

ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ
ПРИ СОВЕТЕ МИНИСТРОВ СССР

ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ГЛАВНАЯ ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ им. А. И. ВОЕЙКОВА

ТРУДЫ
ВЫПУСК 305

06
78

ВЛИЯНИЕ
МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ
НА ТЕПЛОВОЙ РЕЖИМ ЗДАНИЙ

Под редакцией
д-ра физ.-мат. наук Л. С. ГАНДИНА
и канд. геогр. наук Л. Е. АНАПОЛЬСКОЙ

20000

БИБЛИОТЕКА
Ленинградского
Гидрометеорологического
Института



ГИДРОМЕТЕОИЗДАТ
ЛЕНИНГРАД • 1973

Сборник посвящен вопросам оценки влияния метеорологических факторов на тепловой режим зданий, экономической эффективности этой оценки в различных районах СССР и в различные сезоны года, а также вопросам оценки условий перегрева помещений.

Рассчитан на специалистов в области теоретической и прикладной климатологии и строительной теплотехники, а также на студентов и аспирантов соответствующих специальностей.

О ВЛИЯНИИ ПАРАМЕТРОВ ОГРАЖДЕНИЙ ЗДАНИЙ НА СУММАРНЫЕ ТЕПЛОПOTЕРИ В РАЗЛИЧНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

1. В работе [1] выполнены оценки влияния климатических условий на режим теплопотерь зданий и в особенности на среднюю в климатическом смысле продолжительность отопительного периода и суммарные за этот период удельные теплопотери здания. Указанные оценки выполнены для некоторого «типового» набора теплотехнических параметров ограждения здания, который принят мался одним и тем же в различных климатических условиях. Такой подход обеспечил возможность количественного сопоставления климатических факторов теплопотерь зданий в различных условиях. Это сопоставление показало, что относительная роль трех основных механизмов теплопотерь — теплопроводности ограждения, воздухообмена и лучистого теплообмена — существенно различна в разных климатических зонах СССР. Соответственно различными оказываются вклады основных метеорологических факторов — температуры, скорости ветра и солнечной радиации.

Это наводит на мысль, что конструктивные параметры ограждений зданий также должны оказывать различное влияние на теплопотери в разных климатических условиях. Для количественной оценки этого влияния, применительно к некоторым пунктам СССР, находящимся в различных климатических условиях, были выполнены расчеты теплопотерь при разных значениях параметров ограждения. Эти расчеты были выполнены на ЭВМ М-220 по программе, изложенной в работе [2]. Поскольку параметров ограждения, существенно влияющих на суммарные теплопотери, сравнительно много, то одновременная вариация их привела бы к трудно обозримым результатам. Поэтому мы изменяли каждый раз лишь один из этих параметров, а для остальных принимали значения, соответствующие «типовому» варианту. Эти значения следующие: термическое сопротивление стен (с учетом сопротивлений прилегающих к ним участков наружного и внутреннего воздуха) $R_c = 1,09 \text{ м}^2\text{час} \cdot \text{град}/\text{ккал}$, термическое сопротивление окон (также с учетом сопротивлений наружного и внутреннего воздуха) $R_o = 0,58 \text{ м}^2\text{час} \cdot \text{град}/\text{ккал}$, расчетная температура внутреннего воздуха $T_{в} = 18^\circ\text{C}$, относительная площадь окон $\sigma_o = 0,20$, коэффициент пропускания суммарной радиации окнами $\epsilon_o = 0,67$, коэффициент воздухообмена $\gamma = 0,20 \text{ сек}/\text{м}$. Все вычисления выполнены для восточ-

ной ориентации стены, что приблизительно совпадает со средними данными по всему ограждению в целом. Как и в работе [1], использованы два варианта учета лучистых теплопоступлений, а именно: полный их учет, описывающий условия отдельно стоящего

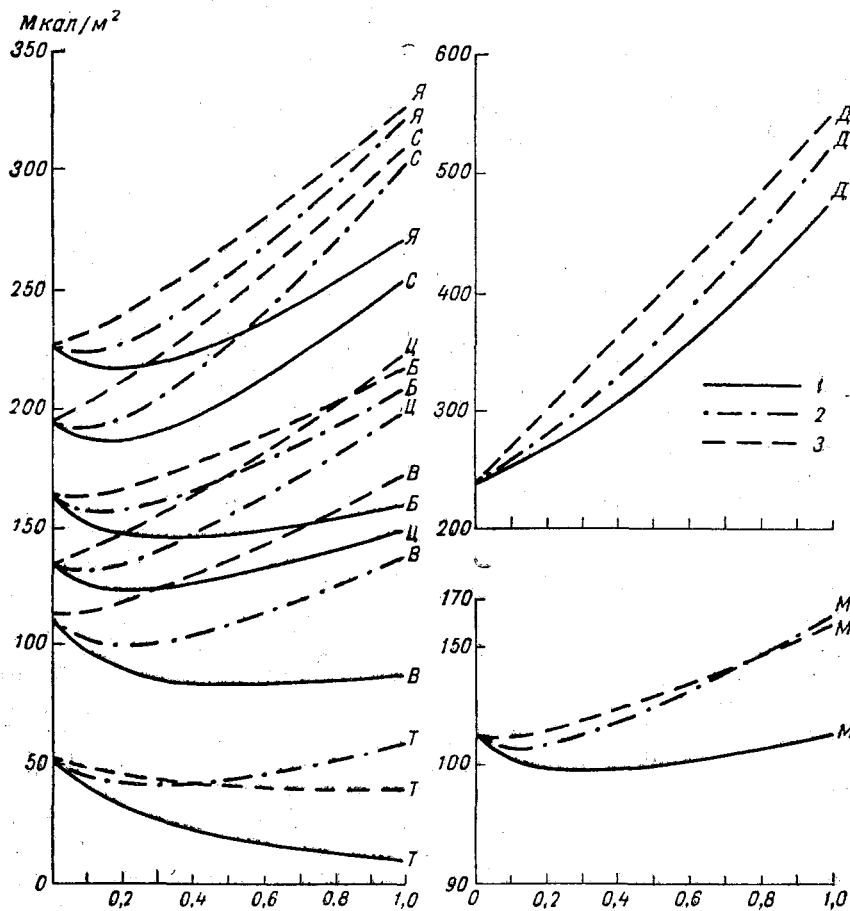


Рис. 1. Зависимость величин μ и μ_1 от относительной площади окон σ_0 .
 1 — $\mu(\sigma_0)$ при полном учете радиации, 2 — $\mu(\sigma_0)$ при половинном учете радиации,
 3 — $\mu_1(\sigma_0)$ при полном учете радиации. Б — Братск, В — Владивосток, Д — Диксон,
 М — Москва, С — Салехард, Т — Ташкент, Ц — Целиноград, Я — Якутск.

здания, и учет половины теплопоступлений, приближенно моделирующий тепловой режим здания в условиях городской застройки.

2. На рис. 1 показана зависимость суммарных теплопотерь μ за отопительный период (в Mkcal/m^2) от относительной площади окон σ_0 во всем интервале возможных значений σ_0 , т. е. от $\sigma_0=0$ (здание без окон) до $\sigma_0=1$ (полностью остекленное ограждение).

Кривые 1 на рис. 1 соответствуют полному, а кривые 2 — половинному учету солнечной радиации. О кривых 3 будет сказано ниже.

Обращаясь сначала к кривым 1, можно видеть, что на них для большинства рассмотренных пунктов имеется минимум при некотором значении относительной площади окон σ_0 . Наличие этого минимума объясняется тем, что при больших значениях σ_0 теплотери увеличиваются вследствие увеличения воздухообмена и уменьшения осредненного по всей поверхности ограждения термического сопротивления, а при меньших значениях σ_0 теплотери увеличиваются вследствие уменьшения лучистых теплоступлений сквозь окна.

Если интересоваться только теплотерями и отвлечься, в частности, от теплового режима здания в теплое полугодие, а также от светового режима помещений, то значение σ_0 , соответствующее минимуму μ , можно рассматривать как оптимальное значение относительной площади окон. Интересно, что для трех пунктов, находящихся в существенно различных климатических условиях (Якутск, Салехард, Целиноград), это оптимальное значение близко к «типовому» значению $\sigma_0=0,2$. Для Москвы и Братска оно составляет около 0,3, а для Владивостока — около 0,6. Впрочем, эти оценки могут быть интересны лишь с качественной, а не с количественной стороны, так как на них существенно влияют упрощения, принятые при получении расчетных формул, точность метеорологической информации и фиксированные значения других параметров ограждения.

Из всех рассмотренных пунктов для двух минимальное значение σ_0 получается на краю промежутка возможных значений σ_0 , а именно: для Ташкента при $\sigma_0=1$, для Диксона при $\sigma_0=0$. Это означает, что если исходить только из условия минимума затрат топлива, то в Диксоне здания следует строить без окон, а в Ташкенте ограждения должны быть полностью остеклены. Разумеется, если учитывать условия теплового времени года в Ташкенте и потребности светового режима помещений в Диксоне, то выводы существенно изменятся. В то же время из приведенных результатов следует, что при выборе теплотехнических параметров ограждений, и в частности относительной площади окон, необходимо в значительно большей мере учитывать климатические условия, чем это делается в настоящее время.

Другой важный с практической стороны вывод следует из сопоставления кривых 1 и 2 на рис. 1. Мы видим, что переход к «половинной» радиации кардинально меняет положение оптимального σ_0 . Для всех рассмотренных пунктов, кроме одного (Ташкента), это положение смещается в точку $\sigma_0=0$, т. е. при малых σ_0 окна вместо полезного влияния на режим теплотерей оказывают вредное влияние.

Отсюда следует, что теснота застройки городских кварталов оказывает крайне вредное влияние на тепловой режим зданий. Обеспечение достаточно просторной застройки не только имеет

весьма важное значение для светового режима помещений, но и позволяет существенно уменьшить теплотери зданий и тем самым снизить затраты на их отопление.

3. Выполненные оценки базируются на еще одном, не высказанном явно предположении, а именно, что стоимость строительства единицы площади наружной стены (n_c) и окна (n_o) одинакова. В действительности же окна несколько дороже стен, т. е. $n_o > n_c$. Поэтому оптимальное с экономической точки зрения значение σ_o должно быть несколько меньше, чем это получалось выше.

Действительно, средняя стоимость единицы площади ограждения равна, очевидно,

$$n = n_c(1 - \sigma_o) + n_o \sigma_o,$$

или

$$n = n_c(1 + k \sigma_o), \quad (1)$$

где

$$k = \frac{n_o}{n_c} - 1. \quad (2)$$

Если период окупаемости здания составляет Δ лет, то в пересчете на один год затраты на строительство единицы площади наружного ограждения составляют

$$c_1 = \frac{n}{\Delta} = \frac{n_c}{\Delta} (1 + k \sigma_o). \quad (3)$$

Стоимость отопления (также в расчете на один год и на единицу площади ограждения) пропорциональна суммарным удельным теплотерям μ , зависимость которых от относительной площади окон σ_o рассмотрена выше,

$$c_2 = a \mu(\sigma_o). \quad (4)$$

Здесь коэффициент a представляет собой стоимость отопления, необходимого для преодоления единичных теплотерь.

Удельные затраты за год c получим суммированием затрат c_1 и c_2 :

$$c = \frac{n_c}{\Delta} (1 + k \sigma_o) + a \mu(\sigma_o),$$

или

$$c = \frac{n_c}{\Delta} + a[\mu(\sigma_o) + \chi \sigma_o], \quad (5)$$

где

$$\chi = \frac{k n_c}{a \Delta} = \frac{n_o - n_c}{a \Delta}. \quad (6)$$

Чтобы найти оптимальное значение σ_0 , обращающее c в минимум, нужно потребовать, чтобы было минимальным выражение в квадратных скобках в формуле (5):

$$\mu_1(\sigma_0) = \mu(\sigma_0) + \chi \sigma_0 = \min. \quad (7)$$

В случае $k > 0$ ($n_0 > n_c$) из (7) вытекает, что минимум μ_1 достигается при меньших значениях σ_0 , чем минимум μ (если, разумеется, оба эти минимума существуют). В случае же $k = 0$ ($n_0 = n_c$) мы возвращаемся к ранее рассмотренной задаче.

При определении значений введенных «стоимостных» параметров возникают некоторые трудности. В частности, параметр a должен учитывать не только стоимость и теплотворную способность топлива, но и непроеизводительные потери тепла на отопительных системах, затраты на работу этой системы, включающие оплату персонала, и т. п. Что касается периода окупаемости Δ , то он вообще с трудом поддается объективной оценке и обычно назначается «волевым» решением.

Именно с этой точки зрения удобно, что эти параметры влияют не порознь, а в составе комбинации χ (6), от которой зависит оптимальное значение σ_0 . Кривые 3 на рис. 1 рассчитаны при значении $\chi = 50$ Мкал/м², что соответствует, например, $k = 0,5$, $n_c = 15$ руб/м², $a = 1$ коп/Мкал, $\Delta = 15$ лет. При этом расчете влияние радиации учитывалось полностью, так что кривые 3 следует сопоставлять с кривыми 1. Это сопоставление показывает, что сдвиг оптимального значения σ_0 , т. е. абсциссы минимума функции $\mu_1(\sigma_0)$ влево, вследствие различия стоимости стен и окон меньше (при выбранном значении χ), чем вследствие влияния городской застройки.

4. Приведенные оценки представляют собой простой пример подхода к выбору экономически оптимальных параметров ограждения и интересны не столько сами по себе, сколько в качестве иллюстрации экономического подхода. Дело в том, что экономический подход является единственным полностью обоснованным способом выбора оптимальных параметров зданий в различных климатических условиях. Вместе с тем реализация этого подхода связана с двумя существенными трудностями, которые проявляются и в рассмотренном примере.

Одна из этих трудностей состоит в недостаточной определенности некоторых экономических параметров и прежде всего периода окупаемости. Величина этого периода Δ почти всегда входит в расчеты, а достаточно строгого подхода к заданию этой величины, к сожалению, в экономике не имеется. Вариация же Δ приводит, вообще говоря, к существенному изменению результатов. Лишь в некоторых случаях, как, например, при $n_0 = n_c$, в рассматриваемой задаче, величина Δ выпадает из рассмотрения, и результаты становятся более определенными.

Но и при этом остается в силе вторая трудность, которую можно характеризовать как нелинейность задачи экономической оптимизации. Она состоит в следующем. Интересуясь физической стороной любых процессов, в частности, процессов влияния метео-

рологической среды на здания, мы можем анализировать различные процессы такого рода независимо друг от друга, если результаты влияния не связаны или мало связаны друг с другом. Так, с физической точки зрения вполне обоснован отдельный анализ условий максимальных теплопотерь, среднего годового хода теплопотерь, перегревов в летнее время, светового климата помещений и т. п. Однако, как только мы переходим к экономической оптимизации, мы вынуждены учитывать одновременно все процессы,

Таблица 1

Влияние изменений термического сопротивления стен и коэффициента воздухопроницаемости ограждения на суммарные теплопотери

Пункт	μ	$\delta_1 \mu$	$-\delta_2 \mu$	$\frac{\delta_1 \mu}{\mu}$	$\frac{-\delta_2 \mu}{\mu}$	$\delta_3 \mu$	$-\delta_4 \mu$	$\frac{\delta_3 \mu}{\mu}$	$\frac{-\delta_4 \mu}{\mu}$
	Мкал/м ² год			%		Мкал/м ² год		%	
Диксон	331	37,0	25,3	11,3	7,8	145	55,2	43,5	16,8
Норильск	281	33,8	23,3	12,0	8,3	97,0	34,8	34,6	12,2
Якутск	250	34,8	24,0	13,9	9,6	15,8	4,4	6,3	1,8
Воркута	236	29,8	20,4	12,6	8,7	88,5	29,6	35,1	12,5
Салехард	222	29,8	20,5	13,4	9,2	50,9	16,4	22,8	7,3
Магадан	185	27,4	18,6	14,9	10,1	34,2	10,4	18,4	5,6
Мурманск	161	21,4	14,5	13,3	9,0	43,8	14,5	27,0	9,0
Архангельск	158	20,6	14,1	13,0	8,9	45,6	15,5	28,5	9,7
Новосибирск	156	21,8	15,0	14,0	9,6	32,2	10,2	20,6	6,5
Хабаровск	149	20,7	14,2	13,8	9,6	48,3	16,6	32,2	11,1
Петропавловск-Камчатский	148	19,3	13,1	13,0	8,9	78,1	30,6	52,7	20,6
Целиноград	147	16,7	11,9	11,4	8,1	53,4	18,8	34,3	12,1
Москва	119	17,5	10,8	14,6	9,1	25,7	8,1	21,3	6,8
Волгоград	115	14,4	9,6	12,2	8,4	47,9	17,8	41,6	15,5
Киев	89,1	13,1	9,0	14,8	10,1	12,7	3,7	14,3	4,2
Ташкент	44,3	7,9	5,3	17,8	12,2	3,6	1,0	8,2	2,3

интенсивность которых зависит от оптимизируемых параметров. В противном случае можно получить результаты, неправильные не только в количественном, но и в качественном отношении. Примерами могут служить выводы об оптимальности полного остекления ограждений в Ташкенте (неучет летнего перегрева) и нулевого остекления в Диксоне (неучет требований светового режима). Однако если понимать эти ограничения экономического подхода, то результаты его можно всегда правильно интерпретировать, по крайней мере в качественном отношении. Что же касается количествен-

ных выводов об оптимальных параметрах ограждений, то нелинейность задачи оптимизации существенно препятствует получению таких выводов.

5. В отличие от относительной площади окон σ_0 , изменение которой в заданном направлении может, вообще говоря, приводить как к росту, так и к уменьшению теплопотерь, влияние всех остальных перечисленных параметров ограждения на теплопотери носит монотонный характер. Так, увеличение сопротивления стен R_c всегда приводит к уменьшению теплопотерь, а увеличение коэффициента воздухопроницаемости ограждения — к росту теплопотерь. Однако степень влияния этих параметров на теплопотери, а потому и соотношение влияний различных параметров, существенно зависит от климатических условий.

Рассмотрим с этой точки зрения данные, приведенные в табл. 1. В ней $\delta_{1\mu}$ представляет собой приращение суммарных удельных теплопотерь μ вследствие снижения сопротивления стен R_c на $0,20 \text{ м}^2 \text{ час} \cdot \text{град}/\text{ккал}$ (т. е. от $1,09$ до $0,89 \text{ м}^2 \text{ час} \cdot \text{град}/\text{ккал}$), $\delta_{2\mu}$ — приращение (отрицательное) μ вследствие увеличения R_c на ту же величину (т. е. от $1,09$ до $1,29 \text{ м}^2/\text{град} \cdot \text{час}/\text{ккал}$). $\delta_{3\mu}$ и $\delta_{4\mu}$ представляют собой изменения μ в результате изменения коэффициента воздухопроницаемости ограждения γ , а именно его увеличения вдвое (до $0,40 \text{ сек}/\text{м}$) и уменьшения вдвое (до $0,10 \text{ сек}/\text{м}$) соответственно. В табл. 1 приведены как абсолютные, так и относительные изменения теплопотерь. Все данные относятся к восточной стене при учете половинной радиации. Анализ этих данных показывает следующее.

1) Для каждого пункта $\delta_{1\mu}$ больше по абсолютной величине, чем $\delta_{2\mu}$. Это вполне естественно, поскольку чем больше сопротивление стен R_c , тем меньше убывают теплопотери при дальнейшем увеличении R_c . Аналогично обстоит дело и с абсолютными величинами $\delta_{3\mu}$ и $\delta_{4\mu}$, что отражает тот факт, что чем меньше воздухопроницаемость ограждения, тем слабее эффект от ее дальнейшего уменьшения.

2) При переходе от одних климатических районов к другим $\delta_{1\mu}$ и $\delta_{2\mu}$ могут меняться в широких пределах, в нашей выборке они меняются более чем в 4 раза. Вместе с тем эти значения весьма близко следуют изменениям самих теплопотерь μ от одного пункта к другому. В результате относительные изменения теплопотерь, обусловленные вариацией R_c , мало меняются от пункта к пункту (приблизительно в 1,5 раза для всей выборки в целом). Это означает, что различия в климатических условиях примерно в равной мере сказываются как на самих теплопотерях, так и на их изменениях, обусловленных вариацией термического сопротивления стен.

