

ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ  
ПРИ СОВЕТЕ МИНИСТРОВ СССР

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

ТРУДЫ

06  
Т78

ВЫПУСК 285

ВЛИЯНИЕ  
МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ  
ФАКТОРОВ  
НА ТЕПЛОВЫЙ РЕЖИМ  
ЗДАНИЙ

288514

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

ЛЕНИНГРАДСКИЙ  
Гидрометеорологический ин-т  
БИБЛИОТЕКА  
Л-я 195196 Малоохтинский пр., 98



ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО  
ЛЕНИНГРАД • 1971



Сборник содержит статьи, посвященные теории и методике учета влияния основных метеорологических факторов — температуры, ветра, радиации — на тепловой режим зданий. Приведены рекомендации по усовершенствованию принятых в строительной теплотехнике методов расчета. Выполнено районирование территории СССР по ряду факторов, определяющих тепловой режим зданий.

Сборник рассчитан на специалистов по строительной физике, теплотехнике, вентиляции и кондиционированию воздуха, а также на метеорологов и климатологов, интересующихся вопросами прикладной климатологии.

## О РАСЧЕТЕ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ОТОПИТЕЛЬНОГО ПЕРИОДА И НОРМ ОТОПЛЕНИЯ В РАЗЛИЧНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

1. Для планирования затрат на отопление зданий необходимо иметь сведения о метеорологическом режиме в холодное время года. Из-за большой изменчивости метеорологических условий характеристики этого режима могут существенно меняться от года к году. Поэтому при планировании затрат топлива на каждый отопительный сезон лучше всего было бы основываться на тех метеорологических условиях, которые будут наблюдаться в этот сезон. Однако слабая оправдываемость долгосрочных прогнозов погоды делает такой подход нерациональным, и приходится базироваться на сведениях климатического характера, т. е. на осредненных за длительное время материалах наблюдений. С помощью этих материалов можно оценить не только средние параметры отопительного периода, но и их изменчивость и таким образом получить информацию о вероятных отклонениях в ту или иную сторону от среднего метеорологического режима отопительного периода.

Для того чтобы правильно охарактеризовать метеорологический режим отопительного периода, необходимо знать, каким образом влияют метеорологические условия на теплопотери зданий. В существующих официальных нормах с этой целью используются следующие представления.

Рассмотрим поток тепла  $P_1$  через некоторый участок ограждения здания, имеющий толщину  $d_1$  и коэффициент теплопроводности  $\lambda_1$ . Предполагая процесс распространения тепла стационарным и одномерным (происходящим только в направлении, перпендикулярном данному участку), нетрудно получить формулу

$$P_1 = \frac{T_{в} - T_{н}}{\frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{1}{\alpha_{в}} + \frac{1}{\alpha_{н}}}, \quad (1)$$

где  $T_{в}$  и  $T_{н}$  — температуры внутреннего и наружного воздуха,  $\alpha_{в}$

и  $\alpha_n$  — коэффициенты теплоотдачи внутреннего и наружного воздуха. Величину

$$R_1 = \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{1}{\alpha_B} + \frac{1}{\alpha_H} \quad (2)$$

называют термическим сопротивлением. Вводя его в формулу (1), перепишем ее в виде

$$P_1 = \frac{T_B - T_H}{R_1}. \quad (3)$$

Эта формула верна и в случае неоднородного (по нормали к поверхности) участка ограждения. Если он состоит из  $n$  частей толщиной  $d_{1i}$  с теплопроводностью  $\lambda_{1i}$ , то вместо (2) имеет место формула

$$R_1 = \sum_{i=1}^n \frac{d_{1i}}{\lambda_{1i}} + \frac{1}{\alpha_B} + \frac{1}{\alpha_H}.$$

Пусть теперь ограждение здания состоит из  $m$  таких участков, каждый из которых имеет сопротивление  $R_k$  и площадь поверхности  $S_k$ . Теплотопери через  $k$ -тый участок определяются, согласно сказанному, по формуле

$$P_k S_k = \frac{S_k}{R_k} (T_B - T_H).$$

Поэтому теплотопери через всю поверхность ограждения

$$S = \sum_{k=1}^m S_k$$

выражаются формулой

$$PS = \sum_{k=1}^m P_k S_k = \sum_{k=1}^m \frac{S_k}{R_k} (T_B - T_H), \quad (4)$$

где  $P$  — осредненный по всей поверхности ограждения поток тепла (удельные теплотопери).

Формулу (4) можно представить в виде, аналогичном (3), если ввести сопротивление ограждения  $R$  выражением

$$\frac{S}{R} = \sum_{k=1}^m \frac{S_k}{R_k} \quad (5)$$

или

$$\frac{1}{R} = \sum_{k=1}^m \frac{\tau_k}{R_k}, \quad (6)$$

где

$$\tau_k = \frac{S_k}{S} \quad (7)$$

есть относительная площадь поверхности  $k$ -того участка ограждения. Согласно (6),  $R$  представляет собой среднее гармоническое

взвешенное по относительной площади участков сопротивление. Вводя его в формулу (4) для удельных теплопотерь  $P$ , получим

$$P = \frac{T_B - T_H}{R}. \quad (8)$$

Величина  $R$  представляет собой конструктивный параметр ограждения и не зависит от метеорологических условий. При расчете затрат топлива величину  $T_B$  также нужно считать заданным параметром, а именно температурой внутреннего воздуха, которая должна поддерживаться постоянной путем отопления. Обычно принимают  $T_B = 18^\circ\text{C}$ . Тогда метеорологические условия характеризуются в формуле (8) лишь температурой наружного воздуха  $T_H$ .

В качестве дат начала и конца отопительного периода  $t_1$  и  $t_2$  берут даты перехода температуры  $T_H$  в годовом ходе через некоторое фиксированное значение  $T_{H0}$ ; обычно принимают  $T_{H0} = 8^\circ\text{C}$ . Интегрируя выражение (8) по времени  $t$  от  $t_1$  до  $t_2$ , получим для суммарных за отопительный период удельных теплопотерь формулу

$$\int_{t_1}^{t_2} P dt = \frac{T_B - \overline{T_H}}{R} (t_2 - t_1), \quad (9)$$

где

$$\overline{T_H} = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} T_H dt \quad (10)$$

представляет собой среднюю температуру отопительного периода.

Таким образом суммарные теплопотери оказываются зависящими от двух параметров — продолжительности  $t_2 - t_1$  и средней температуры  $\overline{T_H}$  отопительного периода. Эти два параметра легко свести к одному, переписав формулу (9) в виде

$$\int_{t_1}^{t_2} P dt = \frac{1}{R} \Delta T (t_2 - t_1), \quad (11)$$

где

$$\Delta T = T_B - T_H \quad (12)$$

разность температур внутреннего и наружного воздуха. Согласно (11) суммарные за отопительный период теплопотери определяются произведением среднего за этот период значения указанной разности на продолжительность периода.

2. Анализируя описанные рекомендации, легко видеть прежде всего, что они базируются на взаимно противоречивых предпосылках. В самом деле, если «мгновенные» теплопотери действительно описываются формулой (8), то, следовательно, даты начала и конца отопительного периода должны определяться переходом температуры через значение  $T_B = 18^\circ$ , а не через значение  $T_{H0} = 8^\circ$ .

Применительно, например, к Ленинграду это означало бы, что отопительный период должен продолжаться круглый год, а не 7,5 месяца, как это имеет место в действительности. Очевидная абсурдность этого вывода означает, что формула (8) неверна. И действительно, эта формула, как и все предыдущие рассуждения, основана на предположении, что единственным физическим механизмом, определяющим теплообмен между зданием и атмосферой, является механизм теплопроводности ограждения. Как показывают исследования (см., например, [3]), существует по крайней мере два других механизма теплообмена, оказывающих влияние на теплопотери зданий, а именно — теплообмен вследствие воздухопроницания и лучистый теплообмен.

В работе [3] было детально проанализировано воздействие указанных механизмов теплообмена на теплопотери зданий в рамках стационарной теории. Там было показано, что для жилых зданий можно пользоваться упрощенной формулой для удельных теплопотерь  $P$ , имеющей следующий вид:

$$P = \frac{1-\tau}{R_{ст}} \Delta T + \frac{\tau A(\gamma v)}{R_{ок}} \Delta T - \tau \varepsilon J - P' \quad (13)$$

Здесь  $R_{ст}$  — осредненное (в указанном смысле) термическое сопротивление неостекленной части ограждения (стен), а  $R_{ок}$  — осредненное сопротивление остекленной части ограждения (окон),  $\tau$  — относительная площадь окон,  $J$  — поток коротковолновой суммарной (прямой плюс рассеянной) радиации, падающей на поверхность окон,  $\varepsilon$  — коэффициент пропускания потока  $J$  окнами,  $P'$  представляет собой удельные (т. е. отнесенные к единице площади ограждения) неотапительные тепловыделения, слагающиеся из тепловыделений людей внутри зданий, выделений тепла при приготовлении пищи и т. п. Функция  $A(\gamma v)$  описывает зависимость теплопотерь через окна от скорости ветра  $v$ . Коэффициент  $\gamma$  зависит от воздухопроницаемости оконной части ограждения. Функция  $A(\gamma v)$  выражается интегралом

$$A(\gamma v) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \gamma v \int_0^{\infty} e^{-\frac{x^2}{2}} \operatorname{cth}(\gamma vx) x dx, \quad (14)$$

где  $\operatorname{cth} y = (e^{2y} + 1) / (e^{2y} - 1)$  — гиперболический котангенс. Интеграл (14) затабулирован в работе [2] (см. также [4]). В частности, как видно из формулы (14),

$$A(0) = 1. \quad (15)$$

Первый член правой части формулы (13) описывает теплопотери через стены, обусловленные их теплопроводностью. Второй член выражает теплопотери через окна вследствие совместного действия теплопроводности и воздухообмена. Третий член описывает еще один вид теплообмена через окна — проникновение суммарной солнечной радиации. Этот член всегда отрицателен, т. е. соответ-

вует не потерям, а поступлению тепла. Также всегда отрицателен последний член, описывающий внутренние тепловыделения.

3. Метеорологическими параметрами, входящими в формулу (13), являются температура  $T_n$  (см. формулу (12)), скорость ветра  $v$  и поток суммарной радиации  $J$ . Наряду с этими параметрами в формуле (13) фигурируют также параметры ограждения  $R_{ст}$ ,  $R_{ок}$ ,  $\tau$ ,  $\gamma$  и  $\epsilon$ . При этом структура формулы (13), в отличие от (8) такова, что комплекс метеорологических параметров не может быть отделен от других параметров. Это означает, что совместное влияние трех указанных метеорологических элементов на теплопотери здания зависит от конструктивных особенностей ограждения.

