специального рассмотрения требует размещение аккумулирующей емкости, а также конструкция пола, если он используется для обогрева помещения.

При определении энергетической и экономической эффективности использования солнечного излучения необходимо исходить из условия получения нужного эффекта при тепло-снабжении за счет солнечного излучения одной квартиры или другой сравниваемой единицы.

Месячная потребность теплоты на квартиру принятого объема приведена в табл. 54. В табл. 55 приведена тепловая энергия, полученная за счет солнечного излучения. При вычислении значений в табл. 54 приняты теплотери одной квартирой 4430 Вт и потребность теплоты для системы ГВ производительностью 300 л/сут при температуре 45°C. В табл. 55 приведена тепловая энергия, полученная за счет солнечного излучения при применении плоского коллектора при нагреве теплоносителя до температуры 50°C. Значения даны для 50° с.ш., коэффициента загрязнения  $Z = 3$  и для коллектора с двумя стеклами.

Таблица 54. Месячная потребность в теплоте на квартиру объемом 200 м<sup>3</sup>

Месяцы	Средняя температура наружного воздуха $t_{es}$ , °C	Количество градусной	Потребность теплоты для отопления, кВт·ч.	Потребность теплоты для системы ГВ при $t = 45^{\circ}\text{C}$	Суммарная потребность теплоты, кВт·ч
X	9,4	262	716	366	1082
XI	3,2	438	1198	366	1564
XII	-0,2	564	1542	366	1908
I	-1,5	605	1654	366	2020
II	0,0	504	1378	366	1744
III	3,2	459	1255	366	1621
IV	8,8	276	755	366	1121
V	13,6	—	—	366	366
VI	17,3	—	—	366	366
VII	19,2	—	—	366	366
VIII	18,6	—	—	366	366
IX	14,9	—	—	366	366

Всего за год — — 8498 4392 12 890

В табл. 56—58 приведен расход энергии для квартиры за счет солнечного излучения при принятой площади коллектора: 5, 10, 15 и 20 м<sup>2</sup>. В табл. 56—58 использованы данные табл. 54 и 55 при наклоне коллектора на 60°. Табл. 56 дана для системы ГВ, табл. 57 — для системы ГВ и отопления, табл. 58 — для системы ГВ и отопления с применением теплового насоса. На основе приведенных в таблицах данных были установлены срок окупаемости затраченных средств и годовая экономия энергии.

Были учтены следующие основные данные: а) средняя стоимость солнечного оборудования, отнесенная к 1 м<sup>2</sup> коллектора, в трех вариантах: 1500, 2125 и 3000 крон/м<sup>2</sup>; б) срок службы солнечного оборудования 20 лет; в) амортизационные отчисления принимаются 5%; г) стоимость энергии в пересчете на электроэнергию принимается: для общественно необходимых затрат (ОНЗ) 1,15 крон/(кВт·ч), для оптовых цен (ОЦ) 0,33 крон/(кВт·ч); д) потребность энергии для системы ГВ 3,600 МВт·ч/г; е) потребность энергии на отопление квартиры объемом 200 м<sup>3</sup> 8,35 МВт·ч/г.

Вычисление времени амортизации единовременных капитальных затрат было проведено четырьмя разными способами [20, 48, 53]:

1) как часть единовременных капитальных затрат и годовой экономии энергии, крон/г., при учете двух значений стоимости

Т а б л и ц а 55. Тепловая энергия, полученная от солнечного излучения

Ме-ся-цы	Наклонный коллектор под углом 30°, $Q_s, rok = 1031 \text{ кВт ч/м}^2$		Наклонный коллектор под углом 60°, $Q_s, rok = 975,6 \text{ (кВт ч)/м}^2$		$U_k = q_k / str$	$Y_{sfs}$ Вт/м <sup>2</sup>	$\epsilon_k$ Вт/м <sup>2</sup>	$U_k = q_k / Y_{sfs} q_k, \text{ мес}$ кВт·ч/м <sup>2</sup>
	средняя интенсивность солнечного излучения	удельный тепловой поток, получаемый в коллекторе	производительность коллектора	энергия, полученная за месяц				
	$J_{str}$ Вт/м <sup>2</sup>	$q_k$ Вт/м <sup>2</sup>	$U_k = q_k / str$	$q_k, \text{ мес}$ кВт·ч/м <sup>2</sup>	$Y_{sfs}$ Вт/м <sup>2</sup>	$\epsilon_k$ Вт/м <sup>2</sup>	$U_k = q_k / Y_{sfs} q_k, \text{ мес}$ кВт·ч/м <sup>2</sup>	
I	379	124	0,33	6,0	476	211	0,45	10,2
II	475	235	0,50	19,8	559	310	0,55	26,1
III	536	304	0,57	47,5	582	345	0,60	53,9
IV	586	375	0,64	68,8	545	337	0,61	61,8
V	635	443	0,70	107,0	539	356	0,66	86,0
VI	648	473	0,73	118,0	551	384	0,69	95,9
VII	635	468	0,74	117,5	539	381	0,70	95,3
VIII	586	422	0,72	96,0	545	384	0,70	89,9
IX	536	360	0,67	67,4	582	401	0,69	75,1
X	475	280	0,59	29,3	559	355	0,63	37,2
XI	379	164	0,44	7,6	476	251	0,53	11,6
XII	321	83	0,26	2,7	238	158	0,39	5,0
Всего за год			$Q_k, rok = 687,6$				$Q_k, rok = 649$	

Т а б л и ц а 56. Возможное покрытие потребности в теплоте для системы ГВ

Ме-ся-цы	Площадь коллекторов на одну квартиру, м <sup>2</sup>							
	5		10		15		20	
	полу-чено, кВт·ч	еще не-обхо-димо, кВт·ч	полу-чено, кВт·ч	еще не-обхо-димо, кВт·ч	полу-чено, кВт·ч	еще не-обхо-димо, кВт·ч	полу-чено, кВт·ч	еще не-обхо-димо, кВт·ч
I	51	315	102	264	153	213	204	162
II	130	236	261	105	366	0	366	0
III	270	96	366	0	366	0	366	0
IV	309	57	366	0	366	0	366	0
V	366	0	366	0	366	0	366	0
VI	366	0	366	0	366	0	366	0
VII	366	0	366	0	366	0	366	0
VIII	366	0	366	0	366	0	366	0
IX	366	0	366	0	366	0	366	0
X	186	180	366	0	366	0	366	0
XI	58	308	116	250	174	192	232	134
XII	25	341	50	316	75	291	100	266
Все-го за год, кВт·ч	2859	1533	3457	935	3696	696	3830	562
%	65,9	34,1	76,7	21,3	84,1	15,9	87,2	12,8

Т а б л и ц а 57. Возможное покрытие потребности в теплоте для системы ГВ и отопления

Ме-ся-цы	Площадь коллекторов на одну квартиру, м <sup>2</sup>							
	5		10		15		20	
	полу-чено, кВт·ч	еще не-обхо-димо, кВт·ч	полу-чено, кВт·ч	еще не-обхо-димо, кВт·ч	полу-чено, кВт·ч	еще не-обхо-димо, кВт·ч	полу-чено, кВт·ч	еще не-обхо-димо, кВт·ч
I	51	1969	102	1918	153	1867	204	1816
II	130	1614	261	1483	391	1353	522	1222
III	270	1351	539	1082	808	813	1078	543
IV	309	812	620	503	927	194	1121	0
V	366	0	366	0	366	0	366	0
VI	366	0	366	0	366	0	366	0
VII	366	0	366	0	366	0	366	0
VIII	366	0	366	0	366	0	366	0
IX	366	0	366	0	366	0	366	0
X	186	180	366	0	366	0	366	0
XI	58	308	116	250	174	192	232	134
XII	25	341	50	316	75	291	100	266
Всего за год								

Месяцы	Площадь коллекторов на одну квартиру, м <sup>2</sup>								
	5		10		15		20		
	получено, кВт·ч	еще необходимо, кВт·ч	получено, кВт·ч	еще необходимо, кВт·ч	получено, кВт·ч	еще необходимо, кВт·ч	получено, кВт·ч	еще необходимо, кВт·ч	
IX	366	0	366	0	366	0	366	0	
X	186	896	366	716	558	524	744	338	
XI	58	1506	116	1448	174	1390	232	1332	
XII	25	1883	50	1858	75	1833	100	1808	
Всего за год,	кВт·ч	2859	10031	3882	9008	4724	8166	5831	7059
%		22,2	77,8	30,1	69,9	36,6	63,4	45,2	54,8

Таблица 58. Возможное покрытие потребности в теплоте для системы ГВ и отопления при использовании теплового насоса

Месяцы	Площадь коллекторов на одну квартиру, м <sup>2</sup>								
	5		10		15		20		
	получено, кВт·ч	еще необходимо, кВт·ч	получено, кВт·ч	еще необходимо, кВт·ч	получено, кВт·ч	еще необходимо, кВт·ч	получено, кВт·ч	еще необходимо, кВт·ч	
I	97	1923	194	1826	291	1729	388	1632	
II	211	1533	422	1322	633	1111	844	900	
III	418	1203	837	784	1255	366	1621	0	
IV	485	636	970	151	1121	0	1121	0	
V	366	0	366	0	366	0	366	0	
VI	366	0	366	0	366	0	366	0	
VII	366	0	366	0	366	0	366	0	
VIII	366	0	366	0	366	0	366	0	
IX	366	0	366	0	366	0	366	0	
X	423	639	846	236	1082	0	1082	0	
XI	102	1462	204	1360	306	1238	408	1156	
XII	54	1854	109	1799	163	1745	218	1690	
Всего за год,	кВт·ч	3620	9270	5412	7478	6681	6209	7512	5378

Месяцы	Площадь коллекторов на одну квартиру, м <sup>2</sup>							
	5		10		15		20	
	получено, кВт·ч	еще необходимо, кВт·ч	получено, кВт·ч	еще необходимо, кВт·ч	получено, кВт·ч	еще необходимо, кВт·ч	получено, кВт·ч	еще необходимо, кВт·ч
%	28,1	71,9	41,9	58,1	51,8	48,2	58,5	41,7
Потребность энергии для привода теплового насоса, кВт·ч	431	—	765	—	979	—	840	—

Чистое покрытие потребности, %	3189	24,7	4647	36,1	5702	44,2	6672	51,8
--------------------------------	------	------	------	------	------	------	------	------

энергии, а именно общественно необходимых затрат (ОНЗ) и оптовых цен (ОЦ);

2) с учетом приведенных затрат на современной основе (для  $r = 1,05$ );

3) с учетом приведенных затрат и годовых отчислений от стоимости солнечного оборудования;

4) с учетом времени амортизации на основе годовых отчислений в размере 5%.