3) Совершенно иначе обстоит дело с величинами $\delta_{3\mu}$ и $\delta_{4\mu}$, отражающими влияние коэффициента воздухопроницаемости γ . Хотя имеется некоторая тенденция к пропорциональности этих величин самим теплопотерям μ , в то же время при одинаковых или близких значениях μ величины $\delta_{3\mu}$ и $\delta_{4\mu}$ могут варьировать в широких

пределах. Например, для Москвы и Волгограда μ практически одинаково, в то время как $\delta_{3\mu}$ и $\delta_{4\mu}$ для Волгограда больше, чем для Москвы, примерно вдвое. Величина μ для Воркуты несколько меньше, чем для Якутска, а $\delta_{3\mu}$ и $\delta_{4\mu}$ для Воркуты больше, чем для Якутска, в 6 раз. Наиболее отчетливо указанное обстоятельство прослеживается на относительных изменениях $\frac{\delta_3 \mu}{\mu}$ и $\frac{\delta_4 \mu}{\mu}$, которые,

Таблица 2

Влияние параметров R_c и γ на суммарные теплотери и длительность отопительного периода

	Новосибирск		Якутск		Петропавловск-Камчатский	
	μ	τ	μ	τ	μ	τ
R_c						
0,09	1272	10(10)	2007	10(23)	1150	12(0)
0,19	629	9(22)	995	10(04)	574	12(0)
0,29	429	9(12)	684	9(24)	394	12(0)
0,39	333	9(03)	530	9(18)	307	12(0)
0,49	276	8(26)	441	9(13)	255	12(0)
0,59	239	8(19)	382	9(08)	222	11(08)
0,69	213	8(14)	340	9(05)	198	10(22)
0,79	193	8(10)	309	9(01)	181	10(15)
0,89	178	8(07)	284	8(28)	167	10(08)
0,99	166	8(04)	265	8(25)	156	10(03)
1,09	156	8(02)	250	8(23)	148	9(28)
1,19	148	7(30)	237	8(21)	140	9(23)
1,29	142	7(28)	226	8(19)	135	9(19)
1,39	136	7(26)	218	8(17)	130	9(15)
1,49	131	7(24)	209	8(16)	125	9(11)
1,59	126	7(23)	201	8(14)	122	9(07)
1,69	122	7(22)	195	8(13)	118	9(05)
1,79	119	7(20)	190	8(12)	115	9(03)
1,89	116	7(19)	185	8(11)	112	9(00)
γ						
0,05	144	7(29)	244	8(21)	107	9(15)
0,10	146	7(30)	245	8(21)	117	9(18)
0,15	150	8(01)	247	8(22)	131	9(23)
0,20	156	8(02)	250	8(23)	148	9(28)
0,25	164	8(03)	253	8(24)	166	10(03)
0,30	171	8(04)	257	8(26)	185	10(03)
0,35	179	8(05)	261	8(27)	205	10(13)
0,40	188	8(07)	266	8(28)	225	10(17)
0,45	198	8(09)	271	8(29)	243	10(21)

как видно из табл. 1, варьируют в весьма широких пределах — в нашей выборке примерно в 10 раз. Это объясняется различиями в ветровом режиме для разных пунктов.

Таким образом, соотношение эффектов, которые могут быть достигнуты вариацией параметров R_c и γ , т. е. соотношение величин $\delta_{1\mu}$ и $\delta_{2\mu}$, с одной стороны, и $\delta_{3\mu}$ и $\delta_{4\mu}$ — с другой, оказывается существенно зависящим от климатических условий. По этому признаку пункты, представленные в табл. 1, можно сгруппировать следующим образом.

Для двух пунктов — Якутска и Ташкента — $\delta_{1\mu}$ значительно превышает $\delta_{3\mu}$ и тем более $|\delta_{2\mu}|$ превышает $|\delta_{4\mu}|$. Это означает, что изменение воздухопроницаемости ограждения почти не влияет на теплопотери, и для того чтобы изменить величину теплопотерь в ту или иную сторону, нужно изменять не γ , а R_c .

Промежуточное положение занимает Киев — для него по-прежнему $|\delta_{2\mu}|$ существенно больше, чем $|\delta_{4\mu}|$, в то время как $\delta_{1\mu}$ и $\delta_{3\mu}$ приблизительно одинаковы.

В следующую, третью группу попадают Салехард, Магадан, Новосибирск и Москва. Для пунктов этой группы $\delta_{1\mu} < \delta_{3\mu}$, но $|\delta_{2\mu}| > |\delta_{4\mu}|$. Это означает, что изменения R_c и γ в рассмотренных нами пределах приводят к сопоставимым изменениям теплопотерь.

Для Мурманска и Архангельска также $\delta_{1\mu} < \delta_{3\mu}$, но $|\delta_{2\mu}|$ и $|\delta_{4\mu}|$ близки друг к другу.

К следующей, пятой группе целесообразно отнести Норильск, Воркуту, Хабаровск и Целиноград, а к последней, шестой группе — Петропавловск-Камчатский и Диксон. Для всех этих пунктов роль γ в регулировании теплопотерь существенно превосходит роль R_c . Особенно велик этот контраст для пунктов шестой группы.

6. В табл. 2 приведена более детальная информация о влиянии параметров R_c и γ на режим теплопотерь для трех пунктов — представителей первой, третьей и шестой из перечисленных выше групп, а именно: для Якутска, Новосибирска и Петропавловска-Камчатского. Наряду с величинами суммарных теплопотерь при большом наборе значений указанных параметров, в табл. 2 приведена также продолжительность отопительного периода τ в месяцах и днях (число дней дано в скобках).

С ростом сопротивления R_c продолжительность отопительного периода τ , разумеется, уменьшается, причем темп уменьшения велик при малых R_c и мал при больших R_c . Что же касается влияния климатических условий на этот эффект, равно как и на абсолютные значения τ , то это влияние носит сложный характер, поскольку оно определяется не только температурным и ветровым режимом, но весьма существенно зависит и от радиационного режима.

Величина τ зависит, разумеется, и от коэффициента воздухопроницаемости γ , возрастая с его увеличением, однако эта зависимость, как видно из табл. 2, выражена сравнительно слабо. Более конкретно это означает следующее. Если мы, допустим, уменьшим

сопротивление стен, то теплотери за отопительный период возрастут как из-за того, что увеличится интенсивность теплопотерь, так и вследствие того, что увеличится продолжительность отопительного периода. Вклады обоих этих факторов в увеличение суммарных теплопотерь сопоставимы друг с другом.

В качественном отношении то же произойдет и при увеличении коэффициента воздухопроницаемости. Однако продолжительность отопительного периода увеличится сравнительно слабо, так что суммарные теплотери возрастут не столько вследствие этого увеличения, как главным образом потому, что интенсивность теплопотерь

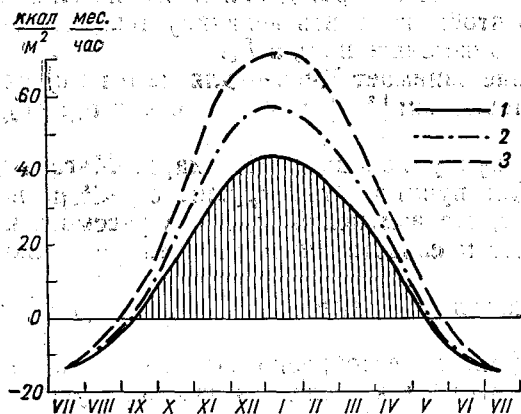


Рис. 2. Годовой ход удельных теплопотерь для Новосибирска (восточная стена, половинный учет радиации).

1 — основной вариант; площадь, пропорциональная удельным теплопотерям, заштрихована; 2 — $\gamma = 0,6$; 3 — $R_c = 0,49$ м²/час·град/ккал.

в каждый момент отопительного периода будет больше. Это различие в характере влияния вариаций R_c и γ на режим теплопотерь можно иллюстрировать кривыми годового хода удельных теплопотерь для Новосибирска, приведенными на рис. 2. Суммарные теплотери пропорциональны площади под кривыми годового хода теплопотерь (для основного варианта эта площадь на рис. 2 заштрихована). Мы видим, что при увеличении γ эта площадь возрастает главным образом потому, что увеличиваются все ординаты, в то время как в случае уменьшения R_c существенную роль играет также и увеличение области интегрирования, т. е. продолжительность отопительного периода t .

Указанное различие в характере влияния R_c и γ на режим теплопотерь имеет, разумеется, существенное практическое значение. Объяснение этого различия состоит в следующем. Вклад воздухообмена в теплотери зданий наиболее значителен в центральные месяцы зимы. В переходные сезоны этот вклад мал. Поэтому моменты начала и конца отопительного периода определяются главным образом взаимодействием между кондуктивными теплопотерями и лучистыми теплопоступлениями и мало зависят от воздухопроницаемости ограждения.

Все же, несмотря на малость влияния изменений коэффициента γ на продолжительность отопительного периода τ , можно для районов с резко отличающимися режимами скорости ветра уловить различия в этом влиянии. Так, при изменении коэффициента γ , допустим, от 0,10 до 0,40 сек/м продолжительность отопительного периода возрастает в Якутске всего на неделю, в то время как в Петропавловске-Камчатском τ увеличивается почти на месяц.

Впрочем, основное назначение табл. 2 состоит не в получении выводов общего характера, а в иллюстрации возможностей априорной оценки изменений теплопотерь в результате тех или иных изменений теплотехнических параметров ограждения. При желании можно получить подобную информацию не только для случая изменения какого-либо одного из таких параметров, но и для случаев изменения сразу нескольких параметров, в число которых помимо R_c и γ можно включить также термическое сопротивление окон и другие характеристики.

Однако было бы неправильным стремиться «заготовить» заранее подобные таблицы для всех мыслимых изменений параметров применительно к всевозможным климатическим условиям. Имея климатологическую информацию о температуре, ветре и лучистых потоках тепла, целесообразно выполнять подобные вычисления всякий раз, когда в них возникает конкретная потребность. Как показано в работе [2], эти вычисления весьма легко реализуются на ЭВМ и в случае необходимости могут быть произведены в кратчайшие сроки.

Вместе с тем возможность предвидеть заранее, к каким последствиям в отношении режима теплопотерь приведет тот или иной выбор значений термических параметров ограждения в том или ином конкретном климатическом районе, имеет весьма большое значение. Реализация этой возможности позволит избежать многих недостаточно продуманных конструктивных решений, которые нередко случаются в современной строительной практике.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гандин Л. С. О расчете длительности отопительного периода и норм отопления в различных климатических условиях. — Труды ГГО, 1971, вып. 285.
2. Клягина Л. П. Алгоритм и программа расчета характеристик теплового режима зданий. — См. наст. сб.

ДЛИТЕЛЬНОСТЬ ОТОПИТЕЛЬНОГО ПЕРИОДА И ОЦЕНКА ЕГО СУРОВОСТИ НА ТЕРРИТОРИИ СССР

Согласно существующей методике [4], длительность отопительного периода представляет собой отрезок времени, в течение которого средняя суточная температура воздуха равна $+8^{\circ}$ и ниже. При определении этой величины учитывается лишь влияние температуры воздуха. Однако такой подход физически неверен, так как тепловой режим здания определяется не только температурой воздуха, но также ветром и солнечной радиацией, особенно существенной в весенние месяцы.

В данном исследовании определение длительности отопительного периода проводится с учетом влияния температуры воздуха, ветра и солнечной радиации как при полной радиации — I (случай открыто стоящего здания), так и при половинном ее значении — $I/2$ (попытка учета влияния городской застройки) [1, 2].

Расчет отопительного периода связан с определением дат его начала и конца, которые в свою очередь определяются переходом через нуль величин дефицита тепла в годовом ходе. Если дефициты тепла только положительны в течение года, отопление должно продолжаться круглый год (Диксон, м. Шмидта). Для некоторых типов зданий в южных районах дефициты тепла будут только отрицательны, тогда отопительный период равен нулю. На большей части территории Советского Союза величина дефицита тепла дважды меняет знак. Методика расчета как дефицитов тепла, так и характеристик отопительного периода, реализованная на ЭВМ М-220, рассмотрена в работе [3]. Результаты расчетов по данной программе для некоторых пунктов Советского Союза представлены в табл. 1 (полученные данные относятся к стенам восточной ориентации).

На большей части территории Советского Союза длительность отопительного периода, вычисленная по методике СНиП, больше, чем по предлагаемой теории (табл. 1).

При расчетах, выполненных по I , различие с данными СНиП составляет 10—20% и свидетельствует о том, что влияние радиации достаточно велико в общем тепловом балансе здания.

Например, в южных районах (Одесса, Тбилиси, Баку) отопительный период, принятый в настоящее время, мал. В западных районах ЕТС отопительный период по СНиП превосходит отопи-

Таблица 1

Продолжительность отопительного периода
в сутках при полном (а) и половинном (б) учете
радиации и согласно СНиП (в)

Пункт	а	б	в	$\frac{а}{в} \%$	$\frac{б}{в} \%$
Мурманск	248	307	271	92	113
Архангельск	232	277	250	93	111
Ленинград	207	246	219	95	112
Москва	203	239	214	95	112
Куйбышев	192	226	204	94	111
Курск	199	228	199	100	114
Киев	179	214	185	97	116
Одесса	167	200	162	103	123
Тбилиси	131	172	129	102	133
Баку	134	170	113	118	150
Ереван	126	164	144	88	114
Диксон	347	360	360	96	100
Тикси	295	360	360	82	100
Туруханск	239	290	276	87	105
Якутск	223	263	254	88	104
Марково	231	283	283	82	100
Свердловск	208	246	228	91	108
Братск	226	261	242	93	108
Магадан	213	295	277	77	106
Новосибирск	208	242	227	92	106
Иркутск	209	256	238	88	108
Хабаровск	188	228	209	90	109
Целиноград	198	231	216	92	107
Ташкент	123	160	130	95	123
Алма-Ата	150	186	166	90	112
Норильск	262	309	297	88	104
Владивосток	178	240	202	88	118

тельный период по предлагаемой теории, но ненамного, вследствие преобладания в этих районах облачной погоды (Рига, Ленинград, Курск). В тех районах, где радиация играет существенную роль и где имеется минимальное количество облачных дней, особенно в зимние, весенние и осенние месяцы, там превышение отопительного периода по СНиП доходит до 15—20% (Тикси, м. Шмидта).

Уменьшение влияния радиации вдвое по-разному сказывается на продолжительности отопительного периода. Это в первую очередь зависит от погодных условий весной и отчасти осенью, когда величина тепла от солнечной радиации сопоставима с теплотеперьями, обусловленными температурой воздуха и ветром. В северных районах Европейской территории Союза ССР при учете только половины радиации длительность отопительного периода уменьшается на 10—15%. В более южных районах эта разница достигает 15—20%. Особенно велико влияние радиации на крайнем юге, где длительность отопительного периода вообще невелика, солнечной радиации много и изменение ее величины приводит к увеличению продолжительности отопительного периода в 1,5—2 раза (Тбилиси, Сочи). Почти такие же изменения в длительности отопительного периода при уменьшении величины солнечной радиации происходят в Средней Азии (Ташкент). На Азиатской территории Союза СССР уменьшение радиации вдвое увеличивает продолжительность отопительного периода по сравнению со СНиП в пределах 5—10%.

Интересно оценить изменение продолжительности отопительного периода, вычисленного с учетом влияния полной радиации (I) и половинной ($I/2$). В наиболее холодных районах различие в продолжительности отопительного периода ограничивается длиной года. Например, в Тикси при расчетах по I топить нужно 265 дней, по $I/2$ — 365 дней и по СНиП тоже 365 дней. В районах, характеризующихся большим притоком солнечной радиации, переход от I к $I/2$ изменяет отопительный период на 40—50%. Распределение значений продолжительности отопительного периода на территории СССР приведены на рис. 1, где сплошными линиями показаны районы с отопительным периодом, рассчитанным по полной радиации (I), а пунктиром показано распределение отопительного периода при половинной радиации ($I/2$). Итак, на территории, расположенной севернее линии Кишинев — Ростов-на-Дону — Уральск — Джезказган — Балхаш продолжительность отопительного периода составляет от 200 до 365 дней в году. Как на Европейской территории Союза ССР, так и в Казахстане и на юге Западной Сибири увеличение продолжительности отопительного периода происходит постепенно, градиент очень невелик. Отопление в течение 250 дней и более необходимо в районах, расположенных севернее и восточнее линии Ленинград — Пермь — Тобольск — Красноярск — Иркутск — Чита — Николаевск-на-Амуре. Очень продолжительный отопительный период наблюдается на северных побережьях страны — 300—365 дней в году. Несмотря на длительную полярную ночь, влияние радиации в этих районах довольно значительно, и, как показывают расчеты, переход от I к $I/2$ увеличивает продолжительность отопительного периода на 40—50 дней и более. Значительный интерес представляет влияние радиации на Украине и в западных районах страны. Если вести расчет продолжительности отопительного периода по $I/2$, то топить нужно в этих районах от 200 до 250 дней, а при полном I — от 150 до 200 дней. Это

относится и к центральному и к восточному районам Европейской территории Союза ССР, где влияние радиации велико и является следствием ясной весенней погоды, теплой и солнечной днем и холодной ночью. Например, в Киеве продолжительность отопительного периода при учете I составляет 179 дней, в то время как сокращение радиации вдвое увеличивает время отопления на 35 дней. То же можно сказать и о Свердловске, где это различие составляет 38 дней. Следует также обратить внимание на распределение длительности отопительного периода на Дальнем Востоке, где вследствие муссонного климата зимой очень велико влияние солнечной радиации. В зависимости от степени учета солнечной радиации (I или $I/2$) период отопления меняется на 30—40% (Владивосток, Хабаровск).

Большой интерес представляет средний за отопительный период дефицит тепла \bar{D} и величина $\bar{T}_{эф}$, соответствующая разности между температурой в помещении, равной 18°C , и \bar{D} . Величина $\bar{T}_{эф}$ представляет собой некоторую характеристику суровости отопительного периода, выраженную в $^\circ\text{C}$. $\bar{D} = \frac{\Theta}{\tau}$, т. е. является отношением сумм дефицитов тепла Θ к продолжительности отопительного периода τ . Определив по расчетам величину \bar{D} и вычтя ее из $T_{в} = 18^\circ\text{C}$, определим значение $\bar{T}_{эф}$.

На рис. 2 представлено распределение $\bar{T}_{эф}$ по территории Советского Союза. Расчеты проведены для величины солнечной радиации, равной $I/2$. Анализ данных позволяет сделать ряд выводов.

Как и следовало ожидать, наиболее суровые условия наблюдаются в Восточной Сибири и на северном побережье Азиатской территории Союза ССР. Причем, на побережье суровость сопоставима с условиями в центральной Якутии, наиболее холодной части Советского Союза. Величины $\bar{T}_{эф}$ до $-20, -21^\circ$ относятся к долинам рек центральной Якутии. Для горных районов Якутии эти величины будут гораздо меньше.

На севере Европейской части Союза ССР, в Западной Сибири и на Дальнем Востоке величина $\bar{T}_{эф}$ составляет от 3 до 10° и не очень значительно меняется на большой территории. В центральных и западных районах Европейской территории Союза ССР $\bar{T}_{эф}$ положительна, мала по абсолютному значению и градиент ее невелик. Это означает, что даже при учете лишь половины солнечной радиации расход топлива здесь не очень значителен из-за сравнительно небольших теплопотерь при достаточно длительном отопительном периоде.

В южных районах $\bar{T}_{эф}$ составляет $+9, +12^\circ$, ее градиент здесь довольно велик и определяется быстрым изменением длительности отопительного периода по территории и значительным влиянием солнечной радиации.