Можно, однако, исходя из формулы (13), ввести такой комплексный параметр объединяющий влияние температуры, ветра и радиации, который лишь сравнительно слабо, в среднем, зависит от конструктивных характеристик ограждения и который вместе с тем имеет отчетливый физический смысл.

С этой целью введем аналогично предыдущему (см. формулу (6)) осредненное по всей поверхности ограждения сопротивление  $R$ :

$$R = \frac{1 - \tau}{R_{ст}} + \frac{\tau}{R_{ок}}. \quad (16)$$

На основании (15) и (16) перепишем формулу (13) в виде

$$P = \frac{\Delta T}{R} + \tau \frac{A(\gamma v) - 1}{R_{ок}} \Delta T - \tau \epsilon J - P', \quad (17)$$

или

$$P = \frac{\Delta T_э}{R}, \quad (18)$$

где

$$\Delta T_э = \Delta T + \frac{\tau R}{R_{ок}} [A(\gamma v) - 1] \Delta T - R \tau \epsilon J - RP'. \quad (19)$$

Наконец, вводя

$$T_э = T_n - \Delta T_э \quad (20)$$

и учитывая обозначение (12), получим

$$T_э = T_n - \frac{\tau R}{R_{ок}} [A(\gamma v) - 1] \Delta T + R \tau \epsilon J + RP'. \quad (21)$$

Величину  $T_э$  будем называть эффективной температурой теплопотерь здания, а величину  $\Delta T_э$  — эффективной разностью температур.

Из формул (18) и (20) следует, что если в обычную формулу (8) для расчета теплопотерь вместо температуры наружного воздуха  $T_n$  подставить величину  $T_э$ , то получим теплопотери при учете как температуры  $T_n$ , так и ветра и радиации. Иначе говоря,  $T_э$  представляет собой такую температуру наружного воздуха, при

которой здание в условиях штиля и отсутствия радиации имело бы те же теплотери, какие оно имеет при данных температуре наружного воздуха  $T_n$ , скорости ветра  $v$  и потоке суммарной радиации  $J$ .

Из приведенных формул вытекает также и другая трактовка эффективной температуры  $T_э$ , как температуры, которую имел бы воздух внутри здания при отсутствии отопления (и охлаждения).

Формулу (21) для  $T_э$  можно представить в виде

$$T_э = T_n - \Delta T_v + \Delta T_p + \Delta T', \quad (22)$$

Здесь

$$\Delta T_v = \frac{\tau R}{R_{ок}} [A(\gamma v) - 1] \Delta T \quad (23)$$

— вычитаемое, описывающее влияние ветра. Так как  $A(\gamma v) \geq 1$ , то, пока  $\Delta T$  положительна, т. е. пока температура окружающего воздуха ниже, чем внутреннего, величина  $\Delta T_v$  положительна, т. е. способствует понижению эффективной температуры по сравнению с реальной температурой  $T_n$ .

Радиационная поправка

$$\Delta T_p = R \tau \varepsilon J \quad (24)$$

существенно положительна, так же как и поправка

$$\Delta T' = RP', \quad (25)$$

обусловленная внутренними тепловыделениями.

С учетом обозначений (23) — (25) можно переписать формулу (19) в виде

$$\Delta T_э = \Delta T + \Delta T_v - \Delta T_p - \Delta T', \quad (26)$$

согласно которому эффективная разность температур представляет собой алгебраическую сумму разностей температур, обусловленных влиянием температуры наружного воздуха, ветра, радиации и внутренних тепловыделений.

4. Перейдем теперь к вопросу о расчете отопительного периода и затрат тепла.

Как видно из формулы (18), даты начала и конца отопительного периода определяются переходами через нуль величины  $\Delta T_э$  в ее годовом ходе. Чтобы определить эти даты, нужно рассчитать кривую годового хода эффективной разности  $\Delta T_э$ . В районах с весьма теплым климатом эта разность может оказаться для некоторых типов зданий отрицательной в течение всего года. Это означает, что в таких условиях отопительный период равен нулю. В районах с весьма суровым климатом  $\Delta T_э$  может быть положительной в течение всего года; это будет, очевидно, означать, что отопление должно продолжаться круглый год. В большинстве же районов Советского Союза кривая годового хода  $\Delta T_э$  для зданий обычного типа будет дважды переходить через нуль. Согласно рассматриваемой теории, эти даты и представляют собой даты начала ( $t_1$ ) и конца ( $t_2$ ) отопительного периода, а разность  $\Delta t = t_2 - t_1$  есть продолжительность отопительного периода.

Необходимо, однако, иметь в виду, что рассматриваемая теория, так же как и теория, по которой рассчитывается режим отопления в настоящее время, базируется на предположении о стационарности процессов теплообмена. Иначе говоря, предполагается, что температура внутреннего воздуха мгновенно реагирует на изменения метеорологических параметров. В действительности это не так. Ограждения зданий обладают определенной термической инерцией, различной для колебаний разной частоты. Для быстрых изменений внешних условий инерция ограждения составляет обычно несколько дней, а для изменений в годовом ходе имеет порядок 10—20 дней.

Сказанное означает, что моменты  $t_1$  и  $t_2$ , рассчитанные указанным путем, должны быть несколько сдвинуты в сторону более поздних сроков. Этот сдвиг, очевидно, не должен существенно сказаться на продолжительности отопительного периода.

После того, как моменты  $t_1$  и  $t_2$  рассчитаны, можно определить как ход теплотерь  $P$  со временем, так и суммарные удельные теплотери за отопительный период, которые, согласно формулам (18) и (26), равны

$$\int_{t_1}^{t_2} P dt = \frac{1}{R} \int_{t_1}^{t_2} \Delta T_s dt = \frac{1}{R} \left[ \int_{t_1}^{t_2} \Delta T dt + \int_{t_1}^{t_2} \Delta T_b dt - \int_{t_1}^{t_2} \Delta T_p dt - \int_{t_1}^{t_2} \Delta T' dt \right]. \quad (27)$$

Как видно из формул (23) — (25), все члены в квадратных скобках в (27), кроме первого, зависят от параметров ограждения. Вместе с тем расчеты показывают (см. ниже), что обычно каждый из этих членов заметно меньше первого члена. Это и дает основание утверждать, что эффективная температура  $T_s$  сравнительно слабо зависит от параметров ограждения. Точнее говоря, значения  $T_s$  в отдельные моменты времени могут существенно изменяться с изменением теплотехнических параметров ограждения. В среднем же за отопительный период эта зависимость невелика. Практически это означает, что расчеты режима отопления достаточно проводить лишь применительно к нескольким наборам характерных значений параметров ограждения.

Как уже указывалось, хотя рассматриваемая теория значительно точнее теории, используемой в настоящее время, формулы ее, разумеется, являются приближенными. Поэтому не имеет смысла вычислять интегралы в формуле (27) с большой точностью. Как показывают оценки, достаточно оценивать эти интегралы по формуле прямоугольников с шагом  $\theta$ , равным месяцу, т. е. пользоваться среднемесячными значениями метеорологических параметров. Тогда формула (27) примет вид

$$\int_{t_1}^{t_2} P dt = \frac{\theta}{R} \sum \Delta T_s = \frac{\theta}{R} \left[ \sum \Delta T + \sum \Delta T_b - \sum \Delta T_p - \sum \Delta T' \right], \quad (28)$$

где суммирование распространено на месяцы, приходящиеся на

отопительный период, а  $\theta$  представляет собой среднюю продолжительность месяца ( $\theta = 730$  час).

Как видно из формулы (26), суммарные теплотери пропорциональны величине  $\Sigma \Delta T_{\theta}$ . Будем называть эту величину дефицитом тепла. Для того чтобы вычислить суммарные теплотери здания за отопительный период, т. е. суммарную затрату тепла на отопление, нужно умножить дефицит тепла на среднюю продолжительность месяца  $\theta$  и на площадь поверхности ограждения  $S$  и разделить на его термическое сопротивление  $R$ . Формула (28) показывает, что дефицит тепла  $\Sigma \Delta T_{\theta}$  представляет собой алгебраическую сумму аналогичных величин, зависящих соответственно от температуры наружного воздуха, от температуры и скорости ветра, от радиации и от бытовых тепловыделений.

5. Для того чтобы количественно оценить влияние различных факторов на дефицит тепла, мы выполнили расчеты применительно к одному набору характерных значений параметров ограждения. Сопротивление стен было принято равным  $R_{ст} = 1,09 \text{ м}^2\text{час} \times \text{град/ккал}$ , что соответствует кирпичным стенам толщиной в 2,5 кирпича ( $\frac{d}{\lambda} = 0,91 \text{ м}^2\text{час} \cdot \text{град/ккал}$ ) при обычных значениях коэффициентов теплоотдачи  $\alpha_n = 220 \text{ ккал/м}^2\text{час} \cdot \text{град}$ . и  $\alpha_{в} = 7,5 \text{ ккал/м}^2\text{час} \cdot \text{град}$ . Сопротивление окон было взято равным  $R_{ок} = 0,58$ , что при тех же  $\alpha_n$  и  $\alpha_{в}$  соответствует двойному остеклению. Относительная площадь окон была положена равной  $\tau = 0,3$ , а коэффициент воздухопроницаемости  $\gamma = 0,20 \text{ сек/м}$  (см. [2]). Наконец, коэффициент пропускания окнами суммарной коротковолновой радиации  $\epsilon$  принят равным 0,67, что, по данным работы [6], соответствует пропусканию окон с двойным остеклением без отложений воды, снега или льда на поверхностях стекла<sup>1</sup>. Иначе говоря, влияние таких отложений не учитывалось.

Расчеты были проведены по средним многолетним данным, так что результаты их дают средний многолетний режим отопления<sup>2</sup>. Влиянием бытовых тепловыделений  $P'$  пренебрегалось.

В качестве температуры  $T_n$  и скорости ветра  $v$  подставлялись значения, известные по данным наблюдений на метеорологических станциях. Лучистые потоки  $J$ , падающие на вертикальные стены, рассчитаны по данным актинометрических наблюдений З. И. Пиваровой и Г. В. Циценко по методике, изложенной в работе [5].