Результаты расчета времени амортизации капитальных затрат (при учете трех стоимостных вариантов цены приобретения солнечного оборудования) приведены в табл. 59.

В табл. 60 на тех же принципах установлен срок окупаемости капитальных затрат на солнечное оборудование, включая стоимость теплового насоса.

Из анализа окупаемости единовременных капитальных затрат на солнечное оборудование следует (табл. 59 и 60), что с увеличением площади коллекторов срок окупаемости увеличивается. Для общественно необходимых затрат [1150 крон/

Т а б л и ц а 59. Срок окупаемости единовременных затрат на потребление солнечного оборудования для системы ГВ и отопления (к 1980 г.)

	5	10	15	20
1 Площадь сечения коллектора, м <sup>2</sup> /квартира				
2 Единовременные затраты на приобретение солнечного оборудования, тыс. крон	7,5 10,625 15,0 15,0 21,25 30,0 22,5 31,875 45,0 30,0 42,5 60,0			
3 Годовая экономия энергии, МВт/ч	— 2,506 — — 2,981 — — 3,144 — — 3,284 —			
4а Годовая экономия энергии, крон, при учете ОНЗ 1150 крон/МВт/ч	— 2882 — — 3429 — — 3616 — — 3778 —			
4б Годовая экономия энергии, крон, при учете ОЦ 330 крон/МВт/ч	— 827 — — 984 — — 1038 — — 1038 —			
5а Срок окупаемости при учете ОНЗ (см. 4а), г.	2,6 3,7 5,2 4,4 6,2 8,7 6,2 8,8 12,4 7,9 11,2 15,9			
5б Срок окупаемости при учете ОЦ (см. 4б), г.	9,1 12,8 18,1 15,2 21,6 30,5 21,7 30,7 43,4 27,7 39,0 55,5			

6а Срок окупаемости при учете годовой экономии энергии ( $r = 1,05, n = 20$  лет), ОНЗ, г

6б То же, ОЦ (см. 4б), г.

7 Срок окупаемости при учете годовой экономии энергии и годовых отчислений ( $r = 1,05, n = 20$  лет) ОНЗ, г.

8 Все приведенные расходы при 5%-ной ссуде, крон

8а Срок окупаемости при учете уловий в строке 8, г.

Срок окупаемости единовременных затрат больше 100 лет

Т а б л и ц а 60. Срок окупаемости единовременных затрат на приобретение солнечного оборудования с тепловым насосом для системы ГВ и отопления (к 1980 г.)

	5	10	15	20
1 Площадь сечения коллектора, м <sup>2</sup> /квартира				
2 Единовременная цена солнечного оборудования, включая стоимость теплового насоса, тыс. крон	30,5 42,5	60,0 60,0 85,0	120,0 90,0 127,5	180 120,0 170,0 240,0
3 Годовая экономия энергии, МВт·ч	— 2,908	— — 4,305	— — 5,396	— — 6,079
4а Годовая экономия энергии, крон, при учете ОНЗ 1150 крон/МВт·ч	— 3344	— — 4951	— — 6205	— — 6991
4б Годовая экономия энергии, крон, при учете ОЦ 330 крон/МВт·ч	— 960	— — 1421	— — 1781	— — 2006
5а Срок окупаемости при учете ОНЗ (см. 4а), г.	9,0 12,7	17,9 12,1 17,2	24,2 14,5 20,5	29,8 17,2 24,3 34,0
5б Срок окупаемости при учете ОЦ (см. 4б), г.	31,0 44,3	62,5 42,2 59,8	84,4 50,5 71,5	х 59,8 84,7 х
6а Срок окупаемости при учете годовой экономии энергии (r = 1,05, n = 20 лет), ОНЗ, г. (см. 4а), г.	12,5 22,5	47,5 18,5 42,5	х 27,0 х	х 42,5 х х
6б То же, ОЦ (см. 4б), г.	х х х	х х х	х х х	х х х х
7 Срок окупаемости при учете годовой экономии и годовых отчислений (r = 1,05, n = 20 лет) ОНЗ, г.	35 х	х х х	х х х	х х х х
8 Все приведенные расходы при 5%-ной ссуде, крон	2066 2926	4131 4131 5852	8262 6197 8778	12393 8262 11705 16524
9 Срок окупаемости при условии в строке 8, г.	14,5 14,5	14,5 14,5 14,5	14,5 14,5 14,5	14,5 14,5 14,5 14,5
Срок окупаемости единовременных затрат более 100 лет				

/(МВт·ч)] этот срок колеблется от трех (при площади коллектора 5 м<sup>2</sup>) до 22 лет (при площади коллектора 20 м<sup>2</sup>) в зависимости от принятого способа вычисления.

При применении оптовых цен срок окупаемости одновременных капитальных затрат значительно больше и при норме годового отчисления на амортизацию превышает предполагаемое время физического срока эксплуатации оборудования — 20 лет.

Для солнечного оборудования с тепловыми насосами при учете разных цен (см. табл. 60) срок окупаемости преимущественно больше, чем время физического срока эксплуатации оборудования.

Из приведенного расчета также следует, что в настоящее время использование солнечной энергии рентабельно для площади коллекторов до 10 м<sup>2</sup>, т.е. в основном для систем ГВ. Применение тепловых насосов пока что неэффективно.

Вопрос эффективности использования солнечной энергии, однако, нужно понимать как открытую проблему. Развитие техники приводит постоянно к совершенствованию оборудования, создаются условия для массового изготовления элементов этого оборудования и тем самым к снижению их отпускной цены. Общественно необходимые затраты на получение энергии, например на покупку топлива, постоянно увеличиваются, что расширяет возможности применения систем солнечного оборудования.

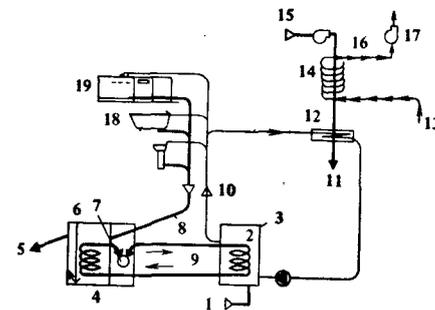
**Утилизация теплоты.** Экономия топлива и энергии при нагревании бытовой воды и отопления можно получить за счет использования теплоты воды и вентиляционного воздуха. В последнем случае для этих целей используются теплообменники, которые монтируются на воздуховодах с целью передачи теплоты удаляемого из помещений воздуха приточному воздуху. Приводятся [22] данные, что потери теплоты при этом можно уменьшить на 60% (табл. 61). Самые новые рекуперативные теплообменники используют тепловые трубки и тепловой насос (рис. 65). Сбросные воды собирают в емкость, из которой насос получает теплоту и нагревает бытовую воду до 45°C, одновременно подогревается приточный вентиляционный воздух примерно на 6°C.

**Здания с низким потреблением энергии.** В настоящее время проектируются дома с отличной тепловой изоляцией, снабженные оборудованием для использования солнечного излучения, теплоты сбросной бытовой воды и вентиляционного воздуха, в том числе с использованием теплового насоса. Все это уменьшает до минимума потребление энергии для нагревания бытовой воды и отопления. О таких домах говорят, как о домах с нулевой потребностью в энергии.

Например, в Дании в 1975 г. был построен дом с двумя жилыми секциями площадью каждая 60 м<sup>2</sup>, между которыми

Рис. 65. Схема использования теплоты сбросных бытовых вод и вентиляционного воздуха [22]

1 — подвод воды; 2 — подогреватель ГВ; 3 — емкость; 4 — рекуператор; 5 — к главному коллектору сбросной воды; 6 — сбросная вода после рекуперации; 7 — компрессор, работающий как тепловой насос; 8 — теплая сбросная вода (25–30°C); 9 — передача теплоты; 10 — горячая бытовая вода; 11 — прогретый наружный воздух; 12 — подогреватель наружного воздуха; 13 — воздух, отбираемый из помещений; 14 — рекуператор; 15 — наружный воздух; 16 — вентилятор; 17 — система вытяжной вентиляции; 18 — ванная; 19 — кухня



размещается атриум площадью 70 м<sup>2</sup>. Атриум не отапливается (только защищен от воздействия ветра и дождя) и может быть использован во время большей части года как дополнительное жилое пространство. На крыше атриума расположены солнечные коллекторы площадью 42 м<sup>2</sup>, которые соединены трубами с хорошо изолированной емкостью объемом 30 000 л, расположенной в земле вне атриума. Стены дома выполнены из специальных панелей с тепловой изоляцией из слоя минеральной ваты толщиной 30 см и коэффициентом теплопередачи  $k = 0,13 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ . Потолок и пол изолированы слоем минеральной ваты толщиной 40 см.