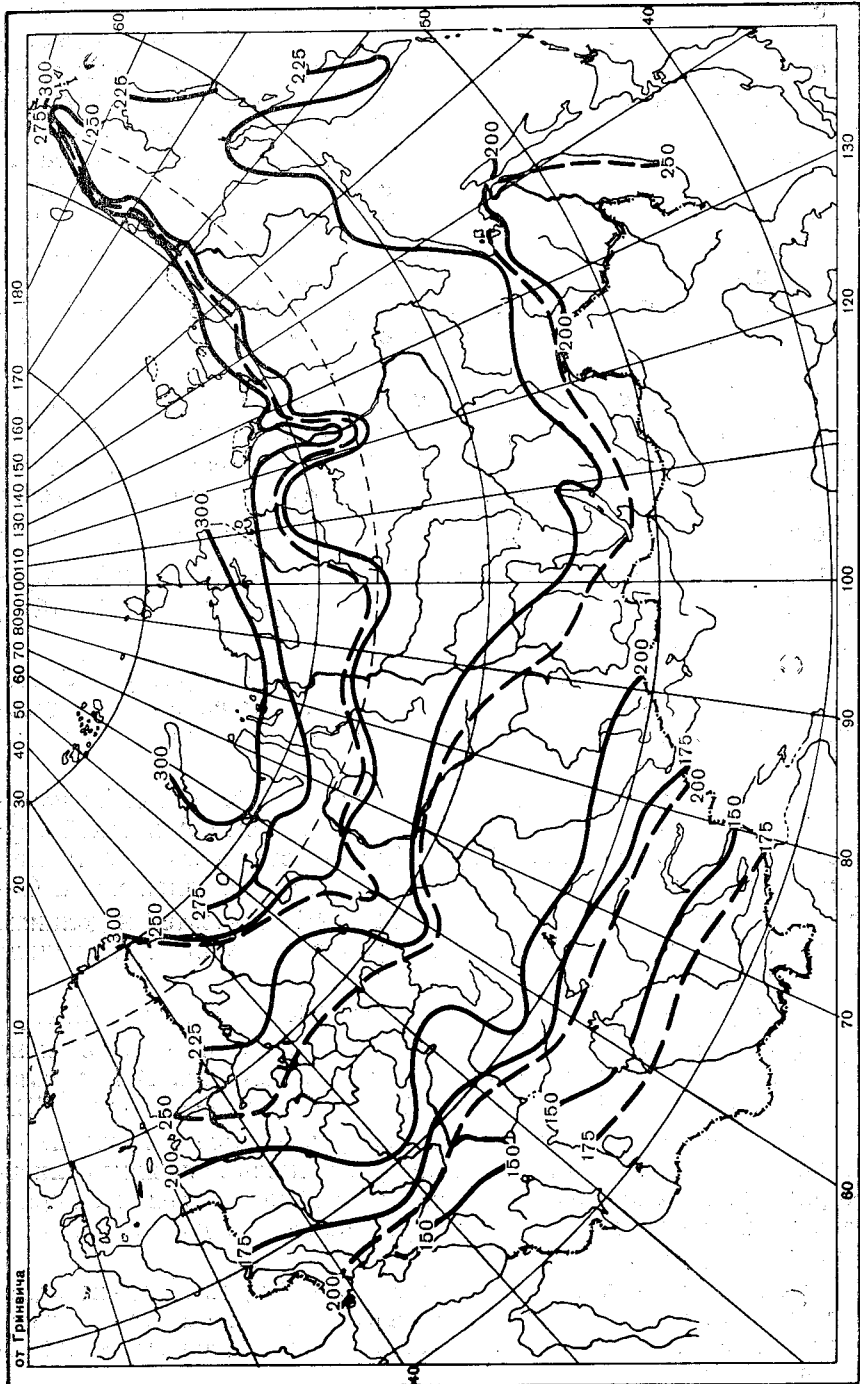


Рис. 1. Продолжительность отопительного периода на территории СССР.

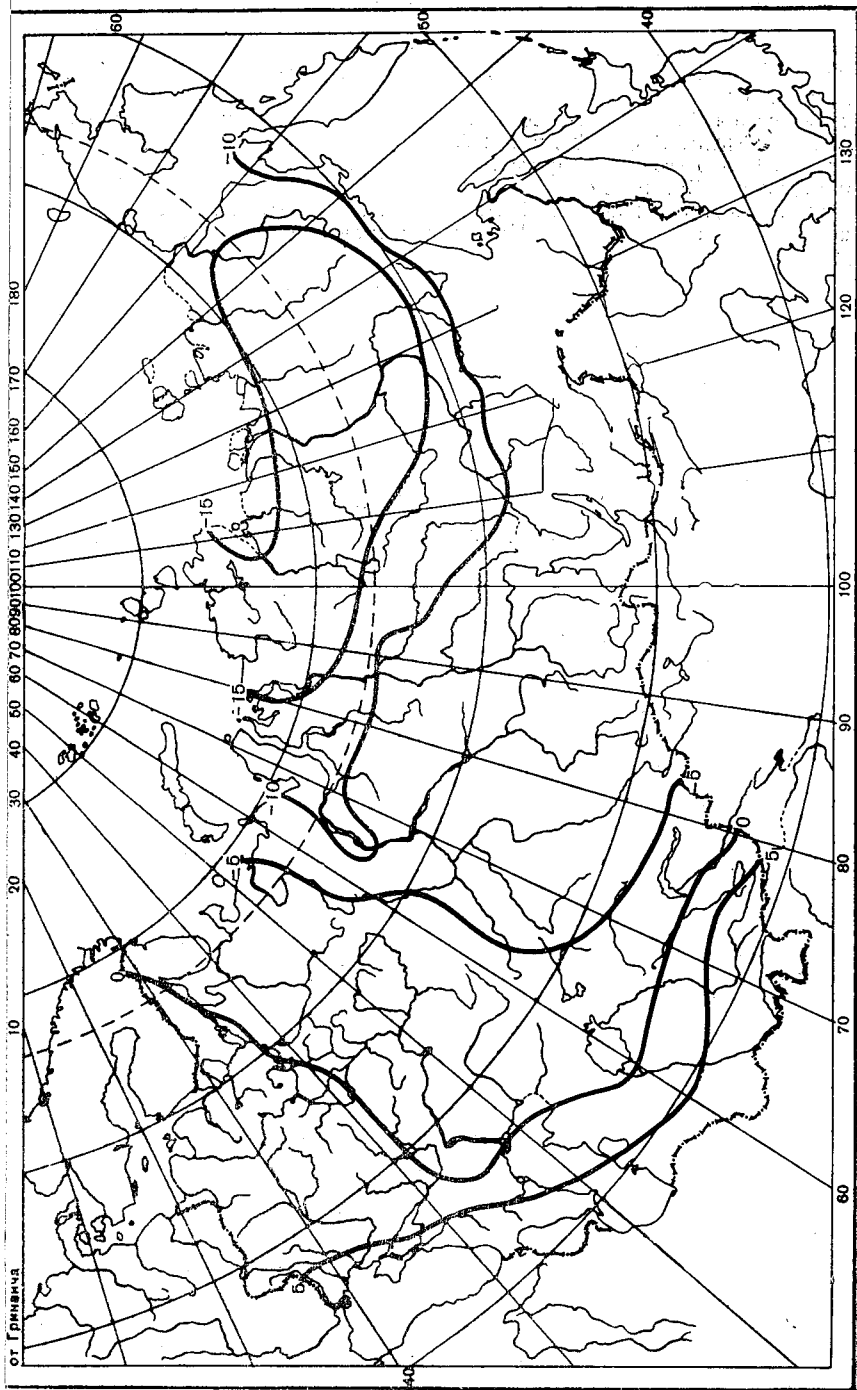


Рис. 2. Изменение $\bar{T}_{ф}$ по территории СССР.

ЛИТЕРАТУРА

1. Г ан д и н Л. С. Тепловой режим зданий и лучистый теплообмен.— Труды ГГО, 1970, вып. 268.
2. Анапольская Л. Е. Оценка дефицита тепла в различных климатических условиях.— Труды ГГО, 1971, вып. 285.
3. К ля г и н а Л. И. Алгоритм и программа расчета характеристик теплового режима зданий.— См. наст. сб.
4. Строительные нормы и правила. Ч. II, разд. Г, гл. 7. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Нормы проектирования. М., Госстройиздат, 1964.

АЛГОРИТМ И ПРОГРАММА РАСЧЕТА ХАРАКТЕРИСТИК ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА ЗДАНИЙ

В ряде работ Л. С. Гандиным [1, 2, 3] была предложена стационарная теория теплового режима зданий при учете влияния кондуктивно-инфильтрационного и радиационного теплообмена, т. е. теплообмена, обусловленного теплопроводностью материала ограждающих конструкций, проникновением воздуха сквозь щели и отверстия в ограждении и влиянием коротковолновой и длинноволновой радиации. Сведения о тепловом режиме зданий необходимы при решении ряда строительных задач. Например, знания о годовом ходе теплотерь позволяют определить даты начала, конца и продолжительность отопительного периода. В свою очередь, сведения о режиме отопления необходимы для планирования запасов топлива и решения ряда других задач.

В качестве конечной формулы рассматриваемой теории выберем

$$\bar{P}(t) = \frac{T_b - \bar{T}_n(t)}{R} + \frac{\tau_0}{R_0} \{A[\gamma \bar{V}(t)] - 1\} [T_b - \bar{T}_n(t)] - \tau_0 \epsilon_0 \bar{I}(t) - P'(t), \quad (1)$$

где $\bar{T}_n(t)$, $\bar{V}(t)$, $\bar{I}(t)$ — средние многолетние данные о температуре воздуха, скорости ветра и коротковолновой солнечной радиации; \bar{T}_b — температура воздуха внутри помещения, принятая в СНиП равной 18°C; τ_0 — относительная площадь окон; γ — коэффициент воздухопроницаемости остекленной части здания; ϵ_0 — коэффициент пропускания суммарной солнечной радиации, падающей на остекленные части поверхности ограждения.

Суммарное термическое сопротивление R вычисляется по формуле

$$\frac{1}{R} = \frac{1 - \tau_0}{R_c} + \frac{\tau_0}{R_0}, \quad (2)$$

где R_c и R_0 — термические сопротивления стен и окон соответственно.

Функция $A[\gamma \bar{V}(t)]$, зависящая от скорости ветра (\bar{V}) и мало

изученного до настоящего времени коэффициента воздухопроница-
ния (γ), представляется формулой

$$A[\gamma \bar{V}(t)] = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \gamma \bar{V}(t) \int_0^{\infty} e^{-\frac{x^2}{2}} \operatorname{cth}[\gamma \bar{V}(t)x] x dx. \quad (3)$$

$\bar{P}(t)$ — это теплопотери здания, а P' — внутренние дополнительные
тепловыделения, которые обычно невелики и в настоящих расчетах
не учитываются из-за недостаточного количества знаний о них.

Формулу (1) можно записать в другом виде, вводя так называемые
дефициты тепла ΔT , ΔT_V и ΔT_P :

$$\bar{P}(t) = \frac{1}{R} [\Delta T_n(t) + \Delta T_V(t) - \Delta T_P(t)], \quad (4)$$

где

$$\Delta T_n = T_B - \bar{T}_n(t); \quad (5)$$

$$\Delta T_V = \frac{R}{R_0} \tau_0 [A[\gamma \bar{V}(t)] - 1] [T_B - \bar{T}_n(t)]; \quad (6)$$

$$\Delta T_P = \tau_0 \varepsilon_0 R \bar{I}(t). \quad (7)$$

Обозначая

$$\Delta T_{\text{эф}} = \Delta T_n + \Delta T_V - \Delta T_P, \quad (8)$$

формулу (4) можно записать

$$\bar{P}(t) = \frac{\Delta T_{\text{эф}}}{R}. \quad (9)$$

Формулы (5) — (7) показывают вклад каждого метеорологиче-
ского элемента (температуры воздуха, ветра и солнечной радиа-
ции) в теплопотери зданий. Зная средние значения метеорологиче-
ских элементов, входящих в расчет теплопотерь, можно рассчитать
и годовой ход самих теплопотерь. На большей части территории
Советского Союза теплопотери в течение годового хода дважды
переходят через нуль, что соответствует времени начала и конца
отопительного периода. Зная даты начала (t_1) и конца (t_2) отопи-
тельного периода, можно определить и его продолжительность

$$D = t_1 - t_2. \quad (10)$$

Продолжительность отопительного периода, в отличие от дат
начала и конца его, мало зависит от предположения о стационар-
ности процесса. За время отопительного периода можно определить
суммарные дефициты тепла

$$\Theta = \int_{t_1}^{t_2} \Delta T_{\text{эф}} dt \quad (11)$$

или удельные теплопотери

$$P(t) = \frac{1}{R} \int_{t_1}^{t_2} \Delta T_{\text{эф}} dt. \quad (12)$$

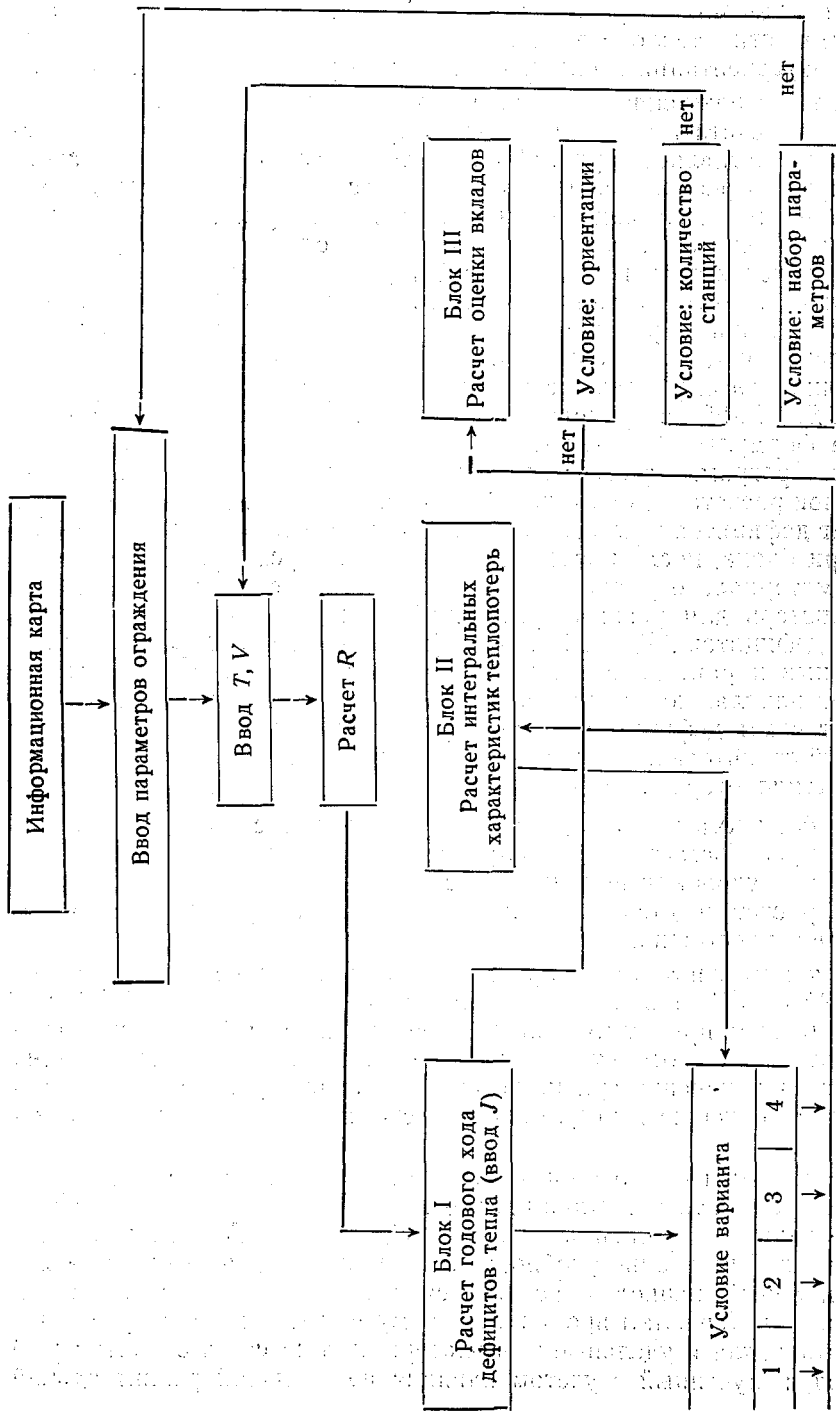


Рис. 1. Блок-схема программы расчета характеристик теплового режима зданий.

На основании перечисленных формул можно рассчитать ряд характеристик теплового режима зданий для одной станции, выбранной ориентации и определенного набора теплотехнических параметров ограждения. Наиболее сложные функции, как $A[\gamma\bar{V}(t)]$, можно рассчитать заранее и затабулировать, тогда остальной расчет не представляет труда. Однако для выполнения такого расчета вручную потребовалось бы около 10 час. Но, чтобы исследовать влияние климатических факторов на тепловой режим зданий, выявить различного рода закономерности распределения отдельных характеристик теплопотерь по всей территории Советского Союза, а также изучить влияние параметров ограждения на тепловой режим зданий в различных климатических условиях, необходим массовый счет, на который потребовалось бы большое количество времени. Поэтому была составлена программа на языке АЛГОЛ-60 для ЭВМ М-220 с транслятором ТА-1, использующая написанные выше формулы. Блок-схема этой программы представлена на рис. 1. Программа состоит из трех основных блоков. Первый блок — это блок расчета годового хода дефицитов тепла, который включает расчет дефицитов тепла ΔT_n , ΔT_v , ΔT_p и $\Delta T_{эф}$ по формулам (5—8). Внутри блока, после расчета ΔT и ΔT_v , предусмотрен ввод числового материала о радиации (I), чтобы при расчете характеристик теплопотерь для разных ориентаций зданий избежать повторного счета дефицитов ΔT_n и ΔT_v . Второй блок — это блок расчета интегральных характеристик теплопотерь зданий, который включает расчет начала, конца, продолжительности отопительного периода, расчет сумм дефицитов тепла и удельных теплопотерь за вычисленный отопительный период. Вычисление интегральных характеристик теплопотерь зданий проводится для ряда вариантов:

- 1) без учета как воздухообмена, так и лучистого теплообмена;
- 2) пренебрегается только лучистым теплообменом;
- 3) воздухообмен не учитывается;
- 4) расчет ведется по полной теории, т. е. с учетом всех механизмов теплообмена.

Для последних трех вариантов суммирование проводится для всех $\Delta T_n > 0^\circ\text{C}$, а в первом варианте ограничение $\Delta T_n > 10^\circ\text{C}$, что соответствует принятым в настоящее время способам оценки продолжительности отопительного периода. Кроме того, вычисляется процент уменьшения суммы дефицитов тепла с учетом всех факторов по отношению к результатам расчетов по существующему методу.

Третий блок — это блок оценки вкладов каждого метеорологического элемента в теплопотери зданий. Использовать полученные ранее данные для оценки вкладов ΔT_n , ΔT_v и ΔT_p в тепловой режим зданий не вполне удобно, так как при каждом новом варианте отопительный период определяется заново и данные относятся к разным интервалам времени. Поэтому в третьем блоке суммы дефицитов тепла и удельные теплопотери считаются за отопительный период, полученный с учетом влияния на тепловой режим зданий

Таблица 1

Расчет годового хода дефицитов тепла и интегральных характеристик теплопотерь зданий

Полная радиация

Сад-Город (Владивосток)

Параметры ограждения:

Восток

$R = 0,86 \text{ м}^2 \text{ час} \cdot \text{град/ккал}$; $R_0 = 0,58 \text{ м}^2 \text{ час} \cdot \text{град/ккал}$;

$R_c = 1,09 \text{ м}^2 \text{ час} \cdot \text{град/ккал}$; $\tau_0 = 0,3$, $\epsilon_0 = 0,67$, $\gamma = 0,2 \text{ сек/м}$.