Существенно, что в условиях городской застройки значения всех этих метеорологических параметров могут отличаться от использованных величин. Температура воздуха в городских условиях обычно несколько выше, нежели в открытой местности, а скорость ветра заметно меньше, хотя в отдельных случаях она может и превосходить скорость ветра на метеостанции вследствие аэродинамических особенностей обтекания зданий.

<sup>1</sup> Подчеркнем, что  $\epsilon$  представляет собой коэффициент пропускания не прямой, а суммарной радиации и притом для потока, перпендикулярного поверхности окна.

<sup>2</sup> Более подробно вопрос о возможности использования осредненных метеорологических параметров рассмотрен в работе (4).

Наиболее значительно воздействие городской застройки на лучистые потоки. Соседние здания, сооружения и древесные насаждения экранируют рассматриваемое здание и тем самым уменьшают прямую, а потому и суммарную радиацию. Разумеется, этот эффект может быть учтен, если известно взаимное расположение всех этих сооружений. В расчетах, о которых идет речь, эффект экранирования не учтен совсем, так что результаты относятся к отдельно стоящему зданию и тем самым дают верхний предел возможного влияния радиации на тепловой режим зданий.

В качестве лучистого потока  $J$  должно, вообще говоря, входить его значение, осредненное по всем ориентациям опраждения. Вместо этого мы произвели расчеты отдельно для южной, восточной и северной ориентаций. При этом имелось в виду, что, вследствие малой теплопроводности внутри жилого здания термический режим его участков, примыкающих к стенам разной ориентации, может быть различным. Соответственно может использоваться и различный режим отопления. Что же касается осредненных по поверхности ограждения (точнее, по его оконной части) значений потока  $J$ , то их так же, как и значения для западной ориентации, можно считать практически совпадающими со значениями  $J$  для восточной ориентации и применять соответствующие оценки дефицита тепла для здания в целом.

6. Общие результаты расчетов, которые выполнены для восьми пунктов, находящихся в различных климатических условиях, представлены в табл. 1 и 2. В табл. 1 приведены значения периодов отопления (в месяцах) и дефицитов тепла, вычисленных при учете различных факторов, а именно по полной теории для участков северной, восточной южной ориентации (графы 1, 2 и 3) в пренебрежении воздухообменом (графы 5, 6, 7), в пренебрежении лучистым теплообменом (графа 8) и, наконец, в пренебрежении и лучистым теплообменом и воздухообменом (графа 9). Во всех этих случаях даты начала и конца отопительного периода определялись из условия  $\Delta T_0 = 0$ . В дополнение к этому в графе 10 приведены результаты расчета по существующей методике. Они отличаются от данных графы 9 вследствие того, что отопительный период определялся условием  $T_n < 8^\circ\text{C}$ . В последней графе приведено выражение в процентах отношения разности между значениями дефицита тепла, представленными в графах 10 и 3, к первому из них.

Это отношение описывает относительную экономию топлива, которую можно получать, если перейти от ныне действующей методике расчета к предлагаемой.

Поскольку при разных методах расчета получаются, вообще говоря, различные отопительные периоды, поэтому сравнение значений дефицита тепла, приведенных в разных графах табл. 1, не дает, как правило, точной информации о вкладе различных механизмов теплообмена в суммарные теплопотери. Для анализа этих вкладов может быть использована табл. 2. В ней приведены

Отопительные периоды  $\Delta t$  мес. и дефициты тепла  $\sum \Delta T_3$  °С, рассчитанные различными методами

Пункт	Все факторы			$v = 0$			$J = 0$	$v = 0$ $J = 0$	Существо- ющий метод	гр.10 - гр.3 гр.10 %
	С	В	Ю	С	В	Ю				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Салехард . . .	9	9	8	9	8	7	12	12	9,5	
	250	227	194	223	202	172	331	292	272	17
Якутск . . . . .	9	8	6	8,5	8	6	11	11	9	
	289	261	219	282	255	214	347	340	344	22
Москва . . . . .	8	6,5	6	8	7	6	11,5	11,5	7	
	134	117	97	122	103	86	182	170	153	24
Целиноград . . .	8	7	6	8	6	5	10	10	7	
	181	149	93	151	122	68	234	203	190	27
Владивосток . . .	7	5,5	4	7	5	3	10,5	10,5	6,5	
	144	102	37	107	70	12	209	169	144	29
Ташкент . . . . .	5	4	2,5	5	4	2,5	7	7	4,5	
	50	33	5	50	33	5	82	82	63	48
Братск . . . . .	8,5	7	7	8	7	7	11,5	11,5	8,5	
	193	172	132	186	165	125	250	242	226	24
Диксон . . . . .	11	11	10,5	9	9	8	12	82	21	
	353	334	307	263	248	225	449	354	354	6

рассчитанные по полной теории дефицита тепла  $\sum \Delta T_3$ , а также вклады, обусловленные теплопроводностью  $\sum \Delta T$ , воздухообменом  $\sum \Delta T_v$  и радиационным теплообменом  $\sum \Delta T_p$  как в абсолютных величинах, так и в процентах по отношению к дефициту тепла. Следует напомнить, что первые два вклада являются положительными, а последний — отрицательным, так что сто процентов получается, если сложить вклады теплопроводности и воздухообмена и вычесть из этой суммы вклад лучистого теплообмена.

Как видно из табл. 1, для всех рассмотренных пунктов, кроме одного (Диксон), дефициты тепла согласно предлагаемой теории получаются существенно меньшими, нежели по существующей теории. Рассмотрение табл. 2 показывает, почему это происходит. Вклад ветра в средних условиях, в большинстве пунктов, заметно меньше вклада радиации. Поэтому учет обоих этих вкладов приводит к снижению теплотерь.

Исключение в этом отношении составляет Диксон. Вклад радиации в этом пункте, правда, наибольший по сравнению с другими рассматриваемыми пунктами. Это обусловлено главным

Таблица 2

Значения  $\Sigma \Delta T_{\text{э}}$ ,  $\Sigma \Delta T$ ,  $\Sigma \Delta T_{\text{е}}$  и  $\Sigma \Delta T_{\text{р}}$  в  $^{\circ}\text{C}$  и в процентах от  $\Sigma \Delta T_{\text{э}}$ 

Пункт	Ориентация	$\Delta t$	$\Sigma \Delta T_{\text{э}}$		$\Sigma \Delta T$		$\Sigma \Delta T_{\text{е}}$		$\Sigma \Delta T_{\text{р}}$	
			$^{\circ}\text{C}$	%	$^{\circ}\text{C}$	%	$^{\circ}\text{C}$	%	$^{\circ}\text{C}$	%
			Салехард . . . . .	С	9	250	100	272	109	27
	В	9	227	100	272	120	27	12	72	32
	Ю	8	194	100	252	130	24	12	82	42
Якутск . . . . .	С	9	289	100	334	116	7	2	52	18
	В	8	261	100	322	124	6	2	67	26
	Ю	6	219	100	285	180	5	2	71	32
Москва . . . . .	С	8	134	100	100	119	12	9	38	28
	В	6,5	117	100	153	131	12	10	48	41
	Ю	6	97	100	139	143	11	12	53	55
Целиноград . . . . .	С	8	181	100	197	109	30	17	46	26
	В	7	149	100	190	128	29	19	70	47
	Ю	6	93	100	174	187	26	70	107	115
Владивосток . . . . .	С	7	144	100	153	106	37	26	46	32
	В	5,5	102	100	144	141	35	34	77	75
	Ю	4	37	100	111	300	27	73	101	273
Ташкент . . . . .	С	5	50	100	73	146	0	0	23	46
	В	4	33	100	63	191	0	0	30	91
	Ю	2,5	5	100	51	1020	0	0	46	920
Братск . . . . .	С	8,5	193	100	236	122	8	4	51	26
	В	7	172	100	215	125	7	4	50	29
	Ю	7	132	100	215	163	7	5	90	68
Диксон . . . . .	С	11	353	100	341	97	92	26	80	23
	В	11	334	100	341	102	92	28	99	30
	Ю	10,5	307	100	323	105	88	29	104	34

образом превалярованием малых высот солнца, при которых суммы прямой радиации, попадающей на вертикальную поверхность, больше, чем при больших высотах солнца. Вместе с тем вклад воздухопроницания для Диксона существенно больше, чем для других пунктов, что обусловлено не только сильными ветрами в этом районе, но и низкими температурами, также способствующими большим значениям  $\Delta T_{\text{в}}$ . В результате «проигрыш» вследствие влияния воздухообмена почти в точности компенсирует «выигрыш» благодаря радиации, и дефицит тепла по предлагаемой теории приблизительно совпадает с его значением согласно старой теории.

Сказанное, однако, отнюдь не означает, что режим отопления для Диксона получается таким же, как по существующим реко-

мендациям. Годовой ход теплотерьер, а потому и годовой ход требуемой подачи тепла в действительности совсем иной. Это можно видеть из табл. 3, в которой приведены для Диксона значения  $\Delta T$ ,  $\Delta T_{\text{в}}$ ,  $\Delta T_{\text{р}}$  и  $\Delta T_{\text{э}}$  (для восточной ориентации) в годовом ходе. В последней строчке даны разности  $\Delta T - \Delta T_{\text{э}}$ .

Инфильтрационные теплотери имеют существенный годовой ход с максимальными значениями зимой, который обусловлен главным образом годовым ходом температуры (скорость ветра зимой на ст. Диксон также несколько выше, чем летом). Еще сильнее выражен годовой ход радиации, поток которой в зимнее

Таблица 3

Годовой ход дефицита тепла ( $^{\circ}\text{C}$ ). Диксон

Характеристика	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	$\Sigma$
$\Delta T$	44	44	42	35	26	18	13	13	17	25	36	41	354
$\Delta T_{\text{в}}$	14	11	11	8	6	4	3	3	4	7	11	13	95
$\Delta T_{\text{р}}$	0	1	7	22	29	21	18	12	5	2	0	0	117
$\Delta T_{\text{э}}$	58	54	46	21	3	1	-2	4	16	30	47	54	458
$\Delta T - \Delta T_{\text{э}}$	-14	-10	-4	14	23	17	15	9	1	-5	-11	-13	20

время равен нулю (полярная ночь), поэтому вклад радиации имеет ярко выраженный годовой ход, обратный ходу теплотерьер, обусловленных воздухообменом. В результате реальные теплотери в зимнее время года получаются существенно больше, чем по существующим предписаниям, а в летнее время — существенно меньше. Поэтому при тех же годовых затратах топлива его нужно тратить летом значительно меньше, а зимой значительно больше, чем это следует из расчетов по применяемой в настоящее время методике.