Двойные окна [коэффициент теплопередачи  $k = 3,1 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{хК})$ ] площадью 20 м<sup>2</sup> в ночное время закрываются специаль-

Т а б л и ц а 61. Потребление энергии семьей из четырех человек [22]

Теплопотери	Средний дом, МВт·ч/г.	Хорошо изолированный дом, МВт·ч/г.	Экспериментальный дом, МВт·ч/г.	Экономия	
				МВт·ч/г.	%
Через стены, пол, потолок	32,56	12,68	3,52	29,04	89,2
Через окна	10,0	5,58	9,13	0,87	0,9
За счет проветривания	7,05	7,05	2,06	4,99	70,8
<b>Всего</b>	<b>49,61</b>	<b>25,31</b>	<b>14,71</b>	<b>34,90</b>	<b>70,3</b>

ными ставнями так, что коэффициент теплопередачи в это время снижается до  $0,40 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ . Окна и стыки панелей должны быть воздухопроницаемы: в соответствии с проектом принимается, что воздухопроницаемость стыков и швов будет не более  $0,1 \text{ м}^3/(\text{ч} \cdot \text{м})$ . Максимальное значение общей воздухопроницаемости принимается  $7,5 \text{ м}^3/\text{ч}$ , т.е. при общем объеме  $300 \text{ м}^3$  воздухообмен за счет неплотностей составляет  $0,66 \text{ л}/\text{ч}$ .

Подача свежего воздуха обеспечивается самостоятельно регулируемой вентиляционной системой производительностью  $200 \text{ м}^3/\text{ч}$ , которая гарантирует воздухообмен  $0,66 \text{ л}/\text{ч}$ .

Дом отапливается радиаторами, через которые протекает вода, нагретая за счет солнечного излучения. Радиаторы снабжены индивидуальными регуляторами. Циркуляция воды в системе происходит только днем. Оборудование запроектировано таким образом, чтобы при нормальных климатических условиях оно обеспечивало полную потребность в теплоте для отопления и получения горячей бытовой воды. В среднем за отопительный сезон (приблизительно 200 дней) оборудование может саккумулировать  $7,3 \text{ МВт} \cdot \text{ч}$ : 30% расходуется на отопление ( $2,2 \text{ МВт} \cdot \text{ч}$ ), 30% — на приготовление горячей бытовой воды ( $2,2 \text{ МВт} \cdot \text{ч}$ ) и 40% — на теплопотери системой и аккумулирующей емкостью ( $2,9 \text{ МВт} \cdot \text{ч}$ ) [28].

Другой экспериментальный дом с использованием солнечной энергии для отопления был построен в Швеции [43]. Это индивидуальный деревянный дом с обычной планировкой и обычными ограждающими конструкциями, только с улучшенной тепловой изоляцией. Дом построен таким образом, чтобы за счет солнечного излучения, проходящего через окна на южном фасаде, была достигнута максимальная экономия энергии на отопление.

Для наружных панелей была принята тепловая изоляция из минеральной ваты толщиной  $19 \text{ см}$  [коэффициент теплопередачи  $k = 0,23 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ ], конструкция кровли имела тепловую изоляцию толщиной  $30 \text{ см}$  [коэффициент теплопередачи  $k = 0,19 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ ]. Коэффициент теплопередачи пола был  $k = 0,19 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ . Окна на южном фасаде общей площадью  $18 \text{ м}^2$  не открываются, имеют остекление из четырех стекол и коэффициент теплопередачи  $1,5 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ . Остальные окна с тройным остеклением имеют коэффициент теплопередачи  $2,0 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$  и открываются.

Дом имеет электрическое отопление, которое автоматически отключается, если под воздействием солнечного излучения температура воздуха в помещении возрастает выше установленного уровня. Расчетная годовая потребность теплоты экспериментального дома составляет  $16,3 \text{ МВт} \cdot \text{ч}$ : на электрическое отопление в промежутке сентябрь — май приходится  $6,9 \text{ МВт} \cdot \text{ч}$ , на получение теплоты от бытовых источников (люди, прибор-

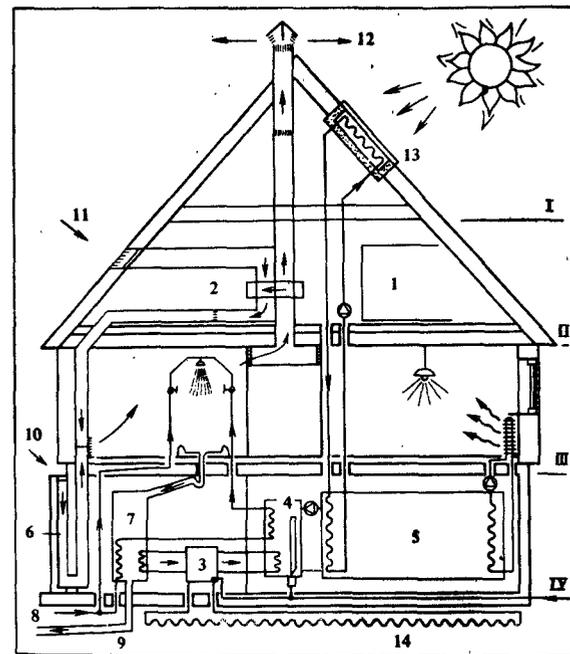


Рис. 66. Схематическое изображение устройства для использования солнечного излучения, сбросной теплоты бытовой воды и вентиляционного воздуха в комбинации с тепловым насосом [24]

1 — оборудование для регулирования; 2 — рекуператор; 3 — тепловой насос; 4 — емкость; 5 — накопительная емкость; 6 — теплообменник; 7 — емкость; 8 — подвод воды; 9 — отвод воды; 10 и 11 — свежий воздух; 12 — удаление вентиляционного воздуха; 13 — солнечный коллектор; 14 — испаритель теплового насоса в земле (площадь  $139 \text{ м}^2$ )

ры электрические и т.п.)  $3,3 \text{ МВт} \cdot \text{ч}$ , теплоты от солнечного излучения  $6,1 \text{ МВт} \cdot \text{ч}$ , т.е. 37% всей потребности.

Другой дом с низким потреблением энергии на отопление, использующий солнечную радиацию, был построен в Швейцарии (в Альпах) [40]. Этот экспериментальный объект состоит из двух квартир жилой площадью  $200 \text{ м}^2$ , из двух квартир жилой площадью  $150 \text{ м}^2$  и одной квартиры жилой площадью  $100 \text{ м}^2$ . Площадь солнечного коллектора равна  $100 \text{ м}^2$ . Аккумулирующая емкость имеет объем  $225 \text{ 000 л}$ . Коэффициент теплопередачи наружных стен равен:  $k = 0,45 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ . Потребление теплоты на отопление и приготовление горячей бытовой воды для всего объекта —  $60,8 \text{ МВт} \cdot \text{ч}/\text{г}$ . (за отопительный период 1975/1976 г.):  $41,1 \text{ МВт} \cdot \text{ч}$  для отопления

и 19,7 МВт·ч для нагрева бытовой воды. Из всей потребляемой энергии на солнечную приходится 43,5 МВт·ч, т.е. 72%, на электрическую — 17,3 МВт·ч, т.е. 28%.

Комплексное оборудование для использования солнечного излучения и сбросной теплоты с применением теплового насоса имеет также экспериментальный дом фирмы Philips (Филипс) (рис. 66). Он оборудован солнечными коллекторами. Тепловой насос получает теплоту хозяйственной воды, собранной в емкости, и из испарителя длиной 400 м, выполненного из пластмассы. Испаритель расположен в земле на глубине 1 м. Теплота от сбросной воды и грунта подается в накопительную емкость бытовой воды. Энергия солнечного излучения аккумулируется в накопительной емкости, откуда поступает для отопления дома. Потребность в теплоте для этого экспериментального дома приведена в табл. 61, там же приведена потребность в теплоте для средне- и хорошо изолированных домов.

## 2.9. ОТНОШЕНИЕ ЛЮДЕЙ К ПРОБЛЕМЕ ЭКОНОМИИ ЭНЕРГИИ

При решении проблемы рационального использования топлива и энергии для отопления зданий очень важно отношение к ней людей, пользующихся зданием, квартирой, помещением.

Теплотехнические свойства строительных конструкций и здания могут быть высокого качества, подвод энергии в здание может быть регулируемым с максимально возможной точностью и, несмотря на это, предполагаемая цель может быть не достигнута. Конечный результат зависит от потребителя. Комплекс мер может привести к противоположному результату или результат будет основательно обесценен уже, например, тем, что долго проветривается помещение или остаются открытыми или полуоткрытыми окна (форточки), при этом подачу энергии в помещение потребитель не прекращает.