Годовой ход

Дефициты тепла	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
ΔT_n	32,4	28,9	21,6	13,9	9,0	5,0	0,5	-2,0	2,1	9,2	19,3	28,3
ΔT_V	8,8	7,0	4,2	2,8	1,7	0,8	0,1	-0,3	0,3	1,9	4,8	6,9
ΔT_p	10,9	13,5	15,9	16,4	18,1	15,0	14,7	14,0	14,5	12,8	9,5	8,8
$\Delta T_{эф}$	30,2	22,4	9,9	0,3	-7,4	-9,1	-14,2	-16,3	-12,1	-1,7	14,6	26,4

Интегральные характеристики

Номер вари- анта	θ	P	t_2 месяцы	t_2 дни	t_1 месяцы	t_1 дни	D месяцы	D дни	$P_{\text{при } \Delta T_{эф}}$	
									P	при % СНИП
1	150,8	174,8	4	09	9	17	6	22	—	
2	208,6	241,9	6	21	7	29	11	07	—	
3	69,7	80,8	3	06	9	23	5	13	—	
4	102,9	119,3	3	16	9	18	5	28	32	

Оценка

Дефициты тепла	$\theta_{\text{при } D_4}$	$P_{\text{при } D_4}$	N %
ΔT_n	141,6	164,6	138
ΔT_V	33,9	39,4	33
ΔT_p	72,6	84,5	71

всех механизмов теплообмена. Оценки влияния каждого из метеорологических факторов проводятся при задании отопительного периода, полученного по полной теории.

Каждый блок кончается печатью таблицы, которую при необходимости можно исключить. Перед началом блоков рассчитывается общее термическое сопротивление по формуле (2). Программа начинается с информационной карты с указанием числа ориентаций поверхности ограждения, количества станций и количества ситуаций (т. е. наборов теплотехнических параметров здания). Расчет

Расчет годового хода дефицитов тепла и интегральных характеристик теплопотерь зданий

Половина радиации

Сад-Город (Владивосток)

Параметры ограждения:

Восток

 $R = 0,86 \text{ м}^2 \text{ час} \cdot \text{град}/\text{ккал}; R_0 = 0,58 \text{ м}^2 \text{ час} \cdot \text{град}/\text{ккал}; R_c = 1,09 \text{ м}^2 \text{ час} \cdot \text{град}/\text{ккал};$
 $\tau_0 = 0,3; \varepsilon_0 = 0,67; \gamma = 0,2 \text{ сек}/\text{м}.$

Годовой ход

Дефициты тепла	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
ΔT_n	32,4	28,9	21,6	13,9	9,0	5,0	0,5	-2,0	+2,1	19,2	19,3	28,3
ΔT_V	8,8	7,0	4,2	2,8	1,7	0,8	0,1	-0,3	0,3	1,9	4,8	6,9
ΔT_p	5,5	6,8	8,0	8,2	9,0	7,5	7,4	7,0	7,2	6,4	4,8	4,4
$\Delta T_{эф}$	35,7	29,1	17,9	8,5	1,6	-1,7	-6,8	-9,3	-4,8	4,7	19,3	30,8

Интегральные характеристики

Номер вари- анта	θ	p	t_2 месяцы	t_2 дни	t_1 месяцы	t_1 дни	D месяцы	D дни	$\frac{P_{\text{при } \Delta T_{эф}}}{P_{\text{при СНИП}}}$ %
1	150,8	174,8	4	09	9	17	6	22	—
2	208,6	241,9	6	21	7	29	11	07	—
3	108,6	126,1	4	15	9	04	7	25	—
4	146,0	169,3	4	29	9	01	8	0	3

Оценка

Дефициты тепла	$\theta_{\text{при } D_4}$	$P_{\text{при } D_4}$	N %
ΔT_n	161,2	186,9	110
ΔT_V	37,7	43,7	26
ΔT_p	52,8	61,2	36

теплового режима здания по предлагаемой программе для одной станции, заданной ориентации и определенного набора тепло-технических параметров ограждения производится в течение 30 сек. Исходным материалом для расчета по данной программе служит набор теплотехнических параметров ограждения: термические

сопротивления стен (R_c) и окон (R_o) в $\text{м}^2/\text{час} \cdot \text{град}/\text{ккал}$, относительная площадь окон (τ_o), коэффициент пропускания солнечной радиации через остекленные части ограждения (ϵ_o) и коэффициент воздухопроницаемости (γ) в $\text{сек}/\text{м}$. К метеорологическим величинам, используемым в программе, относятся температура воздуха (T_n) в $^\circ\text{C}$, скорость ветра (V) в $\text{м}/\text{сек}$. и суммарная коротковолновая радиация (I), падающая на вертикальные поверхности, в $\text{ккал}/\text{м}^2 \text{ час}$.

В качестве примера расчета характеристик теплопотерь зданий приведены результаты для стен восточной ориентации на ст. Сад-Город (Владивосток). Все характеристики теплового режима зданий рассчитаны при двух условиях. В первом случае на стены падает вся коротковолновая радиация, а во втором — только ее половина. Результаты расчета представлены в табл. 1 и 2.

На печать выдаются эти таблицы, в начале которых помещаются сведения о теплотехнических параметрах, используемых в расчетах. Первая таблица «Годовой ход» представляют 12 значений, соответствующих годовому ходу дефицитов тепла, графики которого приведены также на рис. 2. Из рисунка видно, что дефициты тепла ΔT_n , ΔT_v и $\Delta T_{\text{эф}}$ имеют ярко выраженный годовой ход с максимумом зимой (январь) и минимумом летом (август). Амплитуда колебаний ΔT_n достаточно велика ($34,4^\circ$) по сравнению с амплитудой ΔT_v ($9,2^\circ$). Сами значения дефицитов ΔT_v не превышают $8,0^\circ$, в то время как значения дефицитов ΔT_n доходят до 32° . Естественно, что вклад воздухообмена в теплопотери зданий будет невелик. Что касается радиационных теплопоступлений, то они имеют обратный годовой ход с минимумом в декабре ($-8,8^\circ$) и максимумом в мае ($18,1^\circ$). Теплопоступления за счет коротковолновой радиации, особенно весной, снижают теплопотери зданий, что должно сказаться на сроках окончания отопительного периода.

Во второй таблице «Интегральные характеристики» представлены суммы дефицитов тепла за отопительный период (Θ), удельные теплопотери за этот же период (P), показаны конец (t_2), начало (t_1) и продолжительность (D) отопительного периода в месяцах и днях.

В последней графе приведен процент уменьшения сумм дефицитов тепла, вычисленных по полной теории по отношению к результатам существующего в настоящее время метода. Например, из табл. 1 и рис. 2 видно, что продолжительность отопительного периода D (I) для стен восточной ориентации ст. Сад-Город (Владивосток) при учете полной радиации составляет 178 дней, в то время как при учете только половины радиации отопительный период D (II) увеличивается до 240 дней (табл. 2). Следовательно, радиационный фактор в теплопотерях зданий для рассматриваемого случая играет существенную роль и пренебрежение этим фактором приводит к значительному увеличению отопительного периода, а следовательно, и к увеличению связанных с ним затрат топлива. Как указывалось ранее, радиация оказывает большое влияние на теплопотери зданий в весенний период, поэтому конец отопительного

периода по полной теории (табл. 1) при условии стационарности процесса приходится на 16 апреля, в то время как при существующих в настоящее время расчетах заканчивать отопительный сезон

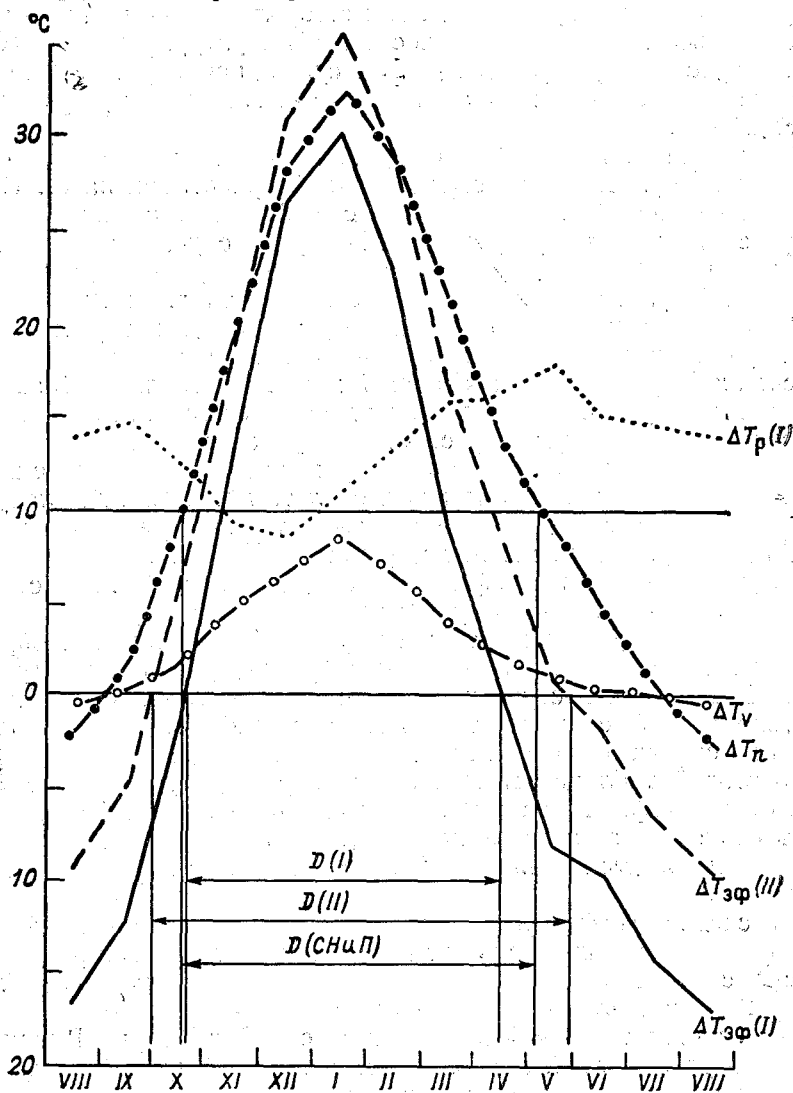


Рис. 2. Годовой ход дефицитов тепла ΔT_n , ΔT_γ , ΔT_p , $\Delta T_{эф I}$ (при условии I) и $\Delta T_{эф II}$ (при условии I/2).

необходимо 9 мая. Это лишний раз подтверждает, что в теплотеплотах зданий необходимо учитывать радиационный механизм теплообмена. Сравнивая суммы дефицитов тепла (табл. 1), можно видеть, что они меньше по предлагаемой теории, чем по существующему методу, и этот выигрыш составляет 32%.

Третья таблица «Оценка» показывает вклад каждого механизма теплообмена при условии расчета параметров режима отопления по полной теории. В таблице печатаются суммы дефицитов тепла ($\Theta_{\text{при}D_4}$), удельные теплопотери ($P_{\text{при}D_4}$) и процент вклада каждого механизма в общие теплопотери (N). В данном примере основной вклад в теплопотери зданий вносит температура воздуха (кондуктивный теплообмен). Большое значение имеет радиационный фактор, который в первом случае (табл. 1) составляет половину вклада, вносимого температурой воздуха (71%), а во втором (табл. 2) вклад его уменьшается до 36%.

Влиянием воздухообмена также пренебрегать вельзя, хотя в первом случае вклад его намного меньше, чем вклад температуры воздуха и радиации, а в случае, когда на стены попадает только половина коротковолновой радиации, вклад воздухообмена сравним с вкладом солнечной радиации.

Таким образом, в рассмотренном случае при расчетах характеристик теплопотерь зданий нельзя пренебрегать ни одним механизмом теплообмена.

ЛИТЕРАТУРА

1. Г ан д и н Л. С. К теории теплового режима зданий.—Труды ГГО, 1967, вып. 209.
2. Г ан д и н Л. С. Тепловой режим зданий и лучистый теплообмен.—Труды ГГО, 1970, вып. 268.
3. Г ан д и н Л. С. О влиянии ветра на тепловой режим зданий.—Труды ГГО, 1970, вып. 268.

ПРЯМАЯ СОЛНЕЧНАЯ РАДИАЦИЯ, ПОСТУПАЮЩАЯ НА ВЕРТИКАЛЬНЫЕ СТЕНЫ ПРИ УСЛОВИИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ

При разработке различного рода строительных задач учет влияния солнечной радиации ограничивался вопросами определения светового режима помещений и влиянием лучистых потоков на теплоощущения человека. В нормативных документах сведения о количестве солнечной радиации, приходящей на вертикальные поверхности, до последнего времени вообще отсутствовали. Только в 1962 г. в связи с вопросами учета вредного действия проникающей внутрь зданий солнечной радиации в условиях летнего перегрева помещений, были включены в СНиП и стали нормативными максимальные за час величины прямой солнечной радиации при безоблачном небе на вертикальные поверхности четырех основных ориентаций для июня [6]. Но солнечная радиация оказывает и полезное влияние на тепловой режим зданий [1, 2], особенно в зимний период для районов с малооблачной зимой. В последнее время З. И. Пивоваровой [4, 5] были получены и проанализированы распределения средних многолетних месячных значений лучистых потоков, падающих на вертикальные поверхности заданной ориентации при средних условиях облачности. Но в этих работах есть одно условие, которое ограничивает использование полученных данных при теплотехнических расчетах зданий, расположенных в городской застройке. Оно заключается в том, что вертикальные стены принимаются свободно стоящими без затенения их окружающими предметами. В городской застройке, которая естественно уменьшает приход лучистых потоков и в первую очередь прямой солнечной радиации на вертикальные поверхности, использование таких данных приведет к некоторому занижению как величин теплопотерь, так и длительности отопительного периода.

Целью настоящей работы является расчет прямой солнечной радиации на вертикальные стены различной ориентации в условиях городской застройки. Для решения задачи в первом приближении необходимо определенным образом схематизировать геометрическую форму улицы. Принимаем улицу прямолинейной, бесконечной длины и одинаковой ширины на всем протяжении. При этом как ширина улицы, так и высота домов может варьироваться в процессе эксперимента.

При указанных предположениях поперечное сечение городско-

го рельефа в направлении, перпендикулярном направлению улицы, имеет вид, изображенный на рис. 1, где $\alpha(k)$ — угол закрытости горизонта, вычисляемый по формуле

$$\alpha(k) = \arctg \frac{(H - k \Delta h)}{L} \quad \text{при } k = 1, 2, 3, \dots, n,$$

где H — высота зданий, L — ширина улицы, Δh — шаг по высоте поверхности здания, $n = \frac{H}{\Delta h}$.

Для простоты изложения будем считать, что Δh соответствует высоте одного этажа здания, тогда величина n равна количеству этажей в здании, а k показывает номер этажа, для которого ведется расчет.

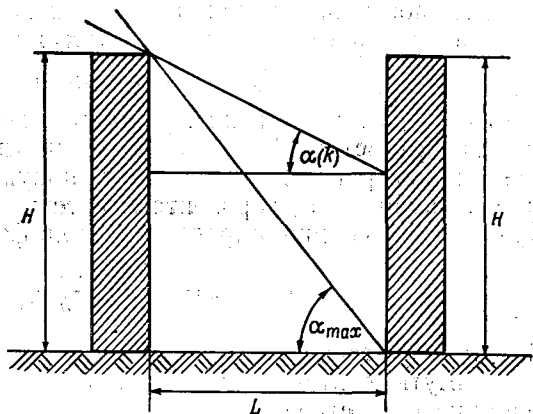


Рис. 1. Приход солнечной радиации в условиях города.

Естественно, что вертикальная поверхность будет полностью освещена, если высота солнца h_{\odot} больше максимального угла закрытости горизонта ($\alpha_{max} = \arctg \frac{H}{L}$). Чем выше здание и чем меньше ширина улицы, тем угол закрытости больше, поэтому меньше количество этажей будет освещено, особенно зимой, когда солнце поднимается на небольшую высоту.

Расчет времени восхода и захода солнца при определенных углах закрытости горизонта определяется по обычным астрономическим формулам

$$\sin h_{\odot} = \sin \delta \sin \varphi + \cos \delta \cos \varphi \cos \Theta, \quad (1)$$

откуда

$$\cos \Theta = \frac{\sin h_{\odot} - \sin \delta \sin \varphi}{\cos \delta \cos \varphi}, \quad (2)$$

где h_{\odot} — высота солнца над горизонтом; δ — склонение солнца; φ — широта места наблюдения; Θ — часовой угол солнца, выраженный в единицах времени. Он представляет собой истинное солнечное время, отсчитываемое от полудня.

Поэтому

$$\tau_в = 12 - \Theta + \gamma, \quad (3)$$

$$\tau_з = 12 + \Theta + \gamma, \quad (4)$$

где γ — уравнение времени.

Если здание стоит отдельно и его не затеняют никакие другие объекты, то время восхода солнца определяется по формулам (2), (3) из условия, что $\sin h_{\odot} = 0$. Если же здание стоит в городской застройке, то стены его будут инсолированы только в том случае, если $h_{\odot} \geq \alpha(k)$. Определив по формулам (2) — (4) время восхода и захода солнца, можно найти продолжительность инсоляции стены любой ориентации.

Пересчет прямой солнечной радиации, поступающей на вертикальные поверхности зданий, основан на применении формул сферической тригонометрии и актинометрии [3]:

$$S_в = S_{\perp} \cos h_{\odot} \cos (A_{\odot} - A_c), \quad (5)$$

где $S_в$ — прямая солнечная радиация, поступающая на вертикальные поверхности; S_{\perp} — прямая солнечная радиация, поступающая на поверхность, перпендикулярную солнечным лучам; h_{\odot} — высота солнца над горизонтом, рассчитываемая по формуле (1); A_{\odot} — азимут солнца, определяемый по формуле

$$\cos A_{\odot} = \frac{\sin h_{\odot} \sin \varphi - \sin \delta}{\cos h_{\odot} \cos \varphi}; \quad (6)$$

A_c — азимут стены.

Азимуты считаются положительными от точки юга в направлении часовой стрелки.

Для стен южной ориентации при $A_c = 0^\circ$ расчет прямой солнечной радиации ведется по следующей формуле

$$S_{в(юг)} = S_{\perp} \cos h_{\odot} \cos A_{\odot} = S_{\perp} (\sin \delta \cos \varphi - \cos \delta \sin \varphi \cos \Theta).$$

Для стен западной и восточной ориентации при $A_c = \pm \frac{\pi}{2}$ прямая солнечная радиация может быть вычислена по формуле

$$S_{в(запад, восток)} = \pm S_{\perp} \cos h_{\odot} \sin A_{\odot} = \pm S_{\perp} \cos \delta \sin \Theta.$$

Для стен, направленных на север и имеющих $A_c = \pi$, количество прямой солнечной радиации рассчитывают по формуле

$$S_{в(север)} = - S_{\perp} \cos h_{\odot} \cos A_{\odot} = S_{\perp} (\sin \delta \cos \varphi - \cos \delta \sin \varphi \cos \Theta).$$

Суммируя пересчитанные на вертикальные поверхности часовые значения прямой солнечной радиации, начиная со времени восхода и до времени захода солнца, находим суммы прямой солнечной радиации на участок этой поверхности при определенном угле закрытости горизонта и заданной ориентации стены:

$$S'_в(k) = \int_{\tau_в}^{\tau_з} S_в d\tau.$$

Чтобы найти величину прямой солнечной радиации за сутки для стены в среднем, необходимо рассчитать, какое количество прямой радиации получает каждый участок стены, а затем осреднить по всей поверхности ограждения:

$$\bar{S}_B = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^{k=n} \int_{\tau_B}^{\tau_3} S_B d\tau.$$

Вводя безразмерный параметр $m = \frac{H}{L}$, который характеризует определенный вариант застройки, можно говорить об инсоляции стен любой ориентации в каждом конкретном случае. Можно оценить количество прямой радиации, поступающей на вертикальную поверхность в среднем для всей стены, а также выяснить, какое количество прямой радиации поступает на каждый этаж здания.

Таблица 1

Среднее время освещенности (час.) участков вертикальной поверхности (этажей) южной ориентации при $m=1,8$ на ст. Сад-Город (Владивосток)

α°	Этаж	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Сумма за год	β
61	1					2,6	3,4	3,0	0,4					286	92
58	2					3,4	4,0	3,5	2,0					392	89
54	3				1,8	4,2	4,7	4,4	3,0					550	85
50	4				3,2	5,2	5,6	5,2	4,2	0,6				730	80
45	5				4,6	6,2	6,6	6,2	5,2	3,4				979	73
39	6			3,2	6,0	7,4	7,8	7,4	6,6	5,0	0,8			1344	64
31	7		2,2	5,2	7,4	8,8	8,2	8,8	8,0	6,8	4,8			1830	50
22	8	3,0	5,2	7,2	9,2	9,0	8,8	9,8	9,8	8,6	7,0	4,8	2,4	2578	30
11	9	6,2	7,6	9,8	10,6	9,2	9,8	9,8	9,8	10,6	9,2	7,6	6,4	3241	12
0		8,8	9,8	11,4	10,6	9,2	9,8	9,8	9,8	11,8	11,4	10,0	9,0	3691	

Определение суточных сумм прямой солнечной радиации, поступающей на вертикальные поверхности, производилось по средним месячным часовым суммам прямой солнечной радиации, падающей на перпендикулярную солнечным лучам поверхность, данные о которых брались из Справочника по климату Советского Союза [7]. Данные о склонении солнца выбирались на 15 число каждого месяца из астрономического ежегодника [8].