Как уже упоминалось, для всех остальных рассмотренных пунктов, кроме Диксона, расчеты по предлагаемой теории дают существенно меньшие значения дефицитов тепла за отопительный период, благодаря чему открываются возможности заметной экономии топлива. Как видно из табл. 1, эта экономия составляет в среднем более 20%. Из табл. 4 можно видеть, каким образом распределяется эта экономия в течение отопительного периода. В этой таблице приведены средние месячные значения разности  $\Delta T - \Delta T_{\text{э}}$  для отопительного периода применительно ко всем рассмотренным пунктам (кроме Диксона, см. табл. 3).

Мы видим, что для всех пунктов, кроме Ташкента (и Диксона, см. выше), теплотери в декабре и январе примерно такие же, как по существующей теории. Это происходит потому, что в эти месяцы инфильтрационные теплотери максимальны в годовом ходе, а поступления лучистого тепла — минимальны, и они при-

близительно уравниваются. Выигрыш же имеет место в переходные сезоны, причем, как можно видеть из табл. 4, весной он существенно больше, чем осенью. Это связано главным образом с большими значениями радиационного потока, обусловленными в свою очередь меньшими средними величинами облачности. Впрочем, в действительности указанная асимметрия должна быть выражена более слабо, чем это следует из табл. 4, так как влияет еще термическая инерция отражения, о которой говорилось выше.<sup>4</sup>

Таблица 4

Ход разности  $\Delta T - \Delta T_0 = T_0 - T_n$  в течение отопительного периода (восточная ориентация)

Пункт	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	$\Sigma$
Салехард . . . . .	-3	0	10	20	19	—	—	—	3	1	-2	-3	45
Якутск . . . . .	1	6	16	21	12	—	—	—	11	5	1	0	73
Москва . . . . .	1	3	11	14	—	—	—	—	—	5	2	0	36
Целиноград . . . . .	1	6	11	15	—	—	—	—	—	7	1	0	41
Владивосток . . . . .	2	7	12	14	—	—	—	—	—	—	15	2	52
Ташкент . . . . .	7	8	—	—	—	—	—	—	—	—	9	6	30
Братск . . . . .	2	6	14	12	11	—	—	—	—	5	3	1	54

Исключение составляют районы с жарким климатом, представленные в нашей выборке Ташкентом. В Ташкенте среднемесячные скорости ветра малы (от 1,6 до 2,3 м/сек.), и потому влияние воздухопроницаания на теплопотери ничтожно. Но и при более сильных средних ветрах воздухообмен в районах с жарким климатом не приводит к сильному понижению температуры вследствие сравнительно высоких температур наружного воздуха. Поэтому зимой в таких районах теплопотери уменьшаются благодаря лучистым потокам тепла, хотя сами эти потоки имеют тот же порядок величины, как и в других пунктах. Экономия, достигаемая за счет этого эффекта, по абсолютному значению сравнительно невелика, однако, вследствие малых значений затраты тепла в таких районах, она составляет весьма значительную часть последней.

7. Подводя итоги сказанному, можно утверждать, что учет влияния ветра и радиации на теплопотери зданий не только позволяет объективным путем установить продолжительность отопительного периода, но позволяет также правильно планировать режим отопления, что в большинстве районов СССР должно привести к существенной экономии.

Более подробно, на существенно большем материале, вопрос о продолжительности отопительного периода и режиме отопления

в различных климатических зонах Советского Союза, рассмотрен в работе [1]. Необходимо только еще раз подчеркнуть, что все эти результаты относятся к отдельно стоящим зданиям, не экранируемым другими строениями от воздействия лучистых потоков. При наличии такого экранирования полезное влияние радиации в холодное время года будет, разумеется, меньше. Количественная оценка этого эффекта явится темой специального исследования.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Анапольская Л. Е. Оценка дефицита тепла в различных климатических условиях.— См. наст. сборник.
2. Гандин Л. С. О влиянии ветра на тепловой режим зданий.— Труды ГГО, 1970, вып. 268.
3. Гандин Л. С. Тепловой режим зданий и лучистый теплообмен.— Труды ГГО, 1970, вып. 268.
4. Гандин Л. С. К вопросу о вычислении норм теплопотерь по усредненным данным.— См. наст. сборник.
5. Пивоварова З. И. Оценка суммарного прихода коротковолновой радиации на стены зданий.— Труды ГГО, 1967, вып. 209.
6. Циценко Г. В. О радиационных свойствах обледеневших оконных стекол.— Труды ГГО, 1969, вып. 249.

## К ВОПРОСУ О РАСЧЕТЕ НОРМ ТЕПЛОПOTЕРЬ ПО ОСРЕДНЕННЫМ ДАННЫМ

1. При определении климатических норм, т. е. средних значений параметров, представляющих интерес для теоретической или прикладной климатологии, часто используются расчетные методы, позволяющие определять эти параметры по данным о других, лучше известных метеорологических элементах. Формулы, на которых базируются такие расчетные методы, чаще всего применимы не к осредненным, а к индивидуальным значениям входящих в них величин. Поэтому при использовании таких формул для климатологических расчетов нужно, строго говоря, применить их к каждому индивидуальному состоянию и результаты осреднить. Такой путь, однако, помимо трудоемкости расчетов, обычно сопряжен с трудностями, вызываемыми недостаточным объемом или недостаточной однородностью имеющегося материала по таким «мгновенным» состояниям. Помимо этого, встречаются и принципиальные трудности, связанные с тем, что формулы указанного типа применимы не ко всем таким состояниям. По всем этим причинам вместо указанного пути применяют простую подстановку в расчетные формулы осредненных значений фигурирующих в ней параметров.

Понятно, что такой путь приводит к некоторым ошибкам расчета, поскольку среднее значение некоторой функции не должно, вообще говоря, равняться ее значению при средних величинах аргументов. Поэтому, прежде чем использовать такие расчетные методы, необходимо оценить эти ошибки. Рассмотрим способы такой оценки.

2. Пусть имеется некоторая функция, зависящая, скажем, от трех аргументов:

$$f = f(x, y, z),$$

и пусть эта функция разложима в степенной ряд в окрестности точки  $(x = \bar{x}, y = \bar{y}, z = \bar{z})$ . Черта сверху здесь и далее означает

осреднение, понимаемое в статистическом смысле. Ограничиваясь в указанном разложении членами до второго порядка включительно, запишем его в виде

$$\begin{aligned}
 f(x, y, z) = & f(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}) + \frac{\partial f}{\partial x}(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z})(x - \bar{x}) + \frac{\partial f}{\partial y}(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z})(y - \bar{y}) + \\
 & + \frac{\partial f}{\partial z}(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z})(z - \bar{z}) + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 f}{\partial x^2}(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z})(x - \bar{x})^2 + \\
 & + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 f}{\partial y^2}(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z})(y - \bar{y})^2 + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 f}{\partial z^2}(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z})(z - \bar{z})^2 + \\
 & + \frac{\partial^2 f}{\partial y \partial z}(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z})(y - \bar{y})(z - \bar{z}) + \frac{\partial^2 f}{\partial z \partial x}(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z})(z - \bar{z})(x - \bar{x}) + \\
 & + \frac{\partial^2 f}{\partial x \partial y}(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z})(x - \bar{x})(y - \bar{y}) + \dots
 \end{aligned} \quad (1)$$

Осредним теперь соотношение (1). При этом примем во внимание, что по определению средних величин

$$\overline{(x - \bar{x})} = \overline{(y - \bar{y})} = \overline{(z - \bar{z})} = 0.$$

Кроме того, введем средние квадратические отклонения  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$  и  $\sigma_z$  элементов  $x$ ,  $y$  и  $z$ :

$$\sigma_y^2 = \overline{(y - \bar{y})^2}; \quad \sigma_x^2 = \overline{(x - \bar{x})^2}; \quad \sigma_z^2 = \overline{(z - \bar{z})^2} \quad (2)$$

и коэффициенты корреляции между ними:

$$\begin{aligned}
 r_{yz} = \frac{\overline{(y - \bar{y})(z - \bar{z})}}{\sigma_y \sigma_z}; \quad r_{zx} = \frac{\overline{(z - \bar{z})(x - \bar{x})}}{\sigma_z \sigma_x}; \\
 r_{xy} = \frac{\overline{(x - \bar{x})(y - \bar{y})}}{\sigma_x \sigma_y}.
 \end{aligned} \quad (3)$$

Тогда получим

$$\begin{aligned}
 \bar{f} = f(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}) = & \frac{\partial^2 f}{\partial x^2}(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}) \frac{\sigma_x^2}{2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2}(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}) \frac{\sigma_y^2}{2} + \\
 & + \frac{\partial^2 f}{\partial z^2}(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}) \frac{\sigma_z^2}{2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y \partial z}(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}) \sigma_y \sigma_z r_{yz} + \frac{\partial^2 f}{\partial z \partial x}(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}) \sigma_z \sigma_x r_{zx} + \\
 & + \frac{\partial^2 f}{\partial x \partial y}(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}) \sigma_x \sigma_y r_{xy} + \dots
 \end{aligned} \quad (4)$$

Величина, стоящая в левой части формулы (4), и представляет собой ошибку определения среднего значения функции по средним значениям аргументов  $x$ ,  $y$ ,  $z$  (с обратным знаком). Обычно разложение, на котором базируется формула (4), действительно существует, и члены третьего и высших порядков малы по сравнению с удержанными в правой части (4) членами, так что этой формулой можно пользоваться для оценки величины  $\bar{f} - f(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z})$ .

Поскольку вид функции  $f(x, y, z)$  задан и средние значения всех аргументов также известны, все вторые производные, входящие в формулу (4), можно считать известными. Поэтому для оценки рассматриваемой ошибки нужно еще знать только дисперсии  $\sigma_x^2$ ,  $\sigma_y^2$  и  $\sigma_z^2$  элементов  $x$ ,  $y$  и  $z$  и коэффициенты корреляции  $r_{yz}$ ,  $r_{zx}$  и  $r_{xy}$  между ними.

В правую часть формулы (4) входят слагаемые двух типов. К первому из них относятся первые три слагаемых. Каждое из них зависит от изменчивости одного из метеорологических параметров и от степени нелинейности зависимости интересующей нас величины от этого параметра, которая описывается второй производной по нему.