Иная проблема, в которой важна роль потребителя, возникает, если в помещении находится несколько человек и из-за этого трудно установить определенный тепловой режим помещения. Причиной является индивидуальная реакция на тепловой режим. Напомним, что за нормальные условия при проектировании теплотехнических свойств строительных конструкций и зданий и при выборе отопительного оборудования принимаются условия, которые исходят из предположения нормального (среднего) человека, который характеризуется определенной высотой и массой (см. разд. 1). Часть людей не соответствует этой норме, поэтому могут быть недовольные нормальным тепловым режимом помещения. Проблема может

быть решена за счет использования изоляционной способности одежды для корректировки разницы благоприятного или неблагоприятного самочувствия.

Изоляционная способность одежды характеризуется приведенным коэффициентом теплопередачи  $k_r$ , Вт/(м<sup>2</sup>·К), определяемым по формуле

$$k_r = \frac{1}{R + 1/a}, \quad (43)$$

где  $R$  — термическое сопротивление одежды, м<sup>2</sup>·К/Вт;  $a$  — коэффициент теплообмена между воздухом и поверхностью одежды, Вт/(м<sup>2</sup>·К).

Изоляционная способность одежды тем выше, чем больше ее термическое сопротивление (чем меньше приведенный коэффициент теплопередачи).

Термическое сопротивление одежды зависит от теплопроводности ткани, ее толщины, особенно от количества воздуха, заключенного в волокнах ткани и между отдельными слоями многослойной одежды. На рис. 67 показано, что количество слоев одежды изменяется при разной температуре воздуха в помещении: при 25°C достаточно один или два слоя, при 20°C — три слоя и при 15°C необходимо пять слоев. За нормальную принимается одежда человека, состоящая из нижнего белья, рубашки, пуловера, короткого пиджака и брюк. Такая одежда имеет от 2 1/2 до 2 3/4 слоев ткани (в пиджаке считают два слоя ткани: подкладка и сам материал пиджака) [38].

В настоящее время считается необходимым проводить воспитательную работу среди всех потребителей энергии, в том числе людей, проживающих в квартирах. Энергетическая пропаганда и энергетическая просветительская деятельность в стране находится на достаточно высоком уровне. Однако в области потребления теплоты предлагаемые меры учитываются более сложно, чем другие источники потребителям энергии (например, освещение). Зажженные лампочки (источники освещения) видны, а поэтому легче устранить излишества. Теплота и тепловые потери непосредственно не видны, поэтому более интенсивно и целенаправленно необходимо воспитывать у людей правильное отношение к рациональному использованию энергии для отопления зданий.

Другим важным средством являются хозяйственная и финансовая заинтересованность людей от достигнутой экономии теплоты, особенно в квартирах, снабжаемых теплотой от центрального источника, т.е. от блочных котельных и др. Пока что в большинстве случаев плата за потребляемую теплоту для отопления квартир производится оптовым способом, при котором решающим является только общая площадь квартиры.

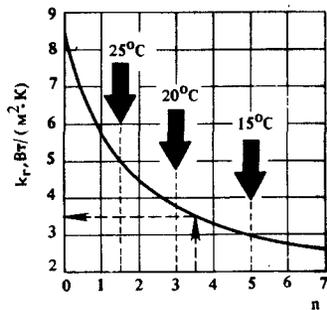


Рис. 67. Зависимость приведенного коэффициента теплопередачи  $k_z$  от количества слоев  $n$  одежды (0 — без одежды)

Зарубежный опыт, а также опыт ЧССР, подтверждают, что измерительный контроль потребляемой теплоты может привести к уменьшенному потреблению энергии на отопление на 20–30% по отношению к потреблению без ее измерения. При этом необходимо решить две основные проблемы: способ измерения и определение цены за потребляемую теплоту.

Качество измерения зависит от точности и надежности прибора. Это не единственная задача, так как к прибору предъявляются существенные требования [7]. Он должен: точно измерять и при принудительном движении окружающего воздуха; быть чувствительным даже при малых изменениях измеряемой величины; иметь достаточно низкую цену; легко монтироваться, иметь надежную эксплуатацию и минимальные затраты на ремонт; не реагировать на внешние воздействия; не иметь никаких вспомогательных источников энергии; иметь небольшие размеры.

В ЧССР был разработан универсальный измеритель теплоты САЛОМ (ЦАЛОМ). В основе прибора — принцип измерения количества выделенной ртути, которое определяется путем отсчета по градуированной шкале.

Способ оплаты за расходуемую теплоту приносит также некоторые проблемы потому, что измеренное количество теплоты в данной квартире не дает возможности судить о всем ее количестве, подаваемом от теплоисточника. Теплота, подаваемая в квартиру от источника, теряется в разводящей сети; в стояках, подводках к отопительным приборам, поэтому потребители должны заплатить и за эту теплоту.

Следующая проблема состоит в том, что квартиры имеют разные тепловые потери. Угловые квартиры на последних этажах могут иметь даже двойной расход теплоты по отношению к квартирам, расположенным в середине дома.

Плата за потребляемую теплоту разделяется на две составляющие: на основную (твердую) и переменную. Основная включает в себя все затраты, которые при эксплуатации центрального отопления постоянны и жители не могут на них

влиять. Переменная составляющая содержит затраты за измеренную теплоту, т.е. можно регулировать подвод теплоты к отдельным помещениям квартиры в зависимости от потребности. В помещениях, в которых люди бывают непостоянно, квартиросъемщик уменьшает подвод теплоты и поддерживает в них необходимую минимальную температуру и т.п.

Возникает проблема о соотношении этих двух слагаемых цены. С целью упрощения в ЧССР было принято отношение 1:1, без учета типа теплоисточника и отопительной системы. Это означает, что квартиросъемщик должен заплатить 50% всей потребности как основную составляющую платы без учета того, отапливалась квартира или нет. Об этих затратах говорят, как о затратах на готовность отопительного оборудования к эксплуатации [7].

Само собой разумеется, что квартиросъемщик может рационально воздействовать на подвод энергии в квартиру без учета того, измеряется энергия или нет. Однако измерение расхода теплоты должно способствовать его заинтересованности, которая должна выразиться в экономии затрат на отопление.

### 3. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА НАРУЖНЫХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЯ

#### 3.1. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА В СООТВЕТСТВИИ С НОРМАМИ ЧСН 73 0540

Если увеличить толщину теплоизоляционного слоя, т.е. улучшить теплотехнические свойства наружной стеной панели, возрастает ее цена ( $I_1$ ), однако одновременно снижаются как капитальные затраты на отопительную систему ( $I_2$ ), так и эксплуатационные расходы на отопление ( $P$ ). С экономической точки зрения считается более выгодной та стеновая панель, у которой сумма всех этих затрат наименьшая.

В соответствии с порядком, установленным нормами ЧСН 73 0549, обычно применяется метод, в котором любые затраты (капитальные и эксплуатационные) относятся к  $1 \text{ м}^2$  наружной стены, пересчитываются для одного временного условия, чаще всего на начало срока службы объекта. Эксплуатационные затраты пересчитываются с помощью коэффициента  $z$  и вместе с капитальными затратами составляют основу экономической оценки.

Время срока службы отопительной системы равно приблизительно половине срока службы сооружения. Поэтому при пересчете необходимо учитывать и затраты, связанные с реинвестицией отопительной системы при половине срока службы здания (т.е. приблизительно после 30–40 лет). Значение этой реинвестиции равно стоимости отопитель-

ной системы  $I_2$ , умноженной на дисконтирующий множитель, который при  $p = 2,5\%$  и времени 35 лет равен:  $r = 0,391$ . Затраты на отопительную систему тогда составляют  $I_\eta + I_\eta r$ .

Основное уравнение для экономической оценки наружных строительных конструкций имеет вид

$$I_1 + I_2 + I_2 r + (P_1 + P_2 + P_3)z = \min \text{ или} \quad (44)$$

$$\Sigma I_i + \Sigma P_i z = \min.$$

Инвестиционные затраты на  $1 \text{ м}^2$  наружной стены определяются по формуле

$$I_1 = C_0 + C_1 d, \text{ крон/м}^2,$$

где  $C_0$  — стоимость наружных слоев, крон/м<sup>2</sup> (например, железобетонных панелей типа "сэндвич" или слоев отделки для панелей из легких бетонов);  $C_1$  — стоимость теплоизоляционного материала, крон/м<sup>3</sup>;  $d$  — толщина теплоизоляционного слоя, м.

Указанные затраты включают транспортировку и монтаж. Инвестиционные затраты отопительной системы относятся к тепловым потерям  $1 \text{ м}^2$  наружной стены и определяются по формуле

$$I = \varphi k \Delta t C_2, \text{ крон/м}^2,$$

где  $\varphi$  — коэффициент, учитывающий дополнительные расходы (нормы ЧСН 06 0210);  $k$  — коэффициент теплопередачи наружной ограждающей конструкции, Вт/(м<sup>2</sup> · К);  $\Delta t$  — разница наружной и внутренней температуры, принятая при расчете теплопотерь;  $C_2$  — стоимость отопительной системы, крон/Вт.

В эксплуатационные затраты включаются:

1) годовые расходы в виде отчислений на ремонт строительной части зданий:  $P_1 = I_1 p_1 / 100$ , крон/(м<sup>2</sup> · г.);

2) годовые расходы в виде отчислений на ремонт отопительной системы:  $P_2 = I_2 p_2 / 100$ , крон/(м<sup>2</sup> · г.);

3) годовые затраты на эксплуатацию системы отопления:  $P_3 = 24 D C_3 k \cdot 10^{-6}$ , крон/(м<sup>2</sup> · г.),

где  $p_1$  — процент отчислений на ремонт строительной части;  $p_2$  — процент отчислений на ремонт оборудования;  $D$  — число градусо-дней;  $C_3$  — стоимость энергии, крон/(МВт · ч).