В настоящей работе приход прямой солнечной радиации на вертикальные стены четырех основных ориентаций рассмотрен для ст. Сад-Город (Владивосток) и ст. Москва.

Расчет производился по программе, написанной на языке АЛГОЛ-60 для ЭВМ М-220.

Чтобы рассмотреть распределение сумм потоков прямой радиации для каждого участка вертикальной поверхности, необходимо определить период освещенности этого участка. Таблицы 1 и 2 показывают среднее время освещенности в часах участков вер-

Таблица 2

Среднее время освещенности (час.) участков вертикальной поверхности (этажей) южной ориентации при $m = 1,8$ на ст. Москва

α°	Этаж	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Сумма за год	β
61	1														
58	2														
54	3						2,6	1,6						128	96
50	4					2,6	4,2	3,6						316	91
45	5					4,6	5,6	5,2	2,8					553	85
39	6				3,8	6,4	7,4	6,8	5,2					900	75
31	7			1,2	6,2	8,4	9,2	8,6	7,2	4,8				1386	62
22	8			6,0	8,6	10,2	9,6	9,8	9,4	7,4	4,2			1982	45
11	9	2,2	5,6	8,4	11,0	10,8	9,8	9,8	11,8	10,2	7,8	4,8		2803	22
0		7,0	9,0	11,2	11,0	10,8	9,8	9,8	11,8	11,8	10,8	8,6	7,0	3605	

тикальной поверхности южной ориентации при $m=1,8$, что соответствует, например, варианту двухсторонней застройки улицы шириной 15 м девятиэтажными зданиями высотой 27 м. Величины β в последней графе таблицы представляют собой отношение времени освещенности к его значению для открыто стоящего здания.

Если в течение года южная стена, не затененная другими объектами, на станциях Сад-Город и Москва инсолируется соответственно в течение 3691 и 3605 час., то при принятом варианте городской застройки она будет полностью освещена на ст. Сад-Город только в течение 286 час., начиная с первого этажа, а на ст. Москва в течение 128 час., начиная с третьего этажа. Сравнивая табл. 1 и 2, можно заметить, что время освещенности этажей южной ориентации на ст. Москва заметно меньше, чем на ст. Сад-Город.

Такое различие в освещенности объясняется тем, что для ст. Москва, расположенной севернее ст. Сад-Город, максимальные высоты солнца существенно ниже. Но независимо от широтного расположения пунктов, во-первых, наблюдается увеличение периода инсоляции от нижних этажей к верхним и, во-вторых, для нижних этажей характерно, что максимальное время облучения приходится на июнь, а для открыто стоящего здания — на периоды весеннего и осеннего равноденствия.

Естественно, что суммы прямой солнечной радиации будут распределяться подобным же образом и максимальное количество их будет приходится, во-первых, на последние этажи и, во-вторых, на те месяцы, когда оптимальные условия облучения стен южной

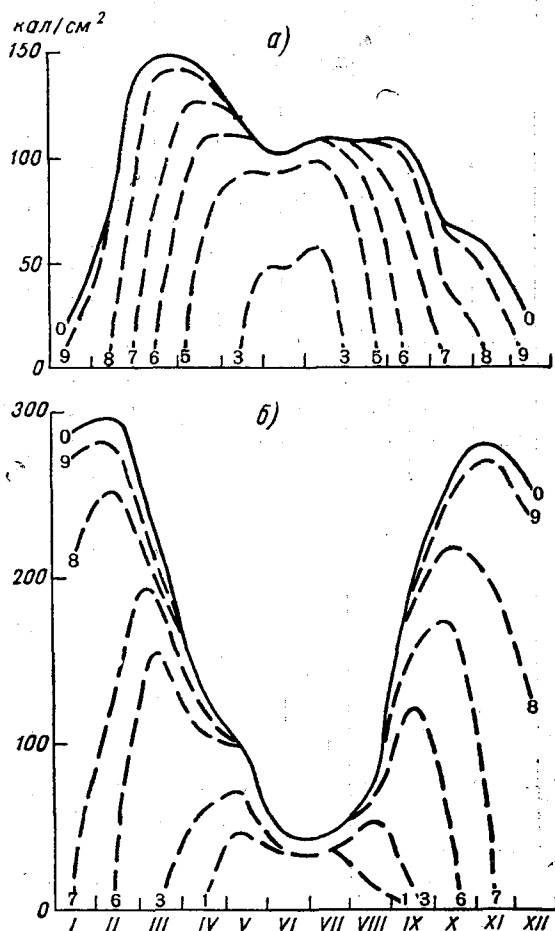


Рис. 2. Поэтажное распределение суточных сумм прямой радиации в годовом ходе для южной ориентации на ст. Москва (а) и ст. Сад-Город (б).

ориентации будут совпадать с периодом небольшой облачности. Что касается максимума освещенности в летний период, то в суммах прямой солнечной радиации он наблюдаться не будет, так как летом с увеличением высоты солнца на вертикальные поверхности будет приходится меньшее количество прямой радиации.

Поэтажное распределение сумм прямой солнечной радиации в годовом ходе (рис. 2) для южной поверхности стены

Средние суточные суммы прямой солнечной радиации (кал/см²) для участков вертикальной поверхности южной ориентации при $m = 1,8$

α°	Этаж	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Сад-Город													
61	1					46	38	38	12				
58	2					70	38	38	33				
54	3				60	70	38	38	51				
50	4				92	70	45	46	51	27			
45	5				92	85	45	46	63	121			
39	6			155	115	90	46	48	63	121	38		
31	7		131	196	127	90	46	48	68	152	174		
22	8	210	255	219	129	90	46	48	68	171	222	199	120
11	9	260	283	226	129	90	46	48	68	176	250	274	233
0		282	290	226	129	90	46	48	68	176	258	278	250

Москва

61	1												
58	2												
54	3						49	63					
50	4					59	75	79					
45	5					90	94	100	48				
39	6				102	111	103	100	95				
31	7			67	129	122	103	110	106	74			
22	8			139	143	123	103	110	108	105	42		
11	9	14	72	144	147	123	103	110	108	109	69	45	
0		23	72	149	147	123	103	110	108	109	70	64	27

на станциях Москва и Сад-Город хорошо подтверждает высказанные предположения. Каждая кривая соответствует выбранному этажу, а кривая с индексом «0» представляет собой годовой ход сумм прямой радиации для открыто стоящего здания и хорошо согласуется с данными, полученными З. И. Пивоваровой [5]. Рисунок 2 наглядно показывает, что, во-первых, годовой ход сумм прямой солнечной радиации на любом участке вертикальной поверхности сохраняется. В годовом ходе характерно наличие двух ярко выраженных максимумов и двух минимумов, один из которых (летний) также хорошо выражен. Во-вторых, с увеличением угла за-

крытости горизонта максимумы сглаживаются и сдвигаются к летнему периоду, а амплитуда колебаний уменьшается. В-третьих, в летнее время все этажи получают сммы радиации, близкие к суммам, получаемым южной стеной, не затененной другими объектами. Даже на нижние этажи, получающие радиацию в условиях принятой застройки, будет приходится до 50% прямой радиации по отношению к открытому горизонту, а, начиная с пятого этажа, вертикальная поверхность получает до 90% прямой радиации (табл. 3). Что касается зимних месяцев, то потери радиации за счет городской застройки достаточно велики. В Москве, например, эти потери составляют 100% до восьмого этажа включительно, а на ст. Сад-Город — до шестого этажа. Что касается стен западной и восточной ориентации, то они получают почти одинаковое количество лучистой энергии, но гораздо меньшее, чем стены южной ориентации на любом участке вертикальной поверхности. Наибольшие радиационные потери за год приходятся на нижнюю половину здания (до пятого этажа включительно), где в среднем для двух ориентаций (S, E) потеря достигает 88% на ст. Сад-Город и 90% на ст. Москва. Верхние этажи, начиная с шестого, теряют меньшее количество прямой солнечной радиации. За год эти потери составляют до 40% на ст. Сад-Город и до 30% на ст. Москва (табл. 4).

Таблица 4

Распределение годовых сумм прямой солнечной радиации (ккал/см²) для участков вертикальной поверхности (этажей) при $m=1,8$ для стен южной (S) и восточной (E) ориентаций

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	$\alpha=0$	(1-5)	(6-9)
Сад-Город												
S_S	4,1	5,4	7,8	10,1	13,7	20,6	31,4	54,0	63,3	65,1	8,0	42,4
$\beta_S \%$	6	8	12	15	21	31	48	83	97		12	65
S_E	1,1	1,8	2,4	3,5	5,4	8,2	12,3	19,5	24,3	24,7	2,9	13,6
$\beta_E \%$	5	7	10	14	22	33	50	79	98		12	55
Москва												
S_S	—	—	3,4	6,5	10,1	15,5	21,6	26,8	31,7	33,6	4,0	23,9
$\beta_S \%$	—	—	10	19	30	46	64	79	95		12	71
S_E	—	—	0,5	1,7	3,7	6,6	10,5	15,3	19,0	19,6	1,2	12,8
$\beta_E \%$	—	—	3	9	19	34	54	79	98		6	65

Таким образом, можно говорить об инсолируемости стен любой ориентации на любом участке вертикальной поверхности здания в условиях городской застройки. Эти данные необходимы для учета отпуска тепла при позонном регулировании режима отопления. Но в настоящее время позонное регулирование отпуска

Средние суточные суммы прямой радиации (кал/см²) для стен южной ориентации (а) и их отношение (%) к открыто стоящему зданию (б) для различных вариантов городской застройки

<i>m</i>		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Москва													
0	а	23	72	149	147	123	103	110	108	109	70	64	27
	б	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0,4	а	12	48	144	146	123	103	110	108	107	60	36	9
	б	53	67	97	99	100	100	100	100	98	86	56	33
0,8	а	7	29	100	133	120	103	108	105	80	36	22	6
	б	32	40	67	90	98	100	98	97	73	51	34	22
1,2	а	5	21	71	96	107	98	103	82	57	26	16	4
	б	23	29	48	65	87	95	94	76	52	37	25	15
1,6	а	4	16	56	74	84	82	87	64	44	20	12	3
	б	18	22	37	50	68	80	79	59	40	29	19	11
2,0	а	3	13	45	61	68	67	71	52	36	16	10	2
	б	15	18	30	42	55	65	65	48	33	23	16	9
2,4	а	2,8	11	38	51	58	56	60	44	31	14	8	2
	б	12	16	26	35	47	54	54	41	28	20	12	7
2,8	а	2,5	10	33	45	50	49	52	38	26	12	7	2
	б	11	13	22	31	41	48	47	35	24	17	11	7
3,2	а	2,2	8	29	39	44	43	46	34	23	11	6	2
	б	10	11	20	27	36	42	42	31	21	16	10	6
3,6	а	1,9	7,6	26	35	39	38	41	30	21	10	6	1
	б	8	11	17	24	32	37	37	28	19	14	9	5
4,0	а	1,7	6,9	24	32	36	35	37	27	19	9	5	1
	б	7	10	16	22	29	34	34	25	17	13	8	4
Сад-Город													
0	а	279	290	226	129	90	46	48	68	176	258	279	252
	б	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0,4	а	225	285	224	129	90	46	48	68	174	255	238	192
	б	81	98	99	100	100	100	100	100	99	99	86	76
0,8	а	135	197	204	125	90	46	48	67	165	189	143	115
	б	48	68	91	98	100	100	100	98	94	73	51	46
1,2	а	96	141	146	116	88	46	47	64	139	135	102	82
	б	34	49	65	90	97	99	99	94	79	52	36	33

m		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1,6	a	75	109	114	97	83	44	46	59	108	105	79	64
	б	27	38	50	75	91	96	96	87	62	41	28	25
2,0	a	61	90	93	79	76	42	42	50	89	86	65	52
	б	22	31	41	61	84	91	88	73	50	33	23	21
2,4	a	52	76	79	67	64	40	39	42	75	73	55	44
	б	19	26	35	52	71	86	81	62	43	28	20	17
2,8	a	45	66	68	58	56	36	34	36	65	63	48	38
	б	16	23	30	45	62	78	71	53	37	24	17	15
3,2	a	40	58	60	51	49	32	30	32	57	56	42	34
	б	14	20	27	39	54	69	62	47	32	22	15	13
3,6	a	36	52	54	46	44	29	27	29	51	50	38	30
	б	13	18	24	36	49	61	56	42	29	19	14	12
4,0	a	32	47	49	42	40	26	24	26	46	45	34	27
	б	11	16	22	33	44	56	50	38	26	17	12	11

тепла носит экспериментальный характер. Поэтому в первую очередь для учета влияния солнечной радиации на тепловой режим зданий необходимо знать величины потоков радиации в среднем для всей стены.

В табл. 5 представлены средние суточные суммы прямой радиации для стен южной ориентации при различных вариантах застройки на ст. Москва и Сад-Город. $m=0$ соответствует открытому стоящему зданию. Сравнивая величины прямой радиации для двух пунктов, можно отметить, что для любого варианта застройки вертикальные поверхности южной ориентации в Москве получают гораздо меньшие суммы прямой радиации в силу своего широтного расположения. Правда, в летнее время на станции Сад-Город отмечаются довольно низкие значения потоков прямой радиации, что связано в основном с преобладанием в это время пасмурной погоды. В годовом ходе наблюдается ярко выраженный весенний максимум прямой радиации, приходящийся на ст. Москва на март, а на ст. Сад-Город на февраль. Повсеместно в июне наблюдается летний минимум. Для ст. Сад-Город характерна большая амплитуда колебаний (224 кал/см^2) величин прямой радиации, что вызвано особым расположением станции в муссонном климате. Именно поэтому на ст. Сад-Город отмечаются самые низкие суммы радиации. В Москве амплитуда колебаний гораздо меньше (126 кал/см^2). Такое распределение средних суточных сумм радиации в годовом ходе на двух рассматриваемых пунктах характерно для любого варианта городской застройки, хотя с увеличением параметра m величины потоков прямой радиации уменьшаются, оба максимума, весенний и осенний, сдвигаются к летнему

минимуму, который остается постоянным и приходится на июль. Второй минимум при любом m остается также постоянным во времени и приходится на декабрь. При увеличении m амплитуда колебаний уменьшается.

Для стен западной и восточной ориентации характерны, во-первых, наличие годового хода при любом параметре m ; во-вторых, гораздо меньшие величины прямой радиации по сравнению с южной ориентацией; в-третьих, с увеличением m уменьшение экстремальных значений потоков и, следовательно, сглаживание годового хода. Что касается стен, направленных на север, то даже при открытом горизонте они получают прямую радиацию только в летний период. Величины потоков прямой солнечной радиации очень малы и практически их можно принять равными нулю, так как даже открыто стоящее здание получает в среднем около 5 кал/см^2 за сутки на ст. Москва и 2 кал/см^2 за сутки на ст. Сад-Город. Правда, можно отметить, что все рассуждения о распределении средних суточных сумм потоков прямой радиации при различных вариантах застройки можно отнести и к стенам северной ориентации.

Таким образом, можно сформулировать следующие выводы.

1. Величина потоков прямой радиации существенно зависит от городской застройки (т. е. от параметра $m = \frac{H}{L}$).

2. Наибольшее количество прямой радиации при любых значениях m из четырех рассматриваемых ориентаций получают стены, направленные на юг. По отношению к южным стенам стены, направленные на север, получают только до 5% прямой солнечной радиации, в то время как стены западной и восточной ориентаций — до 40—50%.

3. Годовой ход сумм потоков прямой радиации для любых ориентаций сохраняется с увеличением параметра m , максимумы сглаживаются и сдвигаются к летнему периоду, амплитуда колебаний уменьшается, величины потоков с увеличением m также уменьшаются.

4. Потери прямой радиации увеличиваются в зимний период и уменьшаются в летний.

ЛИТЕРАТУРА

1. Анапольская Л. Е., Гандин Л. С. Тепловой режим зданий в различных климатических условиях.— Труды ГГО, 1969, вып. 250.
2. Гандин Л. С. Тепловой режим зданий и лучистый теплообмен.— Труды ГГО, 1970, вып. 268.
3. Кондратьев К. Я. Актинометрия. Л., Гидрометеиздат, 1965.
4. Пивоварова З. И. Прямая солнечная радиация на территории СССР.— Труды ГГО, 1963, вып. 139.
5. Пивоварова З. И. Прямая солнечная радиация, поступающая на стены зданий.— Труды ГГО, 1967, вып. 193.
6. Строительные нормы и правила, ч. II, разд. Г, гл. 7. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. М., Госстройиздат, 1963.
7. Справочник по климату СССР. Л., Гидрометеиздат, 1966, вып. 26, ч. I.
8. Астрономический календарь. Ежегодник. 1971. М., «Наука», 1970.

ОБ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОФАСАДНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ОТОПЛЕНИЯ ПРИ УЧЕТЕ ВЛИЯНИЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

Возможность поддерживать комфортные условия в жилом помещении определяется теплотехническими параметрами здания, метеорологическими факторами, оказывающими влияние на тепловой режим дома, и условиями теплоснабжения здания.

Воздействие температуры воздуха, ветра и солнечной радиации на тепловой режим здания в значительной степени зависит от ориентации помещения. В первую очередь это связано с приходом солнечной радиации, под влиянием которой температурные условия в помещениях, обращенных в противоположные стороны, могут различаться на несколько градусов. Эти различия будут особенно велики при широтном расположении здания. Тенденция современной архитектуры к увеличению площади остекления здания заметно способствует возрастанию указанных температурных контрастов даже при условии центрального и местного регулирования отпуска тепла, не говоря уже о случае полного отсутствия регулирования отопления. В результате происходит перетапливание одних помещений и недотапливание других, что является нежелательным и с санитарно-гигиенической точки зрения, и с точки зрения экономного расходования топлива. Введение пофасадного регулирования дает возможность более рационально перераспределять тепло и поддерживать температурный режим в требуемых пределах.

Схема позонного регулирования предназначена для поддержания заданной температуры в определенной части здания в соответствии с ее фактическими теплопотерями. Достигается это путем автоматического перераспределения подачи различного количества тепла в разные части здания. Пофасадное регулирование может рассматриваться как частный случай позонного, когда различия в теплопотерях определяются лишь для разноориентированных вертикальных ограждений.

Пофасадное регулирование отопления позволяет рационально использовать дополнительные теплопоступления от солнечной радиации и тем самым дает определенную экономию топлива. В то же время пофасадное регулирование отопления требует определенных затрат на создание системы и ее эксплуатацию. Величина экономии будет зависеть как от климатических условий места строительства, так и от параметров здания.

Для определения рентабельности установки системы пофасадного регулирования можно, взяв за основу известную формулу приведенных затрат [1, 2], использовать значение коэффициента эффективности, учитывающего отношение величины ежегодной экономии к величине капитальных затрат на создание системы:

$$E = \frac{\mathcal{E}}{K} = \frac{C_0 - C_{\Pi}}{K_{\Pi} - K_0}, \quad (1)$$

где E — коэффициент эффективности¹; \mathcal{E} — экономия по зданию, получаемая при пофасадном регулировании тепла; C_0 — ежегодные расходы на отопление здания без пофасадного регулирования; C_{Π} — ежегодные расходы на отопление здания с пофасадным регулированием отпуска тепла; K_{Π} — капитальные затраты на создание системы пофасадного регулирования отопления; K_0 — капитальные затраты на создание местного регулирования отопления, если таковое предполагалось (в дальнейшем величина $K_0=0$); K — увеличение капитальных затрат на создание системы пофасадного регулирования по сравнению с другими возможными системами местного регулирования (в дальнейшем $K=K_{\Pi}$).