Последние три слагаемых в правой части формулы (4) зависят как от изменчивости метеорологических параметров, так и от корреляции между ними и описывают ошибки, обусловленные коррелированностью исходных параметров.

Наконец, отброшенные члены в правой части формулы (4) зависят от статистических характеристик более сложной природы. Применительно к большому числу расчетных формул, используемых в климатологии, эти члены малы по сравнению с удержанными и ими можно пренебречь.

3. В работе [1] вычислены среднемесячные средние многолетние значения так называемой эффективной температуры теплопотерь здания  $T_э$ , которая определяется по формуле

$$T_э = T_n - \frac{\tau R}{R_{ок}} \left[ A(\gamma v) - 1 \right] (T_b - T_n) + R \tau \epsilon J, \quad (5)$$

где  $T_n$  — температура наружного воздуха,  $v$  — скорость ветра;  $J$  — поток суммарной радиации, падающей на остекленные части ограждения здания;  $R$ ,  $R_{ок}$ ,  $\gamma$ ,  $T_b$ ,  $\tau$  и  $\epsilon$  — заданные параметры здания; функция  $A(\gamma v)$  затабулирована (см. рис. 1). Эти вычисления производились путем подстановки вместо  $T_n$ ,  $v$  и  $J$  их среднемесячных средних многолетних значений. Такой путь был выбран не только для экономии времени. Дело, во-первых, в том, что формулы пересчета, примененные для вычисления потока  $J$  по данным актинометрических измерений суммарной радиации, падающей на горизонтальную поверхность, применимы не к мгновенным, а именно к осредненным значениям этих потоков. Кроме того,

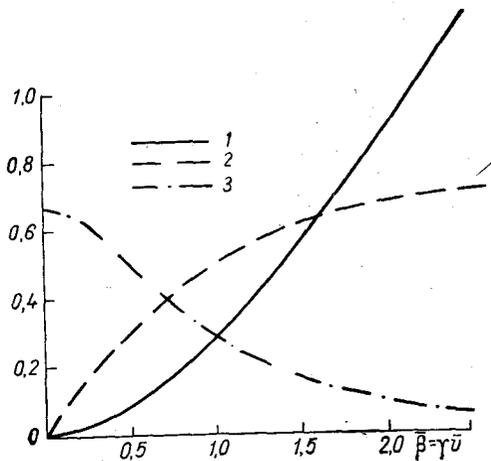


Рис. 1. Функции  $A(\gamma v) - 1$  (кривая 1),  $A'(\gamma v)$  (кривая 2) и  $A''(\gamma v)$  (кривая 3).

сведения по совместной повторяемости температуры  $T_n$  и скорости ветра  $v$  известны гораздо хуже, чем нормы температуры и ветра.

Используя формулу (4), можно, обладая такими сведениями, оценить погрешность, допущенную в результате подстановки в формулу (5) средних значений элементов  $T_n$ ,  $v$  и  $J$ . При этом, поскольку поток  $J$  входит в формулу (5) линейно, т. е.

$$\frac{\partial^2 T_3}{\partial J^2} \equiv \frac{\partial^2 T_3}{\partial T_n \partial J} \equiv \frac{\partial^2 T_3}{\partial v \partial J} \equiv 0, \quad (6)$$

подстановка его среднего значения не вызывает никакой ошибки. Имея это в виду, будем рассматривать эффективную температуру, вычисленную без учета радиации, т. е. по формуле

$$T_3 = T_n - \frac{\tau R}{R_{ок}} [A(\gamma v) - 1] (T_b - T_n). \quad (7)$$

На основании формулы (4) получаем

$$\bar{T}_3 = T_3(\bar{T}_n, \bar{v}) - \gamma^2 \frac{\tau R}{R_{ок}} A''(\gamma \bar{v}) (T_b - \bar{T}_n) \frac{\sigma_v^2}{2} + \gamma \frac{\tau R}{R_{ок}} A'(\gamma \bar{v}) \sigma_v \sigma_{T_n} r_{vT_n} \quad (8)$$

где штрихом обозначено дифференцирование функции  $A$  по аргументу  $\gamma v$ . Второй член правой части формулы (8) описывает вклад нелинейности зависимости  $T_3$  от скорости ветра  $v$ , а последний член — влияние коррелированности скорости ветра  $v$  и температуры воздуха  $T_n$ .

В отличие от расчетов самой эффективной температуры  $T_3$ , для оценки ошибок ее вычисления по формуле (8) недостаточно иметь лишь функцию  $A(\gamma v)$ , а необходимо также знать ее две первых производных. Поскольку функция  $A(\gamma v)$  выражается интегралом

$$A(\gamma v) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \gamma v \int_0^{\infty} e^{-\frac{x^2}{2}} \operatorname{cth}(\gamma vx) x dx,$$

не сводящимся к элементарным функциям, то производные от этой функции могут быть получены лишь численно. Такие вычисления были выполнены Е. И. Федорченко на ЭВМ М-220 по составленной ею программе. Результаты вычисления для интервала  $\gamma v$  от 0 до 2,5 представлены на рис. 1. На этом рисунке показана зависимость функции  $A(\gamma v) - 1$  (кривая 1), ее первой (кривая 2) и второй (кривая 3) производных от аргумента  $\gamma v$ .

4. Л. Е. Анапольская любезно предоставила в наше распоряжение данные по совместной повторяемости скорости ветра  $v$  и температуры  $T_n$  для двух выборок, относящихся соответственно к январю для Целинограда (2349 случаев) и к июлю для Владивостока (3100 случаев). Эти выборки были взяты, в частности, потому, что распределение повторяемостей указывало на заметную корреляцию между температурой и скоростью ветра.

Приведем значения статистических характеристик, полученных по этим выборкам:

Пункт	Месяц	$\bar{T}_H$ °C	$\sigma_{T_H}$ °C	$\bar{v}$ м/сек.	$\sigma_v$ м/сек.	$r_{T_H v}$
Целиноград . . . . .	I	-17,2	7,8	5,4	4,5	0,30
Владивосток . . . . .	VII	17,5	3,5	5,7	3,7	-0,19

Естественно, что зимой коэффициент  $r_{T_H v}$  положителен (низкие температуры чаще бывают при слабых ветрах), а летом — отрицателен (усиление ветра сопровождается чаще понижением температуры). Абсолютные значения  $r_{T_H v}$  оказались небольшими.

Для указанных выборок были выполнены как непосредственные вычисления  $\bar{T}_v$ , так и их оценки по формуле (8). При этих вычислениях были приняты те же значения теплотехнических параметров здания, что и в работе [1], а именно:  $T_B = 18^\circ\text{C}$ ;  $\gamma = 0,2$  сек/м;  $\tau R/R_{ок} = 0,45$ . Результаты вычислений представлены в следующей таблице, где через  $H$  обозначен вклад нелинейности зависимости  $T_v$  от  $v$ , а через  $K$  — вклад коррелированности  $T_H$  и  $v$ .

Пункт	Месяц	$T_v (\bar{T}_H, \bar{v})$ °C	$H$ °C	$K$ °C	$\bar{T}_v$ (8)	$\bar{T}_v$
Целиноград . . . . .	I	-22,4	-1,6	0,5	-23,5	-23,4
Владивосток . . . . .	VII	17,4	0,0	-0,1	17,3	17,3

Мы видим, что согласование между фактическими значениями  $\bar{T}_v$  (последняя графа) и результатами их оценки по формуле (8) (предпоследняя графа) очень хорошее. Для зимней выборки (январь) ошибка вычисления  $\bar{T}_v$  по средним значениям  $T_H$  и  $v$  составляет около  $1^\circ\text{C}$ . Она обусловлена в большей мере нелинейностью зависимости  $T_v$  от скорости ветра и в меньшей мере — коррелированностью температуры и скорости ветра, причем эти эффекты действуют в противоположные стороны.

Летом ошибка, обусловленная нелинейностью, существенно меньше, нежели зимой, главным образом потому, что гораздо меньше разность  $T_B - \bar{T}_H$ , которой эта ошибка пропорциональна. Ошибка, обусловленная корреляцией между  $T_H$  и  $v$ , также меньше летом в силу меньшей изменчивости этих элементов. В результате для летней выборки ошибка при использовании средних значений составляет лишь  $0,1^\circ\text{C}$ .

Таким образом, наибольшие ошибки рассматриваемого типа имеют место зимой. Но и они весьма малы по сравнению с характерными разностями  $T_B - \bar{T}_v$ , что и оправдывает расчеты средних

значений эффективной температуры по осредненным значениям температуры воздуха и скорости ветра.

5. Соображения, аналогичные изложенным выше, могут быть использованы также и для оценки изменчивости расчетных климатологических параметров.

Удерживая в разложении (1) лишь члены до первого порядка включительно, нетрудно получить для дисперсии расчетного параметра  $f$

$$\sigma_f^2 = \overline{[f(x, y, z) - \bar{f}]^2} \quad (9)$$

следующую приближенную формулу:

$$\begin{aligned} \sigma_f^2 = & \left[ \frac{\partial f}{\partial x}(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}) \right]^2 \sigma_x^2 + \left[ \frac{\partial f}{\partial y}(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}) \right]^2 \sigma_y^2 + \left[ \frac{\partial f}{\partial z}(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}) \right]^2 \sigma_z^2 + \\ & + 2 \frac{\partial f}{\partial y}(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}) \frac{\partial f}{\partial z}(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}) \sigma_y \sigma_z r_{yz} + \\ & + 2 \frac{\partial f}{\partial z}(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}) \frac{\partial f}{\partial x}(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}) \sigma_z \sigma_x r_{zx} + \\ & + 2 \frac{\partial f}{\partial x}(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}) \frac{\partial f}{\partial y}(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}) \sigma_x \sigma_y r_{xy}. \end{aligned} \quad (10)$$

В частности, для эффективной температуры теплопотерь здания, определяемой формулой (5), имеем

$$\begin{aligned} \sigma_{T_g}^2 = & \left\{ 1 + \frac{\tau R}{R_{\text{ок}}} [A(\gamma \bar{v}) - 1] \right\}^2 \sigma_{T_H}^2 + \\ & + \left[ \gamma \frac{\tau R}{R_{\text{ок}}} A'(\gamma \bar{v}) (T_B - \bar{T}_H) \right]^2 \sigma_v^2 + (R \tau \varepsilon)^2 \sigma_J^2 - \\ & - 2 \gamma \frac{R^2 \tau^2 \varepsilon}{R_{\text{ок}}} A'(\gamma \bar{v}) (T_B - \bar{T}_H) \sigma_v \sigma_J r_{vJ} + \\ & + 2 R \tau \varepsilon \left\{ 1 + \frac{\tau R}{R_{\text{ок}}} [A(\gamma \bar{v}) - 1] \right\} \sigma_J \sigma_{T_H} r_{JT_H} - \\ & - 2 \left\{ 1 + \frac{\tau R}{R_{\text{ок}}} [A(\gamma \bar{v}) - 1] \right\} \gamma \frac{\tau R}{R_{\text{ок}}} A'(\gamma \bar{v}) (T_B - \bar{T}_H) \sigma_{T_H} \sigma_v r_{T_H v}. \end{aligned} \quad (11)$$