Описанная методика исходит из уровня прямых инвестиционных затрат и учитывает нормативное требование, что на жилищное строительство не распространяются отчисления от собственности или от источников финансирования с нормативными коэффициентами. Кроме рассмотренного можно применить и так называемый метод годовых эксплуатацион-

ных затрат ( $\Sigma P_i z = \min$ ). В соответствии с этим методом, который выражает интересы потребителей, значение оптимальной толщины получается больше, чем по ранее рассмотренному методу.

### 3.2. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СТЕНОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Результаты экономической оценки двух наружных ограждающих конструкций, а именно панели из поробетона и панели типа "сэндвич" состава: бетон — пенополистирол — бетон, приведены в табл. 62 и 63.

В экономических расчетах приняты следующие данные:  $C_0 = 20$  крон/м<sup>2</sup> — стоимость отделки поверхности поробетонных панелей;  $C'_0 = 250$  крон/м<sup>2</sup> — стоимость наружных слоев из железобетона для панелей типа "сэндвич";  $C_1 = 1000$  крон/м<sup>3</sup> — стоимость поробетона;  $C'_1 = 600$  крон/м<sup>3</sup> — стоимость пенополистирола;  $\lambda = 0,27$  Вт/(м · К) — теплопроводность поробетона;  $\lambda = 0,06$  Вт/(м · К) — теплопроводность пенополистирола (включая влияние арматуры);  $C_2 = 0,86$  крон/Вт — стоимость отопительной системы;  $C_3 = 200$  крон/(МВт · ч) — стоимость энергии;  $D = 3422$  — количество градусо-дней (среднее значение в районе с температурой  $-15^\circ\text{C}$ );  $p_1 = 2,3\%$  — процент отчислений на ремонт строительной части (наружные ограждающие конструкции);  $p_2 = 4,0\%$  — процент отчислений на ремонт оборудования (отопительной системы);  $z = 33,42$  — множитель при  $p = 2,5\%$  и сроке 77 лет;  $r = 0,391$  — дисконтирующий множитель при  $p = 2,5\%$  и сроке 38 лет;  $\varphi = 1,06$  — коэффициент, учитывающий дополнительные расходы;  $\Delta t = 35$  К — разница температуры между внутренней и наружной средой, принимаемая при вычислении теплопотерь.

Изменение приведенных затрат  $\Sigma P_i z + \Sigma I_i$  для обеих конструкций (см. табл. 62 и 63) графически изображено на рис. 68 и 69.

Из рис. 68 ясно, что наиболее выгодна с экономической точки зрения наружная ограждающая конструкция из поробетона толщиной 26,5 см. Если снизить стоимость поробетона до 800 крон/м<sup>3</sup>, то эта толщина возрастет до 30 см.

На рис. 69 показано изменение приведенных затрат для панели типа "сэндвич" с теплоизоляционным слоем из пенополистирола. Наблюдается значительное снижение затрат при толщине пенополистирола 8–10 см (или 12 см). Применение пенополистирола такой толщины в этом случае экономически выгодно; минимальные затраты будут при толщине 17 см.

При экономических расчетах часто исследуют влияние точности исходных данных на результаты. Для определения влияния определенного интервала значений основных параметров была вычислена экономическая эффективность железобетонных панелей типа "сэндвич" с теплоизоляционным слоем из пенополистирола при изменении: цены пенополистирола (рис. 70), стоимость энергии (рис. 71) и теплопроводности

Т а б л и ц а 62. Экономическая оценка наружной панели из поробетона с объемной массой 575 кг/м<sup>3</sup>

Толщина, <i>d</i> , м	0,100	0,150	0,200	0,250	0,300	0,350	0,400
Коэффициент теплопередачи <i>k</i>	1,857	1,382	1,100	0,914	0,781	0,682	0,606
<i>I</i> <sub>1</sub>	120,00	170,00	220,00	270,00	320,00	370,00	420,00
<i>I</i> <sub>2</sub>	59,26	44,09	35,11	29,16	24,94	21,78	19,34
<i>I</i> <sub>3</sub>	23,17	17,24	13,72	11,40	9,75	8,51	7,56
Всего <i>I</i>	202,43	231,33	268,83	310,57	354,69	400,30	446,90
<i>P</i> <sub>1</sub>	2,76	3,91	5,06	6,21	7,36	8,51	9,66
<i>P</i> <sub>2</sub>	2,37	1,76	1,40	1,61	0,99	0,87	0,77
<i>P</i> <sub>3</sub>	30,50	22,70	18,07	15,01	12,84	11,21	9,95
Всего <i>P</i>	35,64	28,64	24,53	22,39	21,19	20,59	20,39
Сумма <i>Pz</i>	1191,10	848,29	820,11	748,33	708,47	688,41	681,49
Сумма <i>Pz</i> + 1	1393,53	1179,63	1088,94	1058,90	1063,17	1088,72	1128,39

Т а б л и ц а 63. Экономическая оценка панелей типа "сандвич" с тепловой изоляцией из пенополистирола

Толщина <i>d</i> , м	0,20	0,040	0,060	0,080	0,100	0,120	0,140	0,160	0,180	0,200
Коэффициент теплопередачи <i>k</i>	1,701	1,144	0,862	0,692	0,577	0,495	0,434	0,386	0,349	0,316
<i>I</i> <sub>1</sub>	262,00	274,00	286,00	298,00	310,00	322,00	334,00	346,00	358,00	370,00
<i>I</i> <sub>2</sub>	54,28	36,52	27,52	22,08	18,43	15,82	13,86	12,32	11,10	10,09
<i>I</i> <sub>3</sub>	21,22	14,28	10,76	8,63	7,20	6,18	5,41	4,82	4,34	3,94
Всего <i>I</i>	337,51	324,81	324,28	328,71	335,64	344,01	353,27	363,15	373,44	384,04
<i>P</i> <sub>1</sub>	6,02	6,30	6,57	6,85	7,13	7,40	7,68	7,95	8,23	8,51
<i>P</i> <sub>2</sub>	2,17	1,46	1,10	0,88	0,73	0,63	0,55	0,49	0,44	0,40
<i>P</i> <sub>3</sub>	27,94	18,80	14,17	11,36	9,49	8,14	7,13	6,34	5,71	5,19
Всего <i>P</i>	36,14	26,56	21,84	19,10	17,35	16,18	15,37	14,79	14,39	14,11
Сумма <i>Pz</i>	1207,99	887,93	730,20	638,50	580,13	540,91	513,72	494,57	481,06	471,66
Сумма <i>Pz</i> + 1	1545,50	1212,75	1054,49	967,22	915,77	884,92	867,00	957,72	854,51	855,71

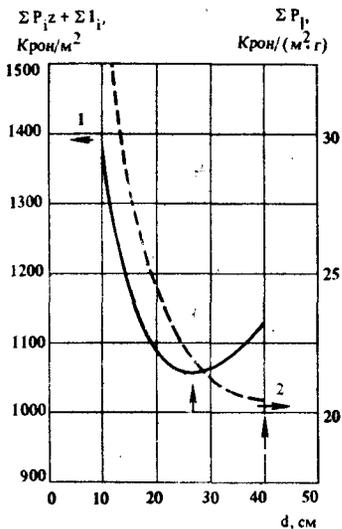


Рис. 68. Изменение приведенных затрат для поробетонной панели в зависимости от ее толщины  
 1 —  $\Sigma I_i + \Sigma P_i z$ , крои/м<sup>2</sup>; 2 —  $\Sigma P_i$ , крои/(м<sup>2</sup>·г)

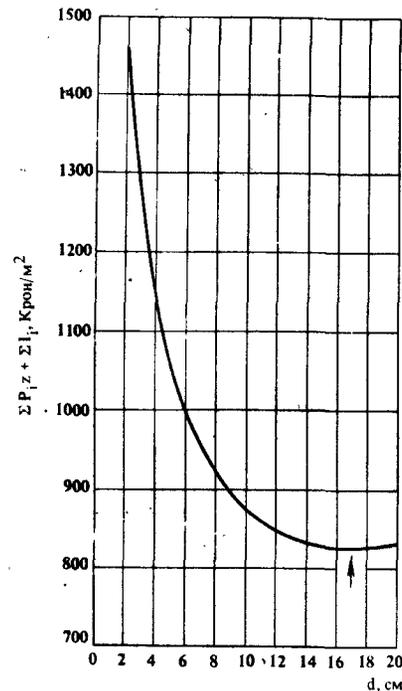


Рис.69. Изменение приведенных затрат для железобетонной панели типа "сэндвич" в зависимости от толщины теплоизоляции из пенополистирола (теплопроводность пенополистирола  $\lambda = 0,06$  Вт/(м·К), цена полистирола  $C_2 = 600$  крои/м<sup>3</sup>)

теплоизоляционного слоя, зависящей от содержания арматуры, проходящей через этот слой и соединяющей наружные бетонные слои (рис. 72).

Из рис. 72 видно, что наиболее выгодна толщина теплоизоляционного слоя в плоской части кривой в интервале от 13 до 17 см. Однако выводы, следующие из экономической оценки конструктивного решения наружной ограждающей панели, т.е. из значительного снижения приведенных затрат, наблюдающихся при толщине 8—10 см (или 12 см), сделаны без учета интервалов изменения исходных данных.