Величина C_{Π} из формулы (1) является суммой нескольких видов расходов:

$$C_{\Pi} = C_T + C_9 + C_a, \quad (2)$$

т. е. она складывается из C_T — расходы на тепловую энергию; C_9 — эксплуатационные расходы, включающие в себя заработную плату персонала, обслуживающего систему, расходы на ежегодный ремонт и стоимость электроэнергии, потребляемой системой; C_a — отчисления на амортизацию и капитальный ремонт.

Величина C_a определяется как $C_a = E_{\Pi} K$, где E — нормативный коэффициент эффективности.

При перераспределении тепла с помощью пофасадного регулирования величина возможной экономии тепла в общем случае определяется разностью между теплопотерями помещений, находящихся в наихудших условиях, и теплопотерями, средними для всего здания. В предположении изотропности инфильтрации по румбам² в наихудших условиях будет северная сторона, получающая наименьшее количество тепла от солнечной радиации.

Допустим, что удельные теплопотери через стену восточной ориентации в первом приближении близки к удельным теплопотерям здания в среднем.

В таком случае затраты на отопление могут быть определены следующим образом:

$$C_0 = SfP_c, \quad (3)$$

¹ Величина, обратная периоду окупаемости (T), т. е. $E = \frac{1}{T}$.

² Такое предположение приходится делать, так как неизвестен ветровой поток в условиях конкретной застройки.

$$C_T = SfP_B, \quad (4)$$

где P_c и P_B — суммарные за отопительный период удельные теплотери через ограждения северной и восточной ориентации соответственно (ккал/м²), S — площадь вертикальных ограждений здания (м²), f — стоимость тепла (руб/Гкал).

Величина возможной экономии по зданию (\mathcal{E}') в этом случае будет представлять

$$\mathcal{E}' = C_0 - C_T. \quad (5)$$

Очевидно, что P_c и P_B зависят от теплотехнических параметров здания и метеорологических факторов, которые различны в различных климатических условиях. К первым относятся сопротивление теплопередачи наружных стен и окон, относительная площадь окон и т. д. Ко вторым — температура воздуха, скорость ветра и солнечная радиация, попадающая в помещение через окно.

Цикл работ, выполненных в Главной геофизической обсерватории им. А. И. Воейкова [3, 4, 5, 6, 7], позволяет количественно определить влияние метеорологических факторов на тепловой режим зданий и оценить вклад лучистых потоков тепла. Согласно этим работам, допуская стационарность процесса теплотерии, по средним месячным данным о температуре воздуха, скорости ветра и суммарной солнечной радиации, падающей на различно ориентированные вертикальные поверхности, можно определить удельные значения суммарного количества тепла, необходимого для покрытия теплотерии и поддержания в помещении заданной температуры (18°C). Эти суммарные удельные значения необходимого количества тепла пропорциональны величинам дефицитов тепла, которые были рассчитаны на примере определенной модели здания за каждый месяц и за весь отопительный период. Отопительным периодом в данном случае является период, в течение которого результирующий поток тепла, складывающийся из кондуктивного, инфильтрационного и лучистого потоков, направлен через ограждение здания наружу, в результате чего в здании создается дефицит тепла и необходима работа отопления.

Количественные расчеты дефицитов тепла были выполнены в ГГО по значительному числу пунктов СССР для здания со следующими теплотехническими параметрами: термическое сопротивление стен $R_c = 1,09$ м²час·град/ккал, что соответствует стене в 2,5 кирпича; термическое сопротивление окна $R_o = 0,58$ м²час·град/ккал, что соответствует окну с двойным остеклением; коэффициент инфильтрации $\gamma = 0,2$ сек/м; относительная площадь окон $\tau = 0,3$; коэффициент пропускания окнами коротковолновой радиации $\epsilon = 0,67$; здание принимается отдельно стоящим, не затененным соседними домами.

Полученные значения дефицитов тепла в разных климатических условиях (при неизменных теплотехнических параметрах здания) позволили авторам проанализировать влияние различных

**Удельная экономия тепла при пофасадном регулировании (на 1 м²
за отопительный период)**

Пункт	Удельная экономия тепла, тыс. ккал		Стоимость удельной экономии тепла, руб.		Стоимость тепла f руб/Гкал
	ΔP	$\Delta P_{\text{макс}}$	\mathcal{E}^*	$\mathcal{E}^*_{\text{макс}}$	
Мурманск	10,2	27,2	0,10	0,26	9,63
Архангельск	14,4	37,4	0,09	0,24	6,54
Сыктывкар	11,9	33,1	0,06	0,16	4,81
Петрозаводск	15,3	35,6	0,11	0,25	7,91
Ленинград	14,4	34,0	0,08	0,20	5,86
Рига	13,6	29,7	0,09	0,20	6,65
Каунас	13,6	34,8	0,07	0,19	5,33
Минск	13,6	32,3	0,06	0,15	4,56
Москва	14,4	31,4	0,07	0,15	4,62
Курск	11,9	24,6	0,05	0,11	4,50
Воронеж	12,7	34,8	0,05	0,14	3,96
Киев	12,7	31,4	0,06	0,14	4,41
Одесса	13,6	32,3	0,06	0,15	4,45
Кишинев	11,9	35,6	0,07	0,22	6,26
Горький	15,3	34,8	0,05	0,12	3,55
Куйбышев	17,8	45,8	0,08	0,21	4,54
Волгоград	14,4	40,8	0,05	0,11	3,38
Тбилиси	9,4	32,3	0,06	0,20	6,30
Баку	10,2	29,7	0,04	0,11	3,88
Ереван	15,3	35,6	0,06	0,15	4,13
Уфа	16,1	40,0	0,06	0,15	3,75
Свердловск	16,1	45,8	0,05	0,15	3,17
Омск	19,6	59,5	0,07	0,22	3,63
Новосибирск	19,6	54,4	0,06	0,16	3,00
Красноярск	17,8	56,1	0,03	0,10	1,79
Иркутск	24,6	68,0	0,06	0,16	2,29
Чита	34,8	93,5	0,15	0,38	4,14
Якутск	22,9	58,6	0,15	0,37	6,35
Хабаровск	34,8	93,5	0,13	0,36	3,82
Владивосток	35,6	91,0	0,28	0,73	8,00
Петропавловск-Камчатский	34,0	86,7	0,27	0,68	7,90
Южно-Сахалинск	24,6	72,2	0,32	0,94	13,05
Гурьев	19,6	59,5	0,08	0,26	4,30

Пункт	Удельная экономия тепла, тыс. ккал		Стоимость удельной экономии тепла, руб.		Стоимость тепла f руб/Гкал
	ΔP	$\Delta P_{\text{макс}}$	\mathcal{E}^*	$\mathcal{E}^*_{\text{макс}}$	
Целиноград	27,2	74,7	0,11	0,31	4,18
Балхаш	27,2	74,7	0,10	0,27	3,64
Семипалатинск	25,5	62,9	0,08	0,20	3,25
Алма-Ата	14,4	46,7	0,08	0,26	5,49
Фрунзе	18,7	53,5	0,12	0,35	6,46
Ташкент	14,4	38,2	0,05	0,14	3,75
Ашхабад	12,7	29,7	0,07	0,16	5,48

метеорологических факторов и исследовать распределение дефицитов тепла по территории СССР [3, 6].

Как показали расчеты, вклад солнечной радиации в тепловой баланс здания велик. Удельная экономия тепла, которая может быть достигнута благодаря рациональному использованию лучистых потоков при применении пофасадного регулирования, определяется как разность удельных теплопотерь за отопительный период (ΔP) для помещений северной и восточной ориентации:

$$\Delta P = P_c - P_v. \quad (6)$$

Формулу (6) можно считать справедливой для зданий, в плане близких к квадрату, и для зданий, вытянутых в меридиональном направлении. В последнем случае величина экономии из-за условия стационарности будет занижена.

В отдельных случаях может быть достигнута большая экономия, в особенности при введении пофасадного регулирования для широтно расположенного здания типа «пластина». Считая теплопотери через торцовые стены, обращенные на восток и запад, весьма малыми, удельную экономию тепла ($\Delta P_{\text{макс}}$) можно будет определить как

$$\Delta P_{\text{макс}} = P_c - P_{\text{ю}}. \quad (6')$$

Переходя от величины удельной экономии тепла к ее денежному выражению, используем данные о стоимости тепла от ТЭЦ по [8] для большинства городов — центров энергосистем.

В табл. 1 приведены стоимость тепла от ТЭЦ (f руб/Гкал) и величины удельной экономии за отопительный период в единицах тепла и в денежном выражении для 40 пунктов, находящихся в различных климатических условиях, в общем случае (ΔP и \mathcal{E}^*) и при широтном расположении здания ($\Delta P_{\text{макс}}$ и $\mathcal{E}^*_{\text{макс}}$).

Из нескольких возможных систем пофасадного автоматического регулирования отопления в качестве примера возьмем систему, предложенную В. Т. Благих [9] и внедренную в жилищное

строительство в Челябинске. Рассмотрим эффективность ее применения в различных климатических условиях. Для этого используем расчеты экономии удельных теплотерь, описанные выше.

Согласно формулам (3)—(5), возможная экономия будет определяться:

для здания, расположенного меридионально,

$$\mathcal{E}' = C_0 - C_T = Sf \Delta P, \quad (7)$$

для здания, расположенного широтно,

$$\mathcal{E}'_{\text{макс}} = C_0 - C_{T_{\text{макс}}} = Sf \Delta P_{\text{макс}}. \quad (7')$$

Действительная же экономия, т. е. величина \mathcal{E} из формулы (1) будет определяться:

для здания, расположенного меридионально, так же как и для точечных зданий,

$$\mathcal{E} = C_0 - C_{\Pi} = Sf \Delta P - (C_9 + E_{\Pi}K), \quad (8)$$

для здания, расположенного широтно, полная экономия будет максимально возможной

$$\mathcal{E}_{\text{макс}} = C_0 - C_{\Pi_{\text{макс}}} = Sf \Delta P_{\text{макс}} - (C_9 + E_{\Pi}K). \quad (8')$$

Пофасадное регулирование отопления, предложенное В. Т. Благих, осуществляется с помощью домового узла связи с автоматическим или ручным управлением. В первом случае автоматизация регулировки выполняется бесконтактными полупроводниковыми приборами без обслуживания с техническим ресурсом 5 лет.

Стоимость такого оборудования и его установка (единовременные капитальные вложения, или K) составляет 1100 руб., эксплуатационные расходы (стоимость потребляемой мощности электроэнергии — C_9) — около 10 руб., а амортизационные отчисления — $0,2 K$, т. е. 220 руб. Следовательно, второе слагаемое в формуле (8) составит

$$C_9 + E_{\Pi}K = 230 \text{ руб.}$$

Допустим, что капитальные затраты на установку пофасадного регулирования одинаковы и равны 1100 руб. в любом из городов, для которых производится расчет. Тогда для каждого из них по формуле (1) можно определить значение E . Величина E была рассчитана нами для дома серии 1-464а-15 (пятиэтажный, шестисекционный), для которого в Челябинске В. Т. Благих установил пофасадное регулирование. Площадь наружных ограждений этого здания равна 2862 м² (длина 94,5 м; ширина 11,5 м, высота 13,5 м).

Расчет производился для зданий, ориентированных как в меридиональном, так и в широтном направлении. В результате получены величины полной экономии (по формуле (8)) и коэффициенты эффективности в общем случае (\mathcal{E} и E) и в случае максимального использования лучистого тепла ($\mathcal{E}_{\text{макс}}$ и $E_{\text{макс}}$). Результаты расчетов представлены в табл. 2. Сравнение полученных

Таблица 2

Возможная (\mathcal{E}' и $\mathcal{E}'_{\text{макс}}$) и действительная (\mathcal{E} и $\mathcal{E}_{\text{макс}}$) экономия
(в рублях) и коэффициент экономической эффективности (E и $E_{\text{макс}}$)
при пофасадном регулировании отопления для зданий серии 1-464а-15

Пункт	В общем случае или при меридиональ- ном расположении здания			При широтном расположении здания		
	\mathcal{E}'	\mathcal{E}	E	$\mathcal{E}'_{\text{макс}}$	$\mathcal{E}_{\text{макс}}$	$E_{\text{макс}}$
Мурманск	290	60	0,05	740	510	0,46
Архангельск	260	30	0,03	690	460	0,42
Сыктывкар	170	60	—	460	230	0,21
Петрозаводск	320	90	0,08	720	490	0,44
Ленинград	230	0	0,0	570	340	0,31
Рига	260	30	0,03	570	340	0,31
Каунас	200	-30	—	540	310	0,28
Минск	170	-60	—	430	200	0,18
Москва	200	-30	—	400	170	0,18
Курск	140	-90	—	320	90	0,08
Воронеж	140	-90	—	400	170	0,16
Киев	170	-60	—	400	170	0,16
Одесса	170	-60	—	430	200	0,18
Кишинев	200	-30	—	630	400	0,36
Горький	140	-90	—	340	110	0,10
Куйбышев	230	0	0,0	600	370	0,34
Волгоград	140	-90	—	320	90	0,08
Тбилиси	170	-60	—	570	340	0,31
Баку	110	-120	—	320	90	0,08
Ереван	170	-60	—	430	200	0,18
Уфа	170	-60	—	430	200	0,18
Свердловск	140	-90	—	430	200	0,18
Омск	200	-30	—	630	400	0,36
Новосибирск	170	-60	—	460	230	0,21
Красноярск	90	-140	—	290	60	0,05
Иркутск	170	-60	—	460	230	0,21
Чита	430	200	0,18	1060	860	0,78
Якутск	430	200	0,18	1060	330	0,76
Хабаровск	370	140	0,13	1030	800	0,73
Владивосток	800	570	0,52	2090	1860	1,70
Петропавловск-Камчатский	770	540	0,49	1950	1720	1,56
Южно-Сахалинск	910	680	0,62	2700	2470	2,25

Пункт	В общем случае или при меридиональном расположении здания			При широтном расположении здания		
	ϑ'	ϑ	E	$\vartheta'_{\text{макс}}$	$\vartheta_{\text{макс}}$	$E_{\text{макс}}$
Гурьев	230	0	0,0	740	510	0,46
Целиноград	320	90	0,08	890	660	0,60
Балхаш	290	60	0,05	770	540	0,49
Семипалатинск	230	0	0,0	570	340	0,31
Алма-Ата	230	0	0,0	740	540	0,49
Фрунзе	340	110	0,10	1000	770	0,70
Ташкент	140	-90	—	400	170	0,16
Ашхабад	200	-30	—	460	230	0,21

значений E и $E_{\text{макс}}$ с принятой величиной нормативного коэффициента $E_{\text{н}}$ (в данном случае $E_{\text{н}}=0,2$) позволяет по соотношению $E \geq E_{\text{н}}$ определить, где при указанных условиях пофасадное регулирование отопления экономически оправдано.

Из табл. 2 следует, что в общем случае для здания с указанной выше площадью наружных ограждений при принятых условиях в большинстве городов экономия при пофасадном регулировании либо меньше, либо незначительно превышает сумму амортизационных и эксплуатационных издержек. Тогда пофасадное регулирование может быть рентабельно лишь при значительном снижении величины K . Согласно табл. 2, при выбранных условиях в общем случае $E \geq 0,2$ будет лишь во Владивостоке, Южно-Сахалинске и Петропавловске-Камчатском, а в Чите и Якутске величина E немного меньше 0,2. Следовательно, пофасадное регулиро-

Таблица 3

Сравнение линейных размеров и площадей вертикальных ограждений зданий различных типов

Тип здания	Длина, м	Ширина, м	Высота, м	Площадь вертикальных ограждений, м ²	Серия дома
Пятиэтажный семисекционный	151	12	13,5	4400	1-ЛГ-504-3
Девятиэтажный семисекционный	152,5	12	24	7900	1-ЛГ-600А-5
Девятиэтажный точечный	19,5	18	24	1800	1-ЛГ-600А-1

Таблица 4

Коэффициент экономической эффективности пофасадного
отопления в домах с различными линейными размерами

Пункт	В общем случае или при меридиональном расположении здания (E)			При широтном расположении здания ($E_{\text{макс}}$)	
	девятитажный точечный	пятитажный семисекцион- ный	девятитажный семисекцион- ный	пятитажный семисекцион- ный	девятитажный семисекцион- ный
Мурманск . . .	—	0,19	0,51	0,83	1,66
Архангельск . . .	—	0,15	0,44	0,75	1,52
Сыктывкар . . .	—	0,03	0,22	0,52	0,94
Петрозаводск . . .	—	0,23	0,58	0,79	1,58
Ленинград . . .	—	0,11	0,36	0,69	1,23
Рига	—	0,15	0,44	0,59	1,23
Каунас	—	0,07	0,29	0,54	1,15
Минск	—	0,03	0,22	0,39	0,86
Москва	—	0,07	0,29	0,39	0,86
Курск	—	—	0,15	0,23	0,58
Воронеж	—	—	0,15	0,35	0,79
Киев	—	0,03	0,22	0,35	0,79
Одесса	—	0,03	0,22	0,60	0,86
Кишинев	—	0,07	0,29	0,66	1,37
Горький	—	—	0,15	0,27	0,65
Куйбышев	—	0,11	0,36	0,81	1,30
Волгоград	—	—	0,25	0,23	0,58
Тбилиси	—	0,03	0,22	0,59	1,23
Баку	—	—	0,08	0,23	0,58
Ереван	—	0,03	0,22	0,39	0,86
Уфа	—	0,03	0,22	0,39	0,86
Свердловск	—	—	0,15	0,39	0,86
Омск	—	0,07	0,29	0,67	1,37
Новосибирск	—	0,03	0,22	0,43	0,94
Красноярск	—	—	0,01	0,19	0,51
Иркутск	—	0,03	0,22	0,43	0,94
Чита	0,04	0,30	0,86	1,31	2,52
Якутск	0,02	0,35	0,79	1,27	2,35
Хабаровск	0,03	0,31	0,73	1,23	2,37
Владивосток	0,25	0,91	1,80	2,70	5,03
Петропавловск- Камчатский	0,24	0,87	1,73	2,52	4,67

Пункт	В общем случае или при меридиональном расположении здания (E)			В широтном расположении здания ($E_{\text{макс}}$)	
	девятиэтажный точечный	пятиэтажный семисекционный	девятиэтажный семисекционный	пятиэтажный семисекционный	девятиэтажный семисекционный
Южно-Сахалинск	0,32	1,07	2,09	3,55	6,54
Гурьев	—	0,11	0,36	0,83	1,66
Целиноград	—	0,23	0,58	1,03	2,03
Балхаш	—	0,19	0,51	0,87	1,73
Семипалатинск	—	0,11	0,36	0,59	1,23
Алма-Ата	—	0,11	0,36	0,83	1,66
Фрунзе	—	0,27	0,65	1,19	1,39
Ташкент	—	—	0,15	0,35	0,79
Ашхабад	—	0,07	0,29	0,43	0,94

вание оказывается рентабельно в городах, где, с одной стороны, высока стоимость тепла, а с другой — отопительный период характеризуется сочетанием низких температур воздуха со значительным поступлением тепла от солнечной радиации. Причем в этих случаях величина E оказывается в 2—3 раза больше, чем $E_{\text{н}}$. Поэтому можно полагать, что и увеличение капитальных затрат (K), которое, конечно, должно иметь место в этих районах, вряд ли изменит соотношение $E \geq E_{\text{н}}$.

Широтное расположение здания позволяет достигнуть экономического эффекта от применения пофасадного регулирования в значительном числе рассматриваемых городов.

Величина общей экономии будет существенно варьировать в зависимости от линейных размеров вертикальных ограждений. Возьмем для примера три типа зданий, линейные размеры которых (округленно) приводятся в табл. 3.

Для этих трех типов зданий значения \mathcal{E} и $\mathcal{E}_{\text{макс}}$ будут сильно различаться. Соответственно будут различаться и значения E и $E_{\text{макс}}$, что и видно из табл. 4. В ней величина $E_{\text{макс}}$ для точечного дома не рассчитывалась, так как в этом случае нельзя пренебрегать теплопотерями через поверхности, обращенные на запад и восток.