В настоящее время, как уже указывалось, не имеется достаточных данных о потоках суммарной радиации  $J$ , падающих на вертикальные поверхности. Поэтому нам пришлось ограничиться анализом изменчивости эффективной температуры, вычисленной в пренебрежении лучистыми потоками тепла, т. е. по формуле (7). В этом случае формула (11) принимает вид

$$\begin{aligned} \sigma_{T_g}^2 = & \left\{ 1 + \frac{\tau R}{R_{\text{ок}}} [A(\gamma \bar{v}) - 1] \right\}^2 \sigma_{T_H}^2 + \left[ \gamma \frac{\tau R}{R_{\text{ок}}} A'(\gamma \bar{v}) (T_B - \bar{T}_H) \right]^2 \sigma_v^2 - \\ & - 2 \left\{ 1 + \frac{\tau R}{R_{\text{ок}}} [A(\gamma \bar{v}) - 1] \right\} \gamma \frac{\tau R}{R_{\text{ок}}} A'(\gamma \bar{v}) (T_B - \bar{T}_H) \sigma_{T_H} \sigma_v r_{T_H v}. \end{aligned} \quad (12)$$

Результаты расчетов, выполненных для упомянутых выше выборок при использовании приведенных значений параметров здания, оказались следующими:

Пункт	Месяц	$T$ (°C) <sup>2</sup>	$V$ (°C) <sup>2</sup>	$r$ (°C) <sup>2</sup>	$\sigma_{T_{\text{эф}}}^{(12)}$ °C	$\sigma_{T_{\text{эф}}}$ °C
Целиноград . . . . .	I	81	55	-40	9,8	10,0
Владивосток . . . . .	VII	16,4	0	0,1	4,1	4,2

Здесь через  $T$ ,  $V$ , и  $r$  обозначены вклады в дисперсию  $T_{\text{эф}}$ , обусловленные соответственно изменчивостью температуры наружного воздуха (первый член правой части формулы (12)), изменчивостью скорости ветра (второй член) и корреляцией между ними (третий член).

Приведенные данные показывают, что различия между  $\sigma_{T_{\text{эф}}}$ , вычисленной непосредственно из выборки (последняя графа) и оцененной по формуле (12), весьма малы. Можно видеть также, что вклад изменчивости температуры наружного воздуха в изменчивость эффективной температуры больше, чем вклад изменчивости ветра.

В зимнее время величины всех трех вкладов разнятся не сильно, причем наличие корреляции между ветром и температурой уменьшает дисперсию эффективной температуры. В летнее время вклады корреляции между температурой и ветром и изменчивости последнего весьма малы, поскольку первый из этих вкладов пропорционален малой (для лета) разности  $T_{\text{в}} - \bar{T}_{\text{н}}$ , а второй — квадрату этой разности. Поэтому летом изменчивость эффективной температуры определяется почти исключительно изменчивостью реальной температуры (напомним, что влияние радиации не учитывается!) и существенно меньше, чем в зимнее время года.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Г ан д и н Л. С. О расчете длительности отопительного периода и норм отопления в различных климатических условиях.— См. наст. сборник.

## КЛИМАТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МАКСИМАЛЬНОЙ ТЕПЛОТДАЧИ ЗДАНИЙ

Режим отопления здания в соответствии с сезонными изменениями погодных условий делится на несколько этапов, требующих различной интенсивности работы отопительной системы. Осенью и весной требуется периодическое протапливание или регулярная, но небольшая подача тепла в систему. В период наиболее низких температур отопление работает с полной нагрузкой, и определение этой нагрузки является сложной задачей всех теплотехнических расчетов. До настоящего времени в действующих нормативных документах [1] в качестве основной метеорологической характеристики используется средняя многолетняя температура наиболее холодной пятидневки или однодневки (в зависимости от массивности ограждающих конструкций):

К теплопотерям, вычисленным по температуре самой холодной пятидневки, вводится добавка на инфильтрационные теплопотери зимой в районах со скоростями ветра 5 м/сек. и более. В работе [3] произведено сравнение температуры холодной пятидневки с дефицитом тепла, вычисленным с учетом воздействия ветра. Это сравнение показало, что в районах с большими скоростями ветра различие в результатах расчета достигает 50 и даже 100%.

Более полные исследования, выполненные в работе [2], позволили количественно оценить влияние ветра на тепловой режим зданий. Из предыдущих исследований было известно, что наибольшие теплопотери возникают не при крайних значениях температуры воздуха или скорости ветра, а при некоторых сочетаниях не самых низких температур и не самых сильных ветров. Подобное сочетание будет наблюдаться в течение какого-то времени, длительность которого будет весьма различной. Кратковременное понижение температуры и повышение скорости ветра принимать в расчет не имеет смысла, а меру необходимой длительности периода следует определить из расчетов.

Согласно [3], совместное влияние температуры воздуха и скорости ветра на теплоотдачу здания можно оценить по формуле

$$T_3 = T_n - \mu (J - 1) (T_b - T_n), \quad (1)$$

где  $\mu = \tau \frac{R}{R_{ок}}$ ,  $T_n$  — температура наружного воздуха,  $R$  — термическое сопротивление всего ограждения,  $R_{ок}$  — термическое сопротивление оконной части ограждения,  $\tau$  — относительная площадь оконной части ограждения, через которую осуществляются инфильтрационные потери тепла.

$$J = \int_{-\infty}^{\infty} \beta \operatorname{cth} \beta f(\beta) d\beta, \quad (2)$$

где  $\beta = \frac{1}{2} \rho c u R_{ок}$ ,  $\rho$  — плотность воздуха,  $c$  — его теплоемкость при постоянном давлении,  $u$  — скорость воздухопроницания. При  $\beta \neq 0$ ,  $J > 1$ , т. е. при наличии воздухообмена теплотери больше, чем при штиле.

Для дальнейших расчетов необходимо было бы знать закон распределения скоростей воздухопроницания (инфильтрации и эксфильтрации) через оконную часть ограждения. Однако величина  $J$  мало зависит от вида этого распределения, она определяется главным образом средним квадратическим значением  $\beta$ . После соответствующих расчетов [3] была определена зависимость  $J$  от  $\beta$ , причем оказалось, что при малых значениях  $\beta$

$$J(\bar{\beta}) = 1 + \frac{\bar{\beta}^2}{3} \quad (\bar{\beta} \ll 1)$$

а при больших значениях  $\bar{\beta}$

$$J(\bar{\beta}) = \sqrt{\frac{2}{\mu}} \bar{\beta} \approx 0,798 \bar{\beta}.$$

Кроме того, выяснилось, что величина  $\bar{u}$ , а потому и  $\bar{\beta}$ , пропорциональны первой степени скорости ветра  $v$ . Поэтому было принято, что  $\bar{\beta} = \gamma v$ , где  $\gamma$  имеет размерность сек/м и характеризует степень воздухопроницаемости оконной части ограждения.

Оценка степени воздухопроницаемости окон с различным остеклением показала, что для двойного остекления  $\bar{u} = 0,70 \cdot 10^{-3} v$ , а для одинарного —  $u = 1,09 \cdot 10^{-3} v$ , т. е. средняя квадратическая скорость воздухопроницания составляет около 0,1% от скорости ветра.

Для определения значения  $\gamma$  воспользуемся формулой

$$\gamma = \frac{1}{2} \rho c R_{ок} \frac{u}{v}, \quad (3)$$

а также следующими оценками сопротивления  $R_{ок}$  из [3]:

при двойном остеклении  $R_{ок} = 0,58 \text{ м}^2 \text{ час} \cdot \text{град} / \text{ккал}$ .

при одинарном остеклении  $R_{ок} = 0,38 \text{ м}^2 \text{ час} \cdot \text{град} / \text{ккал}$ .

Принимая далее, что  $\rho = 1,28 \text{ кг} / \text{м}^3$  и  $c = 0,24 \text{ ккал} / \text{кг} \cdot \text{град}$ ., получим, что  $\gamma = 0,225 \text{ сек} / \text{м}$ .

Приведенное значение  $\gamma$  имеет ориентировочный характер в силу ряда допущений в исходных данных и того, что степень воздухопроницаемости в различных зданиях будет зависеть от ряда факторов, учет которых весьма сложен.

В приводимых ниже расчетах принято  $\gamma=0,20$  сек/м. В формулу (1) входит также величина  $\tau$  — относительная площадь оконной части ограждения, от которой зависит безразмерный параметр  $\mu$ .

Величина термического сопротивления ограждения определяется формулой

$$\frac{1}{R} = \frac{\tau}{R_{ок}} + \frac{1-\tau}{R_{ст}}. \quad (4)$$

Если ввести отношение  $\xi = \frac{R_{ок}}{R_{ст}}$ , где  $R_{ст}$  — термическое сопротивление стены, то

$$\mu = \frac{1}{1 + \xi \left( \frac{1}{\tau} - 1 \right)}.$$

Из расчетов было получено для основного варианта следующее сочетание  $\tau=0,3$ ,  $\xi=0,52$ ,  $\mu=0,45$  (относительная площадь окон 30%, двойное остекление).

Рассмотрение величин, входящих в формулу (1), позволило выяснить, от каких конструктивных параметров зависят результаты расчета максимальной теплоотдачи здания. Введенная в расчеты величина  $T_0$  названа эффективной температурой. Она имеет размерность температуры и зависит как от температуры наружного воздуха, так и от скорости ветра.  $T_0$  представляет собой такое значение температуры наружного воздуха, при котором в условиях штиля здание имело бы такие же теплопотери, какие возникают при данной температуре наружного воздуха  $T_H$  и данной скорости ветра  $v$ .