Важно не только установить минимум приведенных затрат, но и изменение их зависимости от толщины. В некоторых случаях, особенно при экономической оценке несколько вариантов наружных ограждающих конструкций, выгодно для рас-

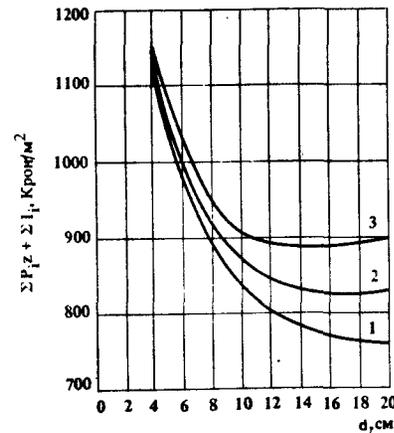


Рис. 70. Изменение приведенных затрат  $\Sigma I_i + \Sigma P_i z$ , крои/м<sup>2</sup> для железобетонной панели типа "сэндвич" в зависимости от цены полистирола  $C_1$ , крои/м<sup>3</sup> [теплопроводность теплоизоляционного слоя из пенополистирола с учетом влияния арматуры  $\lambda = 0,06$  Вт/(м·К)]; стоимость тепловой энергии  $C_3 = 200$  крои/(МВт·ч)  
 1 —  $C_1 = 400$ ; 2 —  $C_1 = 600$ ; 3 —  $C_1 = 800$

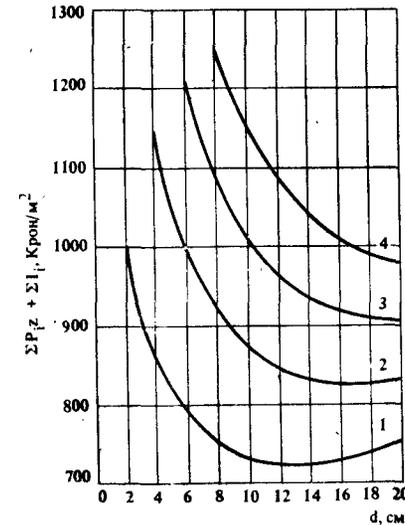


Рис. 71. Изменение приведенных затрат  $\Sigma I_i + \Sigma P_i z$ , крои/м<sup>2</sup>, для железобетонной панели типа "сэндвич" в зависимости от стоимости тепловой энергии  $C_3$ , крои/МВт·ч [теплопроводность теплоизоляционного слоя из пенополистирола с учетом влияния арматуры  $\lambda = 0,06$  Вт/(м·К), стоимость пенополистирола  $C_1 = 600$  крои/м<sup>3</sup>]  
 1 —  $C_3 = 100$ ; 2 —  $C_3 = 200$ ; 3 —  $C_3 = 300$ ; 4 —  $C_3 = 400$

чета оптимальной толщины применить аналитические зависимости, вывод которых приведен ниже.

При подстановке соответствующих величин в формулу для экономической оценки, получим

$$N = C_0 + C_1 d + C_2 \varphi k \Delta t + C_2 \varphi k \Delta t r + (C_0 + C_1 d) p_1 z + C_2 \varphi k \Delta t p_2 z + C_3 24 D k z$$

и после преобразования

$$N = C_0 (I + p_1 z) + C_1 (I + p_1 z) + [C_2 \Delta t (I + r + p_2 z) + C_3 24 D z] k.$$

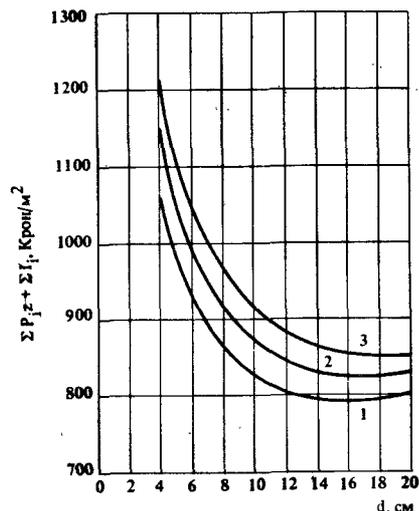


Рис. 72. Изменение приведенных затрат  $\Sigma T_i + \Sigma P_i z$  крон/м<sup>2</sup>, для железобетонной панели типа "сэндвич" в зависимости от теплопроводности изоляционного слоя из пеностирола  $\lambda$ , Вт/(м · К), [цена теплоизоляционного материала  $C_1 = 600$  крон/м<sup>2</sup>, стоимость тепловой энергии  $C_3 = 200$  крон/(МВт · ч); на теплопроводность влияет арматура, проходящая через теплоизоляционный слой] 1 —  $\lambda = 0,05$ ; 2 —  $\lambda = 0,06$ ; 3 —  $\lambda = 0,07$

Обозначив

$$k = \frac{1}{R_i + R_{n-1} + d/\lambda + R_e};$$

$$E = \lambda R_i + R_{n-1} + \lambda R_e;$$

$$d = x,$$

получим

$$k = \frac{\lambda}{E + x},$$

где  $R_{n-1}$  — термическое сопротивление конструкций без слоя толщиной  $d$ , которое учитывалось в экономическом расчете (например, для трехслойной железобетонной панели типа "сэндвич"  $R_{n-1}$  — термическое сопротивление наружных железобетонных слоев. В то же время теплоизоляционный слой с толщиной  $d$  в  $R_{n-1}$  не учитывается, так как  $d$  является некоей величиной; для однослойной конструкции  $R_{n-1} = 0$ .

Далее:

$$F = C_0 (I + p_1 z);$$

$$G = C_1 (I + p_1 z);$$

$$H = C_2 \varphi \Delta t (I + r + p_2 z) + C_3 24 D z$$

или

$$N = F + G x + \frac{H \lambda}{E + x}.$$

Известным способом установим экстремум величины  $N = f(x)$ ;

$$\frac{dN}{dx} = G + \frac{-H\lambda}{(E+x)^2} = \frac{G(E+x)^2 - H\lambda}{(E+x)^2}.$$

На основе второй производной определим второй экстремум:

$$\frac{d^2 N}{dx^2} = G(2E + 2x).$$

Так как  $G, E, x$  являются положительными числами, то положительным является и выражение в правой части дифференциального уравнения, т.е.

$$G(2E + 2x) > 0,$$

из чего следует, что  $N$  для  $x$ , вычисленное из формулы

$$Gx^2 + 2GEx + GE^2 - H\lambda = 0$$

будет минимальным.

Если  $a = G, b = 2GE, c = GE^2 - H\lambda$ , то толщина строительной конструкции, для которой затраты  $N$  наименьшие, устанавливается из формулы

$$x = -\frac{b}{2a} (-b + \sqrt{b^2 - 4ac})$$

и затраты  $N$  определяются по формуле

$$N = F + Gx + Hk.$$

Пример. Необходимо установить оптимальную толщину строительной конструкции из поробетона, если принимаются следующие величины:  $C_0 = 20$  крон/м<sup>2</sup> (отделка поверхности в расчете термического сопротивления строительной конструкции не принимается во внимание),  $C_1 = 1000$  крон/м,  $r = 0,391$  (для  $p = 2,5\%$  и сроке службы отопительной системы 38 лет),  $z = 33,42$  (для  $p = 2,5\%$  и сроке службы строительных конструкций 77 лет),  $\varphi = 1,05, \Delta t = 35$  К,  $D = 3422, \lambda = 0,27$  (при  $\rho = 575$  кг/м<sup>3</sup>),  $R_i = 0,125$  м<sup>2</sup> · К/Вт,  $R_e = 0,043$  м<sup>2</sup> · К/Вт.

Производим расчет в соответствии с формулой (1):

$$a = 1000(1 + 0,023 \cdot 33,42) = 1769,0; b = 2 \cdot 1769,0 \cdot 0,045 = 159,210;$$

$$E = (0,125 + 0,043) \cdot 0,27 = 0,045; H = 0,86 \cdot 1,05 \cdot 35(1 + 0,391 + 0,04x$$

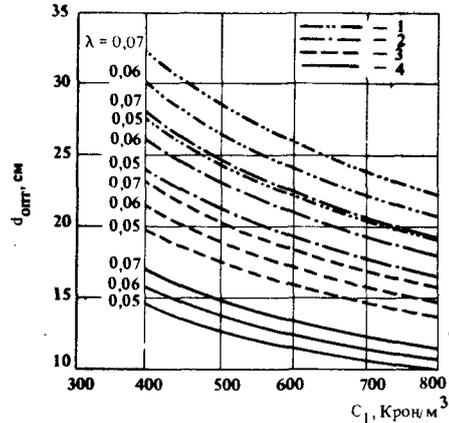
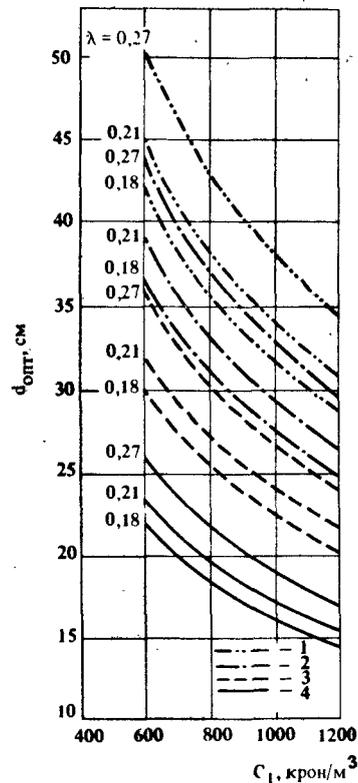