Очевидно, что при одном и том же значении K для домов с различными линейными размерами пофасадное регулирование будет более рентабельно в домах с большей площадью наружного ограждения. Действительно, из табл. 4 следует, что пофасадное регулирование более эффективно в зданиях с большей этажностью и большей протяженностью по фасаду. Так, применение пофасадного

регулирования для здания с наименьшей площадью наружных ограждений (в нашем случае — девятиэтажный точечный дом) оказывается эффективным лишь в Южно-Сахалинске, Владивостоке и Петропавловске-Камчатском. Пофасадное регулирование для пятиэтажного дома при увеличении его длины с 94,5 до 150 м будет рентабельным в большем числе пунктов (ср. табл. 2 и табл. 4).

Применение пофасадного регулирования для девятиэтажного здания типа «пластина» экономически эффективно на значительной части территории страны (Москва, Ленинград, Киев, Новосибирск, Тбилиси и др.). В городах, расположенных на юге Дальнего Востока, пофасадное регулирование окупит себя менее чем за год ($E > 1,0$).

При широтном расположении здания область эффективного применения пофасадного регулирования резко увеличивается и значительно сокращается период окупаемости. Как видно из табл. 4, пофасадное регулирование оказывается рентабельным даже для пятиэтажного здания (при длине фасада 150 м) практически во всех 40 рассмотренных пунктах. Тем более оно эффективно в этом случае для девятиэтажных зданий типа «пластина».

Вышеизложенное может, по всей вероятности, послужить основой методики, которая позволит определить целесообразность пофасадного регулирования отопления в каждом конкретном случае. Для этого нужно будет произвести расчет по параметрам интересующего нас здания (сопротивление теплоотдаче стен и окон, относительная площадь окон для каждого фасада и др.). Требуется также уточнить ориентацию здания, затененность вертикальных ограждений здания, влияние ветра на теплопотери с учетом его направления в условиях конкретной застройки.

Стоимость автоматического устройства для пофасадного регулирования, а также его установки и эксплуатации, стоимость отпускаемого тепла должны быть взяты конкретно для данного места.

Целесообразность введения пофасадного регулирования должна основываться на совместных исследованиях метеорологов, теплотехников и экономистов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Типовая методика определения экономической эффективности капитальных вложений. М., «Экономика», 1969.
2. Бройдо Н. Ф. Экономическая эффективность при проектировании систем автоматизации. Л., Госстройиздат, 1969.
3. Анапольская Л. Е., Гандин Л. С. Тепловой режим зданий в различных климатических условиях.— Труды ГГО, 1969, вып. 250.
4. Гандин Л. С. О влиянии ветра на тепловой режим зданий.— Труды ГГО, 1970, вып. 268.

5. Г ан д и н Л. С. Тепловой режим зданий и лучистый теплообмен.— Труды ГГО, 1970, вып. 269.
6. А на п о л ь с к а я Л. Е. Оценка дефицита тепла в различных климатических условиях.— Труды ГГО, 1971, вып. 285.
7. Г ан д и н Л. С. О расчете длительности отопительного периода и норм отопления в различных климатических условиях.— Труды ГГО, 1971, вып. 285.
8. П р е й с к у р а н т № 09-01. Тарифы на электрическую и тепловую энергию. М. Прейскурантгиз, 1966.
9. Б л а г и х В. Т. Пофасадное местное управление водяными системами теплоснабжения. Автореф. дис. ЧПИ, Челябинск, 1971.

Л. Е. АНАПОЛЬСКАЯ, О. Б. ПАШИНА

ОСОБЕННОСТИ СУТОЧНОГО ХОДА ТЕПЛОСОДЕРЖАНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ СССР

В соответствии с действующими нормативными документами [1], нормируемые метеорологические параметры и чистота воздуха в помещениях обеспечивается системами воздушного отопления, вентиляцией или кондиционированием воздуха. В качестве расчетных параметров используются данные, имеющие различную точность, полученные либо в результате обработки наблюдений по смоченному термометру (для ограниченного числа пунктов), либо по средней месячной температуре и относительной влажности воздуха в 13 час. самого жаркого месяца.

В табл. 4 СНиП III-Г.7-62 приведены данные о теплосодержании для расчета трех типов кондиционеров. Параметр А соответствует условиям, при которых принятое для расчета теплосодержание наблюдается не более 400 часов в год. Параметр Б соответствует условиям, при которых расчетное теплосодержание наблюдается не более 200 часов в год. Параметр В соответствует максимальному наблюдаемому в данном пункте теплосодержанию воздуха. Для тех пунктов, для которых не имелось обработанных данных по смоченному термометру, расчеты ведутся по температуре и относительной влажности в 13 час. самого жаркого месяца (параметр А); по максимальной температуре и вычисленной для нее абсолютной влажности (параметр В), а для параметра Б принимается средняя величина из двух указанных выше.

Таким образом, в качестве расчетных используются теплосодержания, вычисленные на основании как средних, так и максимальных величин температуры и относительной влажности воздуха. Принятый временной критерий нарушения работы кондиционера (400 и 200 часов) требует также соответствующего обоснования, для чего необходимо проведение специального исследования изменения во времени величины теплосодержания. До настоящего времени в литературе не имеется ни обоснования длительности нарушения работы машины, ни методики его определения. Не останавливаясь в данной работе на возможных путях определения длительности нарушений, отметим следующее: длительность периода необходимого кондиционирования определяется в инженерной практике периодом времени, в течение которого теплосодержание будет составлять 7 ккал/кг и более. На большей части территории СССР этот период составляет 3000—

4000 часов, следовательно, нарушение в работе кондиционера может быть допущено в пределах 10—14% времени (параметр А) и 5—7% (параметр Б). Теплосодержание рассчитывается по формуле:

$$I = 0,24t + (595 + 0,47t) \frac{d}{100}. \quad (1)$$

Вот такова вкратце методика выбора расчетных параметров для проектирования кондиционеров в настоящее время.

Исследования температурно-влажностного режима, проводившиеся в ГГО в последние годы, позволяют предложить для расчетов кондиционеров более точные данные, полученные на основании несколько иного подхода к выбору исходных расчетных характеристик. Как известно, теплосодержание воздуха определяется двумя величинами: температурой и относительной влажностью воздуха. Нелинейное изменение этих двух величин приводит к тому, что влияние температуры на колебания теплосодержания больше, чем влияние влажности. Незначительному изменению температуры при постоянной относительной влажности соответствуют более существенные колебания теплосодержания, чем изменению относительной влажности при неизменной температуре (табл. 1). По-

Таблица 1

Относительная влажность, %	Температура воздуха, град.				
	20,0—21,9	22,0—23,9	24,0—25,9	26,0—27,9	28,0—29,9
10,1—15,0	6,25	6,9	7,55	8,25	8,95
15,1—20,0	6,7	7,4	8,15	8,95	9,7
20,1—25,0	7,2	7,95	8,75	9,65	10,45
25,1—30,0	7,65	8,45	9,35	10,3	11,25
30,1—35,0	8,15	9,0	9,95	10,95	12,05

этому, определяя теплосодержание, наиболее достоверные величины можно получить, если использовать данные о сочетаниях температуры и относительной влажности воздуха, измеренных одновременно и обработанных за длительный ряд лет.

В этой работе использовались материалы за 25-летний период наблюдений. Выборки по сочетаниям температуры и влажности производились для зимы (декабрь — февраль), лета (июнь — август) и месяцев, характеризующих переходные сезоны (март — май), (сентябрь — ноябрь), — каждый месяц в отдельности. Методика изложена в работе [2]. В результате проведенного исследования получены сочетания для всех сроков, сезонов и месяцев, дающие возможность проследить как годовые, так и суточные изменения.

Как очевидно из описанной методики, каждому сочетанию значения температуры и относительной влажности будет соответствовать определенное значение теплосодержания I (табл. 1) и близкие величины I будут для различных значений t° и ϕ . Таким образом, удаётся за сравнительно небольшое число лет наблюдений (25 лет) получить достаточно точные данные для одного параметра. Переход к однопараметрическому распределению позволяет подойти к вопросу о вероятностной оценке исследуемой величины. Для этого достаточно просуммировать одинаковые значения I и будет получена суммарная повторяемость теплосодержания в годовом и суточном ходе. Ввиду большой трудоемкости подобных расчетов в настоящей работе для исследования суточного хода I были использованы данные о его величине от наибольших наблюдённых до значений, имеющих вероятность в пределах 8—10% от общего числа случаев, что для сезона соответствует 200—220 часам, а для месяца — 72—74 часам. Пример расчета приведен в табл. 2.

Таблица 2

Лето, 13 час.			
Салехард		Ялта	
I ккал/кг	Суммарная повторяемость, %	I ккал/кг	Суммарная повторяемость, %
11,0	10	16,0	10
11,5	7,2	16,5	9,2
12,0	4,8	17,0	4,4
12,5	3,9	17,5	3,4
13,0	2,6	18,0	1,4
13,5	1,2	18,5	0,65
14,0	0,5	19,0	0,46
14,5	0,35	19,5	0,27
15,0	0,24	20,0	0,23
15,5	0,08	20,5	0,19
16,0	0,04	21,0	0,04

Подобные расчеты выполнены для некоторого числа пунктов, расположенных в различных климатических условиях. Для практических целей наиболее важно рассмотреть вопрос о суточном ходе теплосодержания в летнее время, когда кондиционирование наиболее необходимо.

Прежде чем перейти к анализу результатов проведенных расчетов, отметим следующее. По действующим нормативным документам настоящие значения I устанавливаются по наблюдаемым в 13 час. и, следовательно, характеризуют повторяемость этой величины лишь в пределах дневных температур и влажностей.

Если же учесть, что летом достаточно высокие температуры сохраняются значительную часть дня, а относительная влажность изменяется медленнее, то станет очевидным, что высокие значения I будут сохраняться в течение более длительного времени, чем это может быть установлено лишь по данным о наблюдениях в 13 час. В табл. 3 приведены значения I для 13 час. с вероятностью 10% (лето) и отклонения от этой величины в 1, 7 и 19 час. Как видно из приведенных данных, различия в значениях I в 13 и 19 час. летом невелики, что свидетельствует о необходимости принимать это

Таблица 3

Пункт	$I_{10\%}$	ΔI_{13-1}	ΔI_{13-7}	ΔI_{13-19}
	13 час.	1 час	7 час.	19 час.
Мурманск	9,8	-1,5	-1,3	-0,2
Кемь, порт	11,0	-1,5	-0,9	-0,5
Вологда	13,6	-2,6	-2,1	-0,6
Киров	12,8	-1,8	-1,3	-0,1
Свердловск	12,8	-1,8	-1,4	-0,2
Мелеуз	13,6	-2,5	-1,8	-0,1
Серафимович	13,7	-1,8	-1,3	-0,4
Ростов-на-Дону	14,4	-1,8	-1,4	-0,3
Ялта	16,2	-3,2	-2,2	-1,0
Сочи	16,9	-1,7	-1,5	-0,5
Гурьев	15,0	-1,3	-0,6	-0,4
Тбилиси	15,0	-1,5	-1,5	-0,1
Салехард	11,0	-1,5	-1,4	0,1
Сургут	12,5	-1,5	-1,0	-1,5
Ачинск	13,0	-2,5	-1,5	0,0
Тобольск	13,4	-2,1	-1,5	-0,2
Кокчетав	12,6	-1,7	-1,1	0,0
Балхаш	14,0	-2,5	-1,9	0,2
Кызыл-Орда	13,9	-2,2	-1,4	0,7
Чарджоу	15,6	-2,5	-2,5	0,0
Оленёк	10,8	-2,5	-1,5	0,0
Верхоянск	11,0	-2,4	-1,3	0,4
Среднеколымск	10,4	-1,9	-1,3	-0,1
Ямск	9,4	-2,2	-1,3	-0,4
Усть-Хайрюзово	9,3	-2,1	-1,3	-0,7
Охотск	9,3	-1,1	-0,6	0,2
Усть-Мая	12,5	-1,8	-2,3	0,0
Ербогачен	12,2	-2,4	-1,6	-0,2

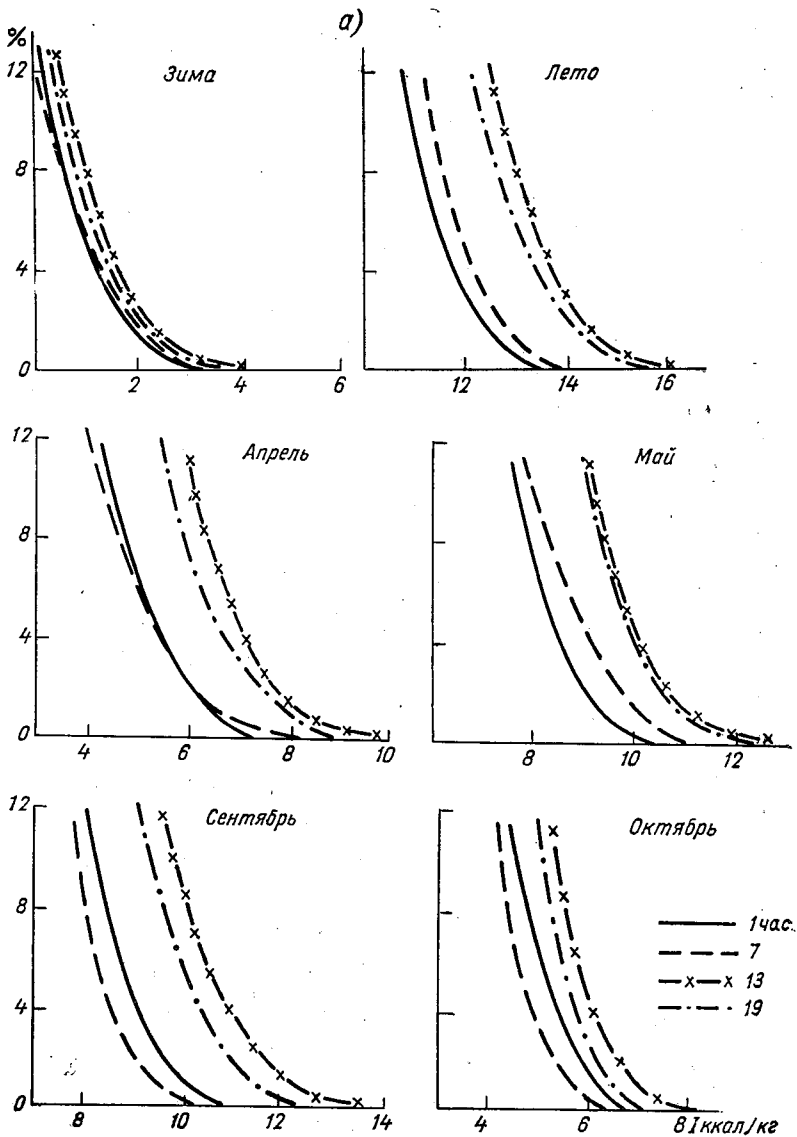


Рис. 1. Суточный ход теплосодержания воздуха.
а — Свердловск,

в расчет при определении времени работы кондиционера. В некоторых районах теплосодержание в 19 час. несколько больше, чем днем, но это различие очень незначительно и может лежать в пределах точности расчета. Наибольшие различия, естественно, наблюдаются между величиной теплосодержания в 13 час. и 1 час. Теплосодержания ночью и утром в летние месяцы мало различаются

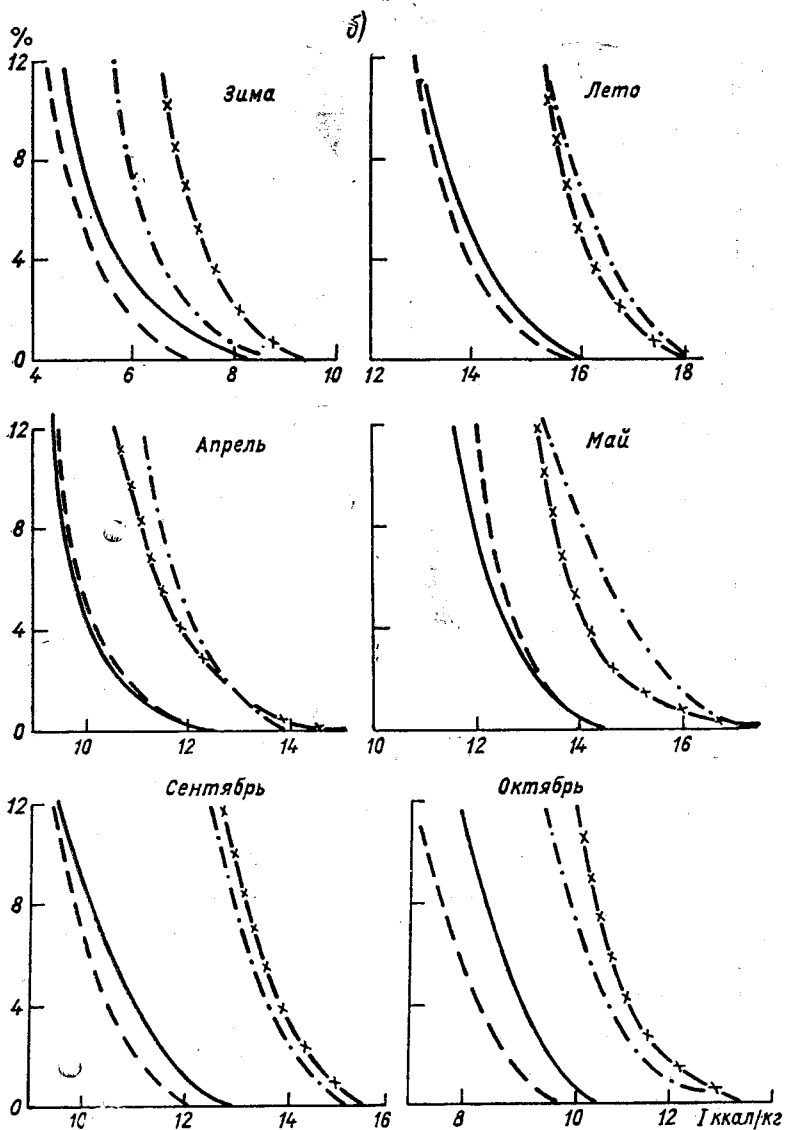
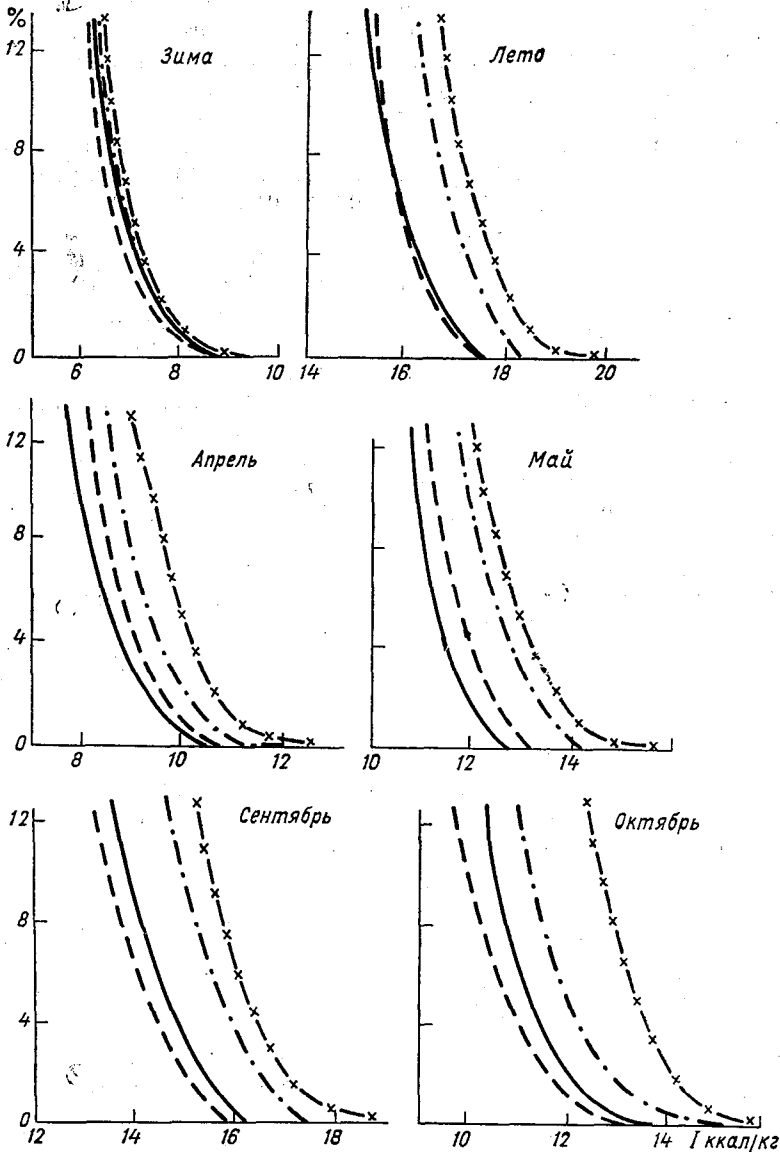


Рис. 1. Суточный ход
б — Чарджоу.