Для расчета повторяемостей различных значений  $T_0$  необходимо иметь данные о сочетаниях температуры наружного воздуха и скорости ветра, измеренных в одно и то же время. Такие данные получены для большого числа (около 200) пунктов СССР за 25 лет наблюдений по четырехсрочным наблюдениям. Как известно, двадцатипятилетний период наблюдений для оценки двухпараметрического распределения совершенно недостаточно. Поэтому для расчетов теплоотдачи зданий была использована эффективная температура, т. е. был сделан переход к однопараметрической статистике, что является единственно правильным путем получения достаточно достоверных сведений о совместном действии двух метеорологических величин.

Опишем вкратце методику вычислений.

Для расчета  $T_0$  необходимо табл. 1, в которой приведены значения  $T_0$  для различных возможных сочетаний температуры воздуха и скорости ветра, совместить с табл. 2, в которой приведены данные по ст. Ленинград.

Эффективная температура  $T_э$  при  $\gamma = 0,2$  сек/м

$v$ м/сек	$T, ^\circ\text{C}$																									
	-1	-3	-5	-7	-9	-11	-13	-15	-17	-19	-21	-23	-25	-27	-29	-31	-33	-35	-37	-39	-41	-43	-45	-47	-49	-51
0,5	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	29	31	33	35	37	39	41	43	45	47	49	51
2,5	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	25	28	29	31	33	35	37	39	41	43	45	47	49	51	54
4,5	3	5	7	10	12	14	16	18	21	23	25	27	30	32	34	36	38	41	43	45	47	49	52	54	56	58
6,5	5	7	10	12	14	17	19	22	24	26	29	31	34	36	38	41	43	46	48	50	53	55	58	60	62	65
8,5	7	10	12	15	17	20	22	25	28	31	33	36	38	41	44	46	49	52	54	57	59	62	65	67	70	73
10,5	9	12	15	18	21	24	26	29	32	35	38	41	44	46	49	52	55	58	61	64	67	69	72	75	78	81
12,5	12	15	18	21	24	27	30	33	37	40	43	46	49	52	55	58	62	65	68	71	74	77	80	83	87	90
14,5	14	17	21	24	28	31	34	38	41	45	48	51	55	58	61	65	68	72	75	78	82	85	89	92	95	99
16,5	17	20	24	27	31	35	38	42	46	49	53	57	60	64	68	71	75	78	82	86	89	93	97	100	104	108
19,0	20	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60	64	68	72	76	79	83	87	91	95	99	103	107	111	115	119
22,5	24	29	33	38	42	47	51	56	60	65	69	73	78	82	87	91	96	100	105	109	114	118	123	127	131	136
26,5	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150	155
31,5	36	42	48	52	54	65	71	76	82	88	94	99	105	111	117	122	128	134	139	145	151	156	162	168	174	179
37,5	44	51	57	64	71	77	84	90	97	103	110	116	123	130	136	143	149	156	162	169	176	182	189	195	202	208

Таблица 2  
Повторяемость различных сочетаний температуры воздуха и скорости ветра. Ленинград, 1936—1960 гг.

Скорость вет. Па, м/сек.	Температура воздуха, °С																			
	0,0—2,0	2,1—4,0	4,1—6,0	6,1—8,0	8,1—10,0	10,1—12,0	12,1—14,0	14,1—16,0	16,1—18,0	18,1—20,0	20,1—22,0	22,1—24,0	24,1—26,0	26,1—28,0	28,1—30,0	30,1—32,0	32,1—34,0	34,1—36,0		
0—1	2,052 —1	1,672 —3	1,372 —5	1,187 —7	1,124 —9	0,896 —11	0,790 —13	0,715 —15	0,614 —17	0,476 —19	0,361 —21	0,210 —23	0,174 —25	0,087 —27	0,036 —29	0,017 —31	0,003 —33	0,003 —35	0,003 —41	
2—3	2,593 —2	1,929 —4	1,680 —6	1,320 —8	1,151 —10	0,855 —12	0,624 —14	0,471 —16	0,320 —18	0,210 —20	0,093 —22	0,095 —25	0,048 —28	0,028 —29	0,034 —31	0,011 —33	0,003 —35	0,008 —37	0,003 —41	
4—5	1,972 —3	1,571 —5	1,154 —7	0,889 —10	0,698 —12	0,525 —14	0,328 —16	0,216 —18	0,126 —21	0,067 —23	0,053 —25	0,020 —27	0,014 —30	0,017 —32	0,003 —34	0,008 —36	0,003 —38	0,003 —41	0,003 —41	
6—7	0,756 —5	0,591 —7	0,415 —10	0,339 —12	0,254 —14	0,162 —17	0,081 —19	0,067 —22	0,034 —24	0,011 —26	0,008 —29	0,003 —31	0,006 —34	0,006 —36	0,003 —38	0,003 —41				
8—9	0,171 —7	0,159 —10	0,093 —12	0,067 —15	0,053 —17	0,022 —20	0,014 —22													
10—11	0,022 —9	0,011 —12	0,006 —15	0,008 —18	0,008 —21		0,003 —26													
12—13	0,008 —12	0,008 —15	0,008 —18		0,003 —24			0,006 —33												
16—17		0,003 —20																		

Примечание. Первая строка — повторяемость сочетаний в процентах от общего числа случаев наблюдений за год, вторая строка — эффективная температура  $T_e$ .

Таблица 3

Эффективная температура  $T_э$  с вероятностью 0,1 и 0,4 %

Станция	Вероятность		Станция	Вероятность	
	0,1 %	0,4 %		0,1 %	0,4 %
Мурманск . . . . .	-47	-40	Гурьев . . . . .	-49	-38
Канин Нос . . . . .	-64	-53	Сухуми . . . . .	-6	-4
Кемь, порт . . . . .	-40	-34	Боржоми . . . . .	-16	-12
Архангельск . . . . .	-39	-35	Тбилиси . . . . .	-13	-8
Мезень . . . . .	-44	-39	Махачкала . . . . .	-38	-27
Усть-Шугор . . . . .	-49	-46	Ереван . . . . .	-20	-16
Паданы . . . . .	-36	-32	Диксон . . . . .	-110	-87
Сыктывкар . . . . .	-50	-43	Новый Порт . . . . .	-72	-65
Ленинград . . . . .	-32	-26	Тазовское . . . . .	-76	-69
Вологда . . . . .	-41	-36	Туруханск . . . . .	-59	-51
Киров . . . . .	-44	-39	Березово . . . . .	-59	-47
Пермь . . . . .	-43	-38	Салехард . . . . .	-68	-57
Елабуга . . . . .	-44	-38	Сургут . . . . .	-56	-49
Лиепая . . . . .	-35	-28	Свердловск . . . . .	-45	-38
Рига . . . . .	-29	-24	Омск . . . . .	-54	-47
Вильнюс . . . . .	-29	-24	Тобольск . . . . .	-56	-48
Великие Луки . . . . .	-38	-32	Новосибирск . . . . .	-49	-42
Минск . . . . .	-33	-29	Енисейск . . . . .	-50	-47
Василевичи . . . . .	-30	-26	Кустанай . . . . .	-53	-44
Курск . . . . .	-38	-33	Целиноград . . . . .	-63	-52
Земетчино . . . . .	-39	-35	Семипалатинск . . . . .	-52	-44
Безенчук . . . . .	-44	-38	Ключи . . . . .	-57	-48
Киев . . . . .	-30	-24	Купино . . . . .	-59	-50
Полтава . . . . .	-43	-37	Томск . . . . .	-59	-48
Луганск . . . . .	-44	-35	Кемерово . . . . .	-54	-47
Воропоново . . . . .	-58	-47	Красноярск . . . . .	-48	-41
Оренбург . . . . .	-55	-43	Барнаул . . . . .	-49	-42
Кишинев . . . . .	-31	-23	Киселевск . . . . .	-46	-40
Одесса . . . . .	-38	-31	Минусинск . . . . .	-46	-42
Геническ . . . . .	-38	-29	Карсакпай . . . . .	-55	-45
Ростов-на-Дону . . . . .	-49	-41	Казалинск . . . . .	-46	-34
Краснодар . . . . .	-31	-24	Каркаралинск . . . . .	-53	-41
Новороссийск . . . . .	-52	-36	Зайсан . . . . .	-40	-35
Ново-Пятигорск . . . . .	-32	-25	Катон-Карагай . . . . .	-46	-39
Преображенское . . . . .	-34	-28	Кош-Агач . . . . .	-50	-48

Станция	Вероятность		Станция	Вероятность	
	0,1 %	0,4 %		0,1 %	0,4 %
Красноводск . . . . .	-21	-15	Вилуйск . . . . .	-58	-55
Дарваза . . . . .	-25	-21	Олекминск . . . . .	-53	-50
Зеагли . . . . .	-25	-20	Якутск . . . . .	-58	-56
Туркестан . . . . .	-31	-26	Оймякон . . . . .	-61	-59
Ташкент . . . . .	-18	-15	Нагаева бухта . . . . .	-55	-47
ассансай . . . . .	-21	-17	Усть-Кан . . . . .	-45	-40
Ош . . . . .	-19	-16	Братск . . . . .	-48	-44
Самарканд . . . . .	-20	-16	Киренск . . . . .	-54	-50
Пенджикенд . . . . .	-17	-14	Аян . . . . .	-54	-45
Исфара . . . . .	-16	-13	Баяндай . . . . .	-48	-43
Гарм . . . . .	-25	-19	Иркутск . . . . .	-40	-38
Фергана . . . . .	-18	-14	Чита . . . . .	-43	-41
Нарын . . . . .	-32	-30	Улан-Удэ . . . . .	-48	-42
Алма-Ата . . . . .	-28	-23	Борзя . . . . .	-51	-45
Пржевальск . . . . .	-38	-27	Нерчинский завод . . . . .	-43	-40
Ашхабад . . . . .	-14	-11	Благозещенск . . . . .	-47	-39
Байрам-Али . . . . .	-16	-13	Охотск . . . . .	-46	-42
Чешме . . . . .	-21	-17	Хабаровск . . . . .	-60	-52
Репетек . . . . .	-20	-15	Владивосток . . . . .	-65	-56
Керки . . . . .	-17	-12	Тетюхе . . . . .	-76	-60
Байсун . . . . .	-15	-11	Южно-Сахалинск . . . . .	-44	-35
Термез . . . . .	-20	-13	Холмск . . . . .	-48	-38
Ленинабад . . . . .	-30	-24	Углегорск . . . . .	-72	-56
Хорог . . . . .	-23	-19	Поронайск . . . . .	-45	-37
Мургаб . . . . .	-38	-35	Александровск-Сахалин- ский . . . . .	-57	-47
Тикси . . . . .	-111	-87	Оха . . . . .	-71	-60
Кюсюр . . . . .	-79	-69	Озерная . . . . .	-51	-42
Амбарчик . . . . .	-100	-88	Усть-Большерецк . . . . .	-53	-45
Оленёк . . . . .	-59	-56	Петропавловск-Камчатский . . . . .	-64	-50
Жиганск . . . . .	-80	-69	Елизово . . . . .	-35	-29
Верхоянск . . . . .	-59	-59	Мильково . . . . .	-45	-41
Зырянка . . . . .	-64	-53	Усть-Хайрюзово . . . . .	-56	-46
Анадырь . . . . .	-92	-77			
Тура . . . . .	-59	-55			

По повторяемости сочетаний температуры воздуха и скорости ветра за период 1936—1960 гг. использованы лишь данные об отрицательных температурах, так как в данном случае рассчитывается максимальная теплоотдача здания. Суммируя повторяемость одинаковых значений  $T_3$ , получаем дифференциальное распределение  $T_3$ . Переходя к интегральной повторяемости, получаем возможность оценить значение  $T_3$ , соответствующее той или иной заданной интегральной повторяемости.