Рис. 74. Зависимость оптимальной толщины пенополистирола в железобетонной панели типа "сэндвич" от теплопроводности теплоизоляционного слоя  $\lambda$ , Вт/(м·К), цены материала  $C_1$ , крон/м<sup>3</sup>, и стоимости тепловой энергии  $C_3$ , крон/(МВт·ч)  
1 —  $C_3 = 400$ ; 2 —  $C_3 = 300$ ; 3 —  $C_3 = 200$ ; 4 —  $C_3 = 100$

Рис. 73. Зависимость оптимальной толщины поробетона от теплопроводности  $\lambda$ , Вт/(м·К), цены материала  $C_1$ , крон/м<sup>3</sup>, и стоимости тепловой энергии  $C_3$ , крон/(МВт·ч)  
1 —  $C_3 = 400$ ; 2 —  $C_3 = 300$ ; 3 —  $C_3 = 200$ ; 4 —  $C_3 = 100$

1 —  $C_3 = 400$ ; 2 —  $C_3 = 300$ ;

3 —  $C_3 = 200$ ; 4 —  $C_3 = 100$

$$x33,42) + 0,0002 \cdot 24 \cdot 3422 \cdot 33,42 = 635,156; c = 179,0 \cdot 0,045^2 - 635,156x$$

$$x0,27 = -167,910;$$

$$x = \frac{1}{2 \cdot 1769,0} [-159,210 + \sqrt{159,210^2 - 4 \cdot 1769,0(-167,910)}] =$$

$$= 0,266 \text{ м.}$$

Оптимальная толщина поробетонной конструкции по экономическим соображениям в соответствии с нормами ЧСН 730549 для данных условий равна:  $x = 0,266$  м.

Для вычисления наименьших затрат необходимо определить величину  $F = 20(1 + 0,023 \cdot 33,42) = 35,380$ ;

$$k = \frac{1}{0,125 + \frac{0,266}{0,27} + 0,043} = 0,867.$$

Тогда  $N = 35,380 + 1769,0 \cdot 0,266 + 635,156 \cdot 0,867 = 1056,718$  крон/м<sup>2</sup>.

Вычисленная оптимальная толщина поробетона и приведенные затраты приведены в табл. 62 и на рис. 68.

Зависимость оптимальной толщины поробетона от теплопроводности  $\lambda$ , Вт/(м·К), стоимости материала  $C_1$ , крон/м<sup>3</sup>, и стоимости энергии  $C_3$ , крон/(МВт·ч), установленная в соответствии с приведенными зависимостями, изображена на рис. 73, для пенополистирола — на рис. 74.

### 3.3. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ОКОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

По приведенному методу можно провести и экономическую оценку конструкций окон. Тепловые потери через окна могут происходить за счет теплопередачи и проветривания. Суммарные потери 1 м<sup>2</sup> окна определяются по формуле

$$Q_{ок} = \varphi k_o \Delta t + 1309 i l' B M,$$

где  $\varphi$  — коэффициент, принимаемый по нормам ЧСН 06 0210;  $k_o$  — коэффициент теплопередачи окна, Вт/(м<sup>2</sup>·К);  $\Delta t$  — разница температуры между наружной и внутренней средой, принимаемая при расчете теплопотерь, К;  $i$  — коэффициент воздухопроницаемости, м<sup>3</sup>/(с·м·Па<sup>0,67</sup>);  $l'$  — длина оконных швов, приходящаяся на 1 м<sup>2</sup> площади окна, принимаемая  $l' = 3,27$  м/м<sup>2</sup>;  $B$  — характеристическое число, Па<sup>0,67</sup>;  $M$  — характеристическое число.

Значения коэффициентов теплопередачи конструкций окон с разным типом остекления  $k_o$ , Вт/(м<sup>2</sup>·К), коэффициент воздухопроницаемости окон  $i$ , м<sup>3</sup>/(с·м·Па<sup>0,67</sup>), цена 1 м<sup>2</sup> конструкции окна, крон/м<sup>2</sup> и значения характеристических чисел, принимаемые при экономической оценке, приведены в табл. 64.

Теплоэкономический расчет конструкций окон был выполнен так же, как и для наружных стен. Результаты расчетов приведены в табл. 65.

Приведенные затраты  $\Sigma P_i z + \Sigma I_i$ , крон/м<sup>2</sup> из табл. 65 в зависимости от коэффициента теплопередачи  $k_o$  и стоимости энергии графически изображены на рис. 75.

Однако окна являются не только источником теплопотерь, но и средством получения теплоты за счет радиации, которая может быть максимально использована только при обеспечении определенных условий (см. разд. 2.2). Изменение приведенных затрат при снижении потребления энергии на 15% за счет использования солнечного излучения при стоимости энергии 200 крон/(МВт·ч) на рис. 75 показано кривой 2.

Из рис. 75 видно, что при повышении стоимости энергии минимум приведенных затрат перемещается к окнам, имеющим коэффициент теплопередачи  $k = 2,0$  Вт/(м<sup>2</sup>·К).

Т а б л и ц а 64. Основные данные экономической оценки оконных конструкций

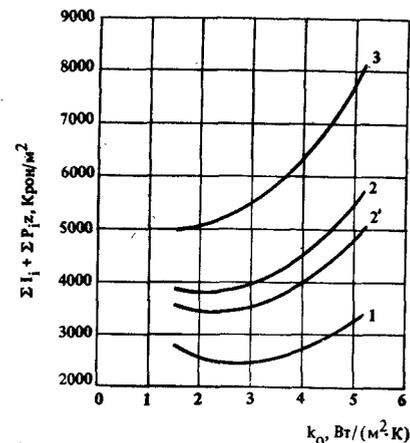
Тип окна	Коэффициент теплопередачи* $k_0$ , Вт/( $m^2 \cdot K$ )	Коэффициент воздухопроницаемости, $m^3/(c \cdot mx \cdot P_0 \cdot 67)$	Характеристическое число $B^*$	Характеристическое число $M^*$	Стоимость $1 m^2$ оконной конструкции, крон/ $m^2$
Деревянные простейшие (одно стекло)	5,2	$1,9 \cdot 10^{-4}$	6	0,7	170
Деревянные спаренные	2,9	$1,4 \cdot 10^{-4}$	6	0,7	275
Деревянные с тройным остеклением	2,0	$1,4 \cdot 10^{-4}$	6	0,7	520
Деревянные с четырьмя стеклами	1,5	$1,4 \cdot 10^{-4}$	6	0,7	750

\* По нормам ЧСН 06 0210 и зарубежным нормам.

Т а б л и ц а 65. Экономическая оценка оконных конструкций (к 1980 г.)

Количество стекол	1	2	3	4
Коэффициент теплопередачи $k$ , Вт/( $m^2 \cdot K$ )	5,2	2,9	2,0	1,5
$I_1$	170,00	275,00	520,00	750,00
$I_2$	268,04	167,78	139,06	123,11
$I_3$	104,80	65,60	54,37	48,14
$\Sigma I_i$	542,84	508,38	713,43	921,25
$P_1$	3,91	6,33	11,96	17,25
$P_2$	10,72	6,71	5,56	4,92
$P_3$	141,14	88,73	73,94	65,73
$\Sigma P_i$	155,77	101,77	91,46	87,90
$P_i \cdot z$	5205,83	3401,15	3056,59	2937,62
$\Sigma P_i \cdot z + \Sigma I_i$	5748,67	3909,53	3770,02	3858,87

Рис. 75. Изменение приведенных затрат для конструкций окон от коэффициента теплопередачи  $k_0$ , Вт/( $m^2 \cdot K$ ), стоимости тепловой энергии  $C_3$ , крон/(МВт·ч)  
 1 -  $C_3 = 100$ ; 2 -  $C_3 = 200$ ; 2' -  $C_3 = 200$  (с учетом влияния солнечной радиации); 3 -  $C_3 = 300$



Из рассмотренного следует, что при использовании более качественных форм энергии для отопления, т.е. с более высокой стоимостью, применение тройного остекления с точки зрения потребления энергии оправдано.

#### 3.4. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВАРИАНТОВ КОНСТРУКЦИЙ НАРУЖНЫХ ОГРАЖДЕНИЙ

По нормам ЧСН 73 0540 может быть установлена не только оптимальная толщина, но и тип наружных ограждающих строительных конструкций путем сравнения затрат, т.е. суммы капитальных и эксплуатационных затрат за все время срока службы здания.

Экономическая оценка пяти вариантов наружных ограждающих конструкций приведена в табл. 66.

Из таблицы видно, что по капитальным затратам на  $1 m^2$  наружной ограждающей конструкции (включая соответствующую часть стоимости отопительной системы) наиболее выгодной является поробетонная конструкция толщиной 24 см. Наиболее дорогой является конструкция, обозначенная номером 4 (толщина 45 см), дополнительно изолированная плитами из минерального войлока толщиной 4 см и внутренним слоем из поробетона толщиной 8 см).

По эксплуатационным затратам, отнесенным на  $1 m^2$  наружной ограждающей конструкции за время срока службы здания, оптимальной является конструкция под номером 5 (поробетонная стена толщиной 30 см, изолированная дополнительно плитами из минерального войлока толщиной 4 см и внутренним слоем из поробетона толщиной 8 см). Наименее выгодна с точки зрения эксплуатационных затрат кирпичная стена толщиной 45 см.