между собой или совпадают по величине. На основании проведенных ранее исследований [2] установлено, что минимальное тепло-содержание наблюдается в 4—5 час. утра, однако подобные данные могут быть получены лишь по ежечасным наблюдениям, имеющимся пока в ограниченном количестве. Поэтому в настоящей работе мы ограничимся четырехсрочными наблюдениями.

б)



теплосодержания воздуха.

в — Сочи.

В летние месяцы четко выделяются два периода суток, теплосодержание для которых может быть определено данными за 13 или 19 час. и 1 или 7 час. Такой летний ход теплосодержания характерен для периода апрель — сентябрь на большей части тер-

ритории СССР. В северных районах суточный ход теплосодержания наблюдается в период май — август, в некоторых случаях до сентября. Можно предполагать, что на северо-востоке СССР суточный ход теплосодержания будет существенным лишь в июле — августе. В южных районах страны, где высокие температуры воздуха наблюдаются длительный период времени, летний суточный ход I имеет место с апреля по октябрь. В качестве примера рассмотрим суточный ход I по сезонам и месяцам в некоторых пунктах, расположенных в различных климатических условиях (рис. 1). В Чарджоу суточный ход I наблюдается в течение всего года. Зимой величина I колеблется от срока к сроку, изменяясь примерно на 15—20%. С апреля по октябрь теплосодержание в 13 и 19 час. одинаково и значительно больше, чем в 1 и 7 час. Утренние и ночные часы характеризуются также практически одинаковой величиной I . Отметим, кроме того, что для Чарджоу характерны высокие температуры воздуха летом и небольшая относительная влажность, достигающая в дневные часы 20—25%. В Сочи летом наблюдаются высокие температуры и высокая относительная влажность воздуха в течение суток. Суточный ход I четко выражен с апреля по октябрь, причем несколько большее различие между I в 13 и 19 час. характерно для весенних месяцев. Зимой в Сочи суточный ход I отсутствует. В Свердловске суточный ход наблюдается в период апрель — сентябрь, в течение которого четко выделяются величины теплосодержания в 13 и 19 час. и значительно меньшая его величина в 1 и 7 час. В октябре различие в величине I от срока к сроку уменьшается, а зимой суточный ход I отсутствует.

Анализ данных по суточному ходу теплосодержания в различных климатических районах показал, что высокие значения I , характерные для наиболее теплой части суток, сохраняются неизменными до 19 час. Учитывая то, что температуры воздуха, близкие к 13 час. в летние месяцы, будут наблюдаться также в 12 и 20 час., длительность одинаковых значений I следует распространять на 7—8 час. в сутки. Следовательно, если для расчетов кондиционеров принимается период нарушений, равный 400 часам, то это означает, что кондиционер не будет обеспечивать очистку воздуха примерно 17—18 дней из всего времени работы машины.

Исследование суточного хода теплосодержания позволяет сделать некоторые практические выводы.

1. Расчетные величины теплосодержания следует выбирать с учетом их вероятности для любого класса кондиционера.

2. Длительность нарушений работы кондиционера, определяемые по СНиП (400 часов, 200 часов и т. д.), необходимо устанавливать с учетом суточного хода теплосодержания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Строительные нормы и правила. Ч. II, разд. Г, гл. 7. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. М., Госстройиздат, 1963.
2. Анапольская Л. Е., Мандель Д. Г. Методика исследования температурно-влажностного режима.— Труды ГГО, 1969, вып. 250.

Д. М. СОРОЧКИНА

К ВОПРОСУ О СТРУКТУРЕ ТЕПЛОПOTЕРЬ ЗДАНИЯ

Центральное регулирование режима отопления зданий в Ленинграде осуществляется по разомкнутому циклу. При таком принципе действия регулятор должен реагировать на управляющее воздействие, предусмотренное заранее. Последнее определяется не только величиной и характером внешних влияний, но и свойствами каналов возмущающих воздействий [4].

Для отапливаемого здания основными возмущающими воздействиями являются температура наружного воздуха и скорость ветра, каналами возмущающих воздействий — наружные ограждения здания.

В настоящее время центральное регулирование режима подачи тепла осуществляется только по температуре наружного воздуха. С. А. Чистовичем предложен новый метод регулирования — по приведенной температуре [5]. Цель этой работы состоит в том, чтобы по результатам натурного пассивного эксперимента определить структуру теплопотерь отапливаемого помещения, а затем сравнить возможность их компенсации при регулировании по температуре наружного воздуха и по приведенной температуре:

$$t_{\text{пр}} = t_{\text{н}}(1 - \psi) + t_{\text{м}} \frac{\psi}{r_x} + d_p(\omega - \omega_p)(t_{\text{н}} - t_{\text{в}}), \quad (1)$$

где $t_{\text{пр}}$ — приведенная температура охлаждения здания в °С; $t_{\text{н}}$ — температура наружного воздуха в °С; ψ — отношение медленных тепловых потерь к суммарным теплопотерям при стационарном режиме; $t_{\text{м}}$ — наружная температура с учетом запаздывания и выравнивания колебаний в теплоемком ограждении; r_x — относительное термическое сопротивление стены от наружного воздуха до места установки датчика медленных теплопотерь $t_{\text{м}}$; ω — скорость ветра в м/сек; ω_p — расчетная скорость ветра в м/сек.; $t_{\text{в}}$ — температура воздуха в помещении в °С.

Первый член уравнения — $t_{\text{н}}(1 - \psi)$ — характеризует быстрые теплопотери (через окно), второй член — $t_{\text{м}} \frac{\psi}{r_x}$ — медленные теплопотери (через наружные стены) третий член — $d_p(\omega - \omega_p) \times (t_{\text{н}} - t_{\text{в}})$ — быстрые теплопотери за счет воздухообмена.

Эксперименты проводились в незаселенной квартире, расположенной на 5-м этаже второй секции девятиэтажного четырехсек-

ционного крупнопанельного керамзитобетонного здания типа «пластина» серии ВС-9-2а. Здание расположено меридионально. Необходимо отметить, что во время проведения эксперимента дом был незаселен и получал около 70% расчетного количества тепла. В феврале, когда проводились исследования, в доме еще велись отделочные работы, и режим эксплуатации здания резко отличался от нормального, что и сказалось на результатах эксперимента. В обследуемой квартире была оборудована теплофизическая станция. Методика исследований теплового баланса этого помещения подробно описана ранее [3]. Характеристика помещения, размещение и описание использованных приборов приведены в статье [1].

Как известно, уравнение теплового баланса отапливаемого помещения имеет вид

$$Q_{\text{приб}} + Q_{\text{инс}} = Q_{\text{т}} + Q_{\text{о}} + Q_{\text{тв}} + Q_{\text{инф}} \pm \Delta Q_{\text{п}} \pm \Delta I_{\text{возд}}, \quad (2)$$

где $Q_{\text{приб}}$ — тепlopоступления от нагревательных приборов в ккал; $Q_{\text{инс}}$ — тепlopоступления от солнечной радиации в ккал; $Q_{\text{т}}$ — тепlopотери через теплоемкие ограждения в ккал; $Q_{\text{о}}$ — тепlopотери через окна в ккал; $Q_{\text{тв}}$ — тепlopоступления от наблюдателя и осветительной аппаратуры в ккал; $Q_{\text{инф}}$ — тепlopотери за счет воздухообмена в ккал; $Q_{\text{п}}$ — тепlopотери или тепlopоступления через перегородки и перекрытия в ккал; $\Delta I_{\text{возд}}$ — изменение тепло-содержания воздуха в помещении в ккал.

Величиной $\Delta I_{\text{возд}}$ можно пренебречь из-за ее малости по сравнению с другими членами уравнения.

Во время эксперимента в помещении людей не было, освещение и электроприборы не включались, поэтому $Q_{\text{тв}} = 0$.

Предполагаем, что перенос тепла через наружные ограждения происходит по стационарному закону, в этом случае

$$Q_{\text{т}} + Q_{\text{о}} = \sum \alpha_{\text{огр}} F_{\text{огр}} (t_{\text{вi}} - \tau_{\text{вi}}), \quad (3)$$

где $\alpha_{\text{огр}}$ — коэффициент тепловосприятия ограждения; $F_{\text{огр}}$ — площадь ограждения; $t_{\text{вi}}$ — температура воздуха на расстоянии 10 см от ограждения; $\tau_{\text{вi}}$ — температура поверхности ограждения.

Непосредственному измерению трудно поддается интенсивность воздухообмена в помещении, обусловленного сочетанием теплового и ветрового давлений. Поэтому величина потерь тепла за счет воздухообмена оценивалась косвенным путем, как разница между потерями и приходом тепла в помещение.

Таким образом,

$$Q_{\text{инф}} = Q_{\text{т}} + Q_{\text{о}} - Q_{\text{приб}} - Q_{\text{инс}} \pm \Delta Q_{\text{п}}. \quad (4)$$

В настоящей работе произведено разделение общих тепlopотерь на быстрые — через окно, медленные — через наружные стены, быстрые за счет воздухообмена, прочие тепlopотери — через пол, потолок, перегородки.

Соответственно уравнение (4) приобретает вид

$$Q_{\text{возд}} = Q_{\text{м}} + Q_{\text{б}} - Q_{\text{приб}} \pm \Delta Q_{\text{п}} - Q_{\text{инс}} + Q_{\text{п}}. \quad (5)$$

Во время эксперимента непосредственно измерялись $t_{\text{приб}}$, $t_{\text{н}}$, $t_{\text{в}}$, $t_{\text{ви}}$, $\tau_{\text{ви}}$, ω , R . Определялись геометрические размеры ограждений V , F_0 , $F_{\text{ст}}$, $F_{\text{д}}$ и поверхности нагревательных приборов.

Значения коэффициента тепловосприятости $\alpha_{\text{огр}}$ принимались в соответствии с фактическими температурами. Коэффициент теплоотдачи поверхности нагревательного прибора $\alpha_{\text{приб}}$, с достаточной для практических целей точностью, был заменен в расчете общим коэффициентом теплоотдачи данного типа радиатора (в зависимости от температурного напора $t_{\text{приб}} - t_{\text{в}}$).

Эксперимент проводился в зимних и весенних условиях.

Изменение метеорологических параметров и теплотерь отапливаемого помещения за время эксперимента приведено в табл. 1, 2.

В феврале эксперимент проводился при низких температурах, слабых ветрах и небольшой солнечной радиации, в среднем составляющей 3,7% от общих теплопоступлений.

В апреле температуры наружного воздуха возросли, ветры усилились, средняя величина теплопоступлений от солнечной радиации увеличилась до 14% общих теплопоступлений.

Вследствие того что в апреле режим эксплуатации здания нормализовался, доля «прочих» теплотерь уменьшилась с 53 до 17,1%. Общие теплотерь помещения в среднем уменьшились на 42% за счет быстрых, медленных и прочих теплотерь. В поме-

Таблица 1
Изменение метеорологических параметров и теплотерь отапливаемого помещения во время экспериментов

Дата	Пределы изменения (от — до)						Средние значения						Продолжительность эксперимента, час	Легенда теплотерь в по-мещении за время эксперимента	Число замеров		
	Теплотерь, ккал						Теплотерь, ккал										
	$t_{\text{н}}$ °C	ω м/сек.	$Q_{\text{общ}}$	$Q_{\text{б}}$	$Q_{\text{м}}$	$Q_{\text{возд}}$	$Q_{\text{п}}$	$t_{\text{н}}$ °C	ω м/сек.	$Q_{\text{общ}}$	$Q_{\text{б}}$	$Q_{\text{м}}$				$Q_{\text{возд}}$	$Q_{\text{п}}$
13—17/II	—7,4	0—4,6	—1884,	—1134,	—458,	—439,	—1141,	13,4	1,05	—1442—	143	—380—	208	—833	62	3,1	54
1969 г.	—18,3	—	—1211	—102	—212	—77	—484	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1—4/IV	0, —9,8	0—7	—2295,	—138,9,	—397,6,	—1015,	—688,	—6,7	1,90	—812—	107	—253—	263	—121	71	7,1	71
1969 г.	—	—	—679	—61,3	—67,1	+612	+537,2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Таблица 2

Теплопоступления от суммарной солнечной радиации

Дата	Число часов солнечного освещения	Теплопоступления, ккал		
		максимальные за эксперимент	средние за 1 час	
			солнечного освещения	экспери- мента
13—17/II 1969 г.	37	251	79	54
1—4/IV 1969 г.	40	774	205,4	115,3

щении появились теплопоступления через перегородки и за счет воздухообмена.

Отношение быстрых теплопотерь к медленным в феврале и апреле сохранилось постоянным и для экспериментального помещения составляло приблизительно 44%. Это очень важный факт для процесса регулирования отпуска тепла.

Таблица 3

Линейные коэффициенты корреляции исследованных связей

Дата	Линейные коэффициенты корреляции между исследованными парами					
	$t_n(1-\psi),$ Q_6	$t_m \frac{\psi}{\bar{x}} Q_M$	$d_p (w - w_p) (t_n - t_v),$ $Q_{\text{возд}}$		t_n, t_v	$t_{\text{пр}}, t_v$
			инфильтрация	эксфильтрация		
14—17/II 1969 г.	0,69	-0,58	0,33	—	0,57	0,72
1—4/IV 1969 г.	0,71	-0,46	0,39	0,57	0,31	0,66

Примечание. t_v — температура воздуха в помещении во время эксперимента.

Из изложенного следует, что эксперименты проводились в условиях, типичных для зимнего и весеннего периодов отопительного сезона.

По результатам экспериментов с помощью коэффициентов линейной корреляции определим, существует ли закономерная связь между членами уравнения (1) и соответствующими им теплопотерями помещения (табл. 3). Принято считать, что при коэффициенте корреляции, равном 0,5 (по абсолютной величине); корреляционная зависимость достаточно велика, и можно говорить о закономерной связи исследуемых явлений [2].

Из табл. 3 следует, что существует закономерная связь между членом уравнения $t_{н}(1-\psi)$ и $Q_{б}$, между $t_{м} \frac{\psi}{r_x}$ и $Q_{м}$. Величина коэффициента корреляции между членом уравнения $d_p(\omega-\omega_p) \times \times (t_{н}-t_{в})$ и $Q_{возд}$ (теплопотери за счет воздухообмена) определялась отдельно для инфильтрации и эксфильтрации.

Коэффициенты корреляции при инфильтрации в феврале и апреле практически равны между собой, но малы по абсолютной величине (0,33 и 0,39). При эксфильтрации линейный коэффициент корреляции возрастает до 0,57. Это объясняется зависимостью величины быстрых теплопотерь за счет воздухообмена не только от архитектурно-планировочных и теплотехнических особенностей помещения, но и от качества заделки жильцами щелей между рамой и коробкой окна, трещин в переплетах, заклейки притворов рам и т. д.

Как известно, стабильность поддержания температуры воздуха в отапливаемом помещении определяет качество регулирования. Сравнительная оценка качества регулирования по приведенной температуре и по температуре наружного воздуха также производится с помощью коэффициентов линейной корреляции (табл. 3).

Коэффициент корреляции между температурой наружного воздуха и воздуха в помещении в феврале равен 0,57, в апреле — 0,31, что заставляет предположить в последнем случае слабую связь между указанными температурами. Это объясняется увеличением в апреле теплопотерь и теплопоступлений за счет воздухообмена.

Величина коэффициентов корреляции между приведенной температурой и температурой воздуха в помещении (0,72 и 0,66) говорит о значительном улучшении микроклимата помещения при регулировании режима отпуска тепла по приведенной температуре с учетом фактической и расчетной скоростей ветра, архитектурно-планировочных и теплотехнических особенностей.

В заключение можно отметить следующее.

Принятое в работе разделение общих теплопотерь на быстрые, медленные, быстрые за счет воздухообмена и прочие теплопотери позволяет наиболее четко представить долю каждого слагаемого и реализовать их в управляющем устройстве регулятора режима отопления. Их величина и соотношение между ними определяются значением метеорологических факторов и архитектурно-планировочными и теплотехническими особенностями помещения. Соотношение между быстрыми и медленными теплопотерями в зимнем и весеннем эксперименте сохраняется постоянным, так как определяются особенностями наружных ограждений помещения.

Величина быстрых теплопотерь за счет воздухообмена зависит не только от архитектурно-планировочных и теплотехнических особенностей помещения, но во время отопительного сезона и от качества заделки жильцами щелей между рамой и коробкой окна, трещин в переплетах, заклейки притворов рам и т. д.

Оценка качества регулирования по температуре наружного воздуха и приведенной температуре производится по величине

коэффициентов линейной корреляции отдельно для периодов инфильтрации и эксфильтрации.

Сравнение линейных коэффициентов корреляции между температурой наружного воздуха и приведенной температурой с температурой воздуха в помещении позволяет сделать вывод, что при центральном регулировании режима отпуска тепла по приведенной температуре температура воздуха в помещении будет поддерживаться более стабильной, особенно в весенний период, чем при регулировании по температуре наружного воздуха, вследствие учета первой фактической и расчетной скоростей ветра, архитектурно-планировочных и теплотехнических особенностей помещения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Беляев Е. В. и др. Методика экспериментальной оценки влияния метеорологических факторов на тепловой режим здания.— Труды ГГО, 1971, вып. 285.
2. Веденяпин Г. В. Общая методика экспериментального исследования и обработки опытных данных. М., «Колос», 1967.
3. Сорочкина Д. М. Новое измерительное устройство для систем автоматического управления подачей тепла в здания.— В кн.: «Автоматизация отопительных котельных». Л., «Недра», 1971, вып. 6.
4. Техническая кибернетика. Теория автоматического регулирования. Кн. 1. Математическое описание, анализ устойчивости и качества регулирования. Под ред. д-ра техн. наук В. В. Солодовникова. М., «Машиностроение», 1967.
5. Чистович С. А. Автоматизация установок и систем теплоснабжения и отопления. М., Госстройиздат, 1964.

СОДЕРЖАНИЕ

Л. С. Г андин, Л. П. К лягина. О влиянии параметров ограждений зданий на суммарные теплопотери в различных климатических условиях	3
Л. Е. Анапольская, Л. П. К лягина. Длительность отопительного периода и оценка его суровости на территории СССР	14
Л. П. К лягина. Алгоритм и программа расчета характеристик теплового режима зданий	21
Л. П. К лягина. Прямая солнечная радиация, поступающая на вертикальные стены при условии моделирования городской застройки	30
Д. Г. М андель. Об экономической эффективности по-фасадного регулирования отопления при учете влияния метеорологических факторов	41
Л. Е. Анапольская, О. Б. П ашина. Особенности суточного хода теплосодержания на территории СССР	53
Д. М. С орочкина. К вопросу о структуре теплопотерь здания	61

ТРУДЫ ГГО, вып. 305

**Влияние метеорологических факторов
на тепловой режим зданий**

Редактор *Ю. А. Мясоедов*

Техн. редактор *М. С. Костакова*

Корректоры *Г. С. Макарова* и *З. Т. Тимченко*

Сдано в набор 22/VIII 1972 г. Подписано к печати 7/XII 1972 г. М-08497

Бумага 60×90^{1/8}, типогр. № 1. Печ. л. 4,5. Уч.-изд. л. 4,48.

Тираж 740 экз. Индекс МЛ-78. Заказ № 668. Цена 31 коп.

Гидрометеоздат, Ленинград, В-53, 2-я линия, д. 23.

Сортавальская книжная типография Управления по делам
издательств, полиграфии и книжной торговли, Совета
Министров КАССР. Сортавала, Карельская, 42