- [19] Gungesser, E. – Mukherjee, S. K.: Anwendung der Sonnenenergie im Niedertemperaturbereich. HLH, 28, 1977, č. 1, str. 14–20.
- [20] Hnilica, J. – Říha, L.: Efektivnost investic. Praha, Práce 1978.
- [21] Chyský, J. – Oppl, L a kol.: Větrání a klimatizace. Praha, SNIL 1973. TP 31. 580 str., 306 obr., 116 tab.
- [22] Ibl, V.: Funkce chladicí techniky při šetření energiemi v průmyslu, zemědělství a obytných objektech. Potravinářská a chladicí technika, 1978, č. 1, str. 3.19–9.25.
- [23] Janouš, A.: Heating systems which are flexible from the point of view of heat consumption and comfort. Sympozium EHK v Praze 1966.
- [24] Jorissen, H. D.: Experimentierhaus zur Erforschung rationeller Energieanwendung. HLH, 26 (1975), č. 8, str. 299–301.
- [25] Kotík, A.: Akumulace tepla – základní předpoklad ekonomického využívání sluneční energie. ET, 2/79, str. 4–9.
- [26] Kříž, M. – Dubček, M.: K problematice měření protisluneční ochrany zasklení. ZTV, 1973, č. 4, str. 173–183.
- [27] Lafar, B.: Stav a úkoly ve vývoji a výrobě dřevěných otvorových výplní. In: Sympozium o otvorových výplních ve stavebnictví. Brno, DI ČSVTS 1979, str. 116–124.
- [28] Lawaetz, H.: Beregning af et solvarmesystem. VVS (Dansk) 1976/6.
- [29] Máca, F.: Klimatizace. Praha, Práce 1958. 554 str.
- [30] Michalička, L.: Stav vývoje a zavádění do výroby solárních zařízení. Referát na konferenci „Využití nových a druhotných zdrojů energie“, Brno 1980.
- [31] Mrázek, K.: Zkušenosti získané na sympoziu o energetickém zásobování lidských sídel. PS, 6/1978, str. 244–275.
- [32] Mrlík, F.: Okenní konstrukce a dveře s ohledem na spotřebu tepla při vytápění. In: Sympozium o otvorových výplních ve stavebnictví. Brno, DI ČSVTS 1979, str. 16–31.
- [33] Mrlík, F.: Tepelně technické vlastnosti oken a dveří. PS, 6, 1980, str. 251–255.
- [34] Mrlík, J.: Infiltrace oken. PS, 6, 1980, str. 259–261.
- [35] Pachner, P.: Hygiene práce. 2. př. vyd. Praha, SZN 1969. 292 str., 59 obr.
- [36] Podnebí ČSSR. Souborná studie. Praha, HÚ 1969. 357 str., 162 obr.
- [37] Pohl, J.: Použití skla a jeho nových druhů v otvorových výplních. PS, 5, 1980, str. 262–263.
- [38] Pulkrábek, J.: Větrání. Praha, SNTL 1954. 392 str.
- [39] Rouhal, J. – Čirman, V. – Váňa, V.: Hygiene a fyziologie práce v průmyslu. Praha, Práce 1962. 176 str.
- [40] Ruosch, E. – Meuli, R. – Laumann, B. – Gründler, A.: Sonnenenergieanlage für das Objekt „Motto die Lerra“ in Minusio/Tessin. HLH 1977/8.
- [41] Šála, J.: Sendvičové panely. In: Racionální využívání energií ve výstavbě. Praha, DI ČSVTS 1980, str. 60–76.
- [42] Thumernicht, W.: Wärmerückgewinnung mit Klimafenster. Sanitär- und Heizungstechnik, 7/1974, str. 474–476.
- [43] Torben, V. Eshensen: Neol – energihuset i Lyngsby VVS (Svensk), 1976/8.
- [44] Vlach, J.: Teplárenství. Praha, SNTL 1972. 517 str.

b) Zprávy, směrnice, pokyny aj.

- [45] Kleissner, J.: Výzkum řešených konstrukčních systémů z hlediska stavební světelné techniky 1980. [Výzkumná zpráva.] Praha, VUPS 1980. 26 str.

- [46] Kučera, P.: Tepelně technické vlastnosti objektů na bázi dřeva. [Výzkumná zpráva.] Praha, VUPS 1970. 107 str.
- [47] Kučera, P.: Tepelně technické vlastnosti zdíva z dodatečně izolovaných agloporitových tvárníc určených pro bezmaltové zdění. [Výzkumná zpráva.] Praha, VUPS 1979. 18 str.
- [48] Metodické pokyny FMTIR pro hodnocení efektivity racionalizačních opatření na úsporu paliv a energie z r. 1977.
- [49] PV 6710-78 Vytápění budov zpravidla vícepodlažních.
- [50] Předpisy pro dosažení úspor energie v nových budovách, 1976. Švédská národní rada pro plánování a výstavbu. (překlad ze švédštiny.)
- [51] Řehánek, J. – Janouš, A. – Kočí, V.: Zpráva ze služební cesty do MLR. Praha, VUPS 1978.
- [52] Směrnice FMPE č. 22/1977. Projektování, zřizování a provozování elektrického vytápění a přípravy teplé užitkové vody.
- [53] Směrnice FMTIR č. 4/72 pro výpočty ekonomické efektivity úkolů státního plánu RVT.
- [54] Studie optimálního technického a ekonomického řešení pro dosažení úspor paliv a energie při budování sídlišť v 7. SLP. FMTIR, FMPE, září 1977, 101 str.
- [55] VDI-Berichte 356. Verlag GMBH – Düsseldorf 1979, 102 str.
- [56] Verordnung über einen energiesparenden Wärmeschutz bei Gebäuden. Vom 11. August 1977 (NSR).
- [57] Zásady pro navrhování odlehčených budov z hlediska stavební tepelné techniky. Průmyslová výstavba. Praha, VUPS 1975. 91 str.

c) Normy

- [58] ČSN 06 0210 Výpočet tepelných ztrát budov při ústředním vytápění.
- [59] ČSN 73 0540 Tepelně technické vlastnosti stavebních konstrukcí a budov.
- [60] ČSN 73 0542 Tepelně technické vlastnosti stavebních konstrukcí a budov. Vlastnosti materiálů a konstrukcí.
- [61] ČSN 73 0544 Tepelně technické vlastnosti stavebních konstrukcí a budov. Střechy.
- [62] ČSN 73 0549 Tepelně technické vlastnosti stavebních konstrukcí a budov. Výpočtové metody.
- [63] ČSN 73 0560 Tepelně technické vlastnosti stavebních konstrukcí a budov. Výrobní průmyslové budovy.
- [64] DIN 4108 Wärmeschutz im Hochbau.
- [65] ÖNORM B 8110 Wärmeschutz.

d) Prospekty

- [66] Prospekt firmy ROCKWOOL.
- [67] Prospekt HARDO – Dämmstoff – Befestigung für Mauerwerk, Beton und Holz.

Zkratky časopisů:

- PS – Pozemní stavby  
 ZTV – Zdravotní technika a vzduchotechnika  
 HL – Schweizerische Blätter für Heizung und Lüftung  
 ET – Elektrické teplo  
 HLH – Heizung – Lüftung – Haustechnik.

## Оглавление

Введение .....	3
1. Основные теплотехнические требования к строительным конструкциям и зданиям .....	4
1.1. Тепловой режим здания .....	4
1.2. Конденсация водяных паров .....	13
1.3. Воздухопроницаемость .....	18
1.4. Нормативные требования и критерии теплотехнических свойств строительных конструкций и зданий .....	19
2. Возможности снижения теплопотерь и расхода энергии на отопление зданий .....	33
2.1. Факторы, влияющие на тепловые потери и расход энергии на отопление здания .....	33
2.2. Тепловой режим помещений .....	36
2.3. Параметры наружного климата .....	41
2.4. Геометрические и композиционные решения зданий .....	51
2.5. Теплотехнические свойства строительных конструкций .....	55
2.6. Эксплуатация систем отопления .....	118
2.7. Эффективность отопительных устройств .....	122
2.8. Использование нетрадиционных источников теплоты .....	146
2.9. Отношение людей к проблеме экономии энергии .....	146
3. Экономическая оценка наружных ограждающих конструкций здания .....	149
3.1. Экономическая оценка в соответствии с нормами ЧСН 73 0540 .....	149
3.2. Экономическая оценка стеновых конструкций .....	151
3.3. Экономическая оценка оконных конструкций .....	159
3.4. Экономическая оценка вариантов конструкций наружных ограждений .....	161
Список литературы .....	163

Научное издание

Ржеганек Ярослав, Яноуш Антонин

СНИЖЕНИЕ ТЕПЛОПOTЕРЬ В ЗДАНИЯХ

Редакция переводных изданий  
Зав. редакцией В.Н. Суханов  
Редактор М.В. Перевалюк  
Мл. редактор С.В. Петрашова  
Технический редактор Р.Я. Лаврентьева  
Корректор С.А. Зудиллина  
Оператор М.В. Карамнова  
ИБ № 4569

Подписано в печать 09.02.88 Формат 60x84 1/16  
Бумага офсетная № 2 Печать офсетная Усл.печ.л. 9,76  
Усл.кр.-отт. 10,01 Уч.-изд.л. 11,21 Тираж 5000 экз.  
Изд. № АУШ-2249 Заказ № 847 Цена 2 р. 20 к.

Стройиздат, 101442, Москва, Каляевская, 23а

Московская типография № 9 НПО  
"Всесоюзная книжная палата"  
Госкомиздата СССР  
109033, Москва, Волочаевская ул., 40