В табл. 3 приведены данные о  $T_3$  с вероятностью 0,1 и 0,4% в различных районах СССР. Выбранные вероятности соответствуют тому значению  $T_3$ , которое будет осуществляться несколько

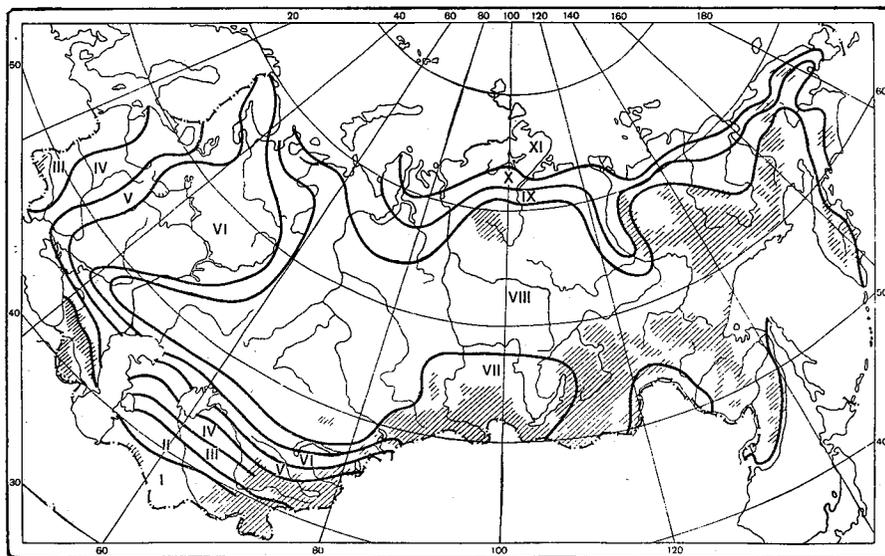


Рис. 1. Карта-схема районирования по величине  $T_3$  с вероятностью 0,1%.

чаще, чем ежегодно (0,1%), т. е. в течение 9 час. (один случай можно примерно отнести к 6 час. длительности) или в течение 36 час. (0,4%). Обе эти величины могут быть рекомендованы для расчетов максимальных теплотерь и максимальной необходимой мощности отопительной системы. Если в ходе практического использования предлагаемой методики расчета потребуется знание  $T_3$  любой другой вероятности, то такие данные могут быть получены из имеющихся в нашем распоряжении материалов.

Анализ распределения значений  $T_3$  по территории СССР удобнее всего провести путем районирования выполняемого на основе данных отдельных станций. Попытка подобного районирования представлена на рис. 1, где показано распределение районов для  $T_3$  с вероятностью 0,1%. Всего на территории СССР выделено

11 районов (табл. 4), в каждый из которых вошли станции с  $T_3$ , различающейся на 5, 10 и 20°. Совершенно очевидно, что различие значений  $T_3$  на 10° уже несколько огрубляет результаты, однако при больших градиентах  $T_3$  в районах с большими скоростями ветра для некоторой части территории точность районирования уменьшается.

Таблица 4

Район	Градиция $T_3^{\circ}\text{C}$	Район	Градиция $T_3^{\circ}\text{C}$
I	$\leq -20$	VII	-46, -50
II	-21, -25	VIII	-51, -60
III	-26, -30	IX	-51, -70
IV	-31, -35	X	-71, -90
V	-36, -40	XI	91, -110
VI	-41, -45		

Районирование по любой комплексной величине представляет значительные трудности, обусловленные тем, что одно и то же значение исследуемой характеристики будет зависеть от различных факторов. Так, например,  $T_3$  будет равна  $-30^{\circ}$  при  $T = -30^{\circ}$ ,  $v = 0 \div 1$  м/сек., при  $T = -2^{\circ}$ ,  $v = 24$  м/сек. или  $T = -14^{\circ}$  и  $v = 10$  м/сек. Различие причин, обуславливающих значительные понижения  $T_3$ , особенно сильно сказываются на значениях ее, имеющих малую повторяемость. Различный вклад температуры и ветра в величину  $T_3$  по разному влияет как на выбор рациональных конструктивных параметров ограждения здания, так и на режим отопления. Поэтому использование карты эффективных температур, приведенной на рис. 1, может быть успешным лишь после того, как будут учтены причины, обуславливающие преобладание кондуктивной или инфильтрационной теплоотдачи, а также будут как-то оговорены условия инфильтрации в тех районах, где оба вида теплоотдачи примерно одинаковы. Как видно на рис. 1, наиболее обширным является район VIII, охватывающий территорию, где  $T_3$  с вероятностью 0,1% достигает значений от  $-51$  до  $-60^{\circ}\text{C}$ . Он занимает огромную территорию: от северо-восточной части Европейской территории СССР до западных районов Предуралья, Нижнего Поволжья и среднего течения Дона. К этому району относится также Западная Сибирь, Северный и Центральный Казахстан, Якутия и большая часть Дальнего Востока. Причины таких низких значений  $T_3$  на территории района VIII весьма различны. В Восточной Сибири основное влияние оказывает температура воздуха, и этот район можно с достаточной степенью точности отнести к районам с чисто кондуктивной теплоотдачей. На территории, расположенной западнее Енисея, величина  $T_3$  обусловлена значительными скоростями ветра, хотя и температуры воздуха здесь сравнительно

низкие. Однако значительная роль в защите от охлаждения должна принадлежать мерам по уменьшению инфильтрации.

Все северное побережье территории СССР отличается очень низкими значениями  $T_3$ , обусловленными в основном влиянием ветра, и эти районы можно назвать районами инфильтрационной теплоотдачи. В центральной части ЕТС величина  $T_3$  в основном колеблется от  $-40$  до  $-45^\circ\text{C}$ , и вклад ветра в теплотери изменяется в довольно широком диапазоне в зависимости от общей открытости местоположения.

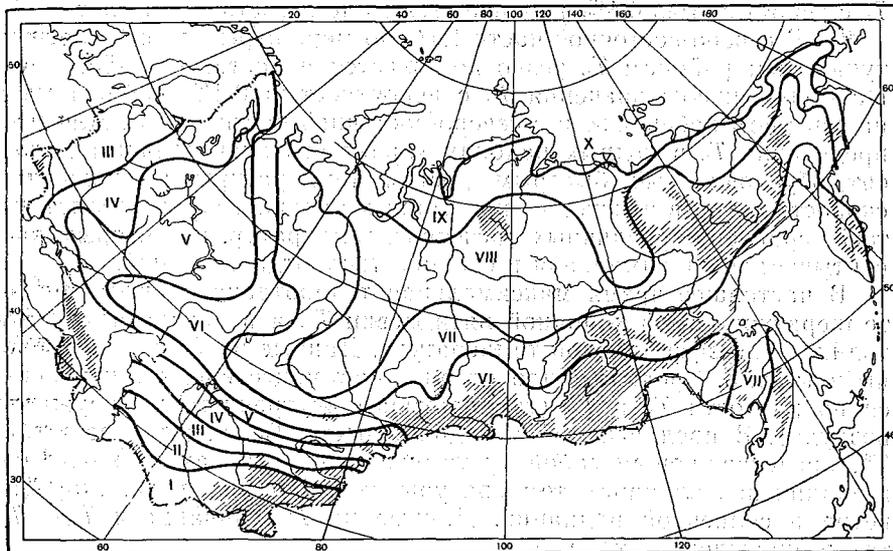


Рис. 2. Карта-схема районирования по величине  $T_3$  с вероятностью 0,4%.

Особо следует отметить распределение  $T_3$  на юге ЕТС, в Южном Казахстане и отчасти в Туркмении, где отмечается быстрое уменьшение величины  $T_3$  с вероятностью 0,1% к югу, обусловленное общим ростом температуры и уменьшением скоростей ветра. На Дальнем Востоке, в районах зимних муссонов, величина  $T_3$  достигает значений, сравнимых со значениями в северных районах (во Владивостоке  $T_3 = -65^\circ$ , в Тетюхе  $T_3 = -76^\circ$ ). Здесь заметную роль в общем тепловом балансе здания играет ветер, так как в период очень низких температур отмечаются большие скорости ветра.

На рис. 2 приведено схематическое районирование по  $T_3$  с вероятностью 0,4%. Переход к большей вероятности по-разному сказывается на значениях эффективной температуры. В районах с устойчивой зимней погодой различие величин  $T_3$  с вероятностью 0,1 и 0,4 составляет  $2-5^\circ$  (в Якутске  $-2^\circ$ , в Олекминске  $-3^\circ$ , в Брат-

ске  $-4^{\circ}$ , в Туркестане  $-5^{\circ}$ , в Вологде  $-5^{\circ}$ , в Курске  $-5^{\circ}$ , в Минске  $-4^{\circ}$  и т. д.).

В северных районах, где наблюдаются большие скорости ветра и для зимы характерно большое число циклонических, малоустойчивых погод, различие в величинах  $T_0$  разной вероятности составляет  $10-15^{\circ}$ , а в Диксоне  $23^{\circ}$ . Значительное увеличение разности  $T_0$  наблюдается на юге Западной Сибири и в Северном Казахстане, где миграция отрога сибирского антициклона сказывается в усилении ветра на фоне низких температур.

Распределение  $T_0$  с вероятностью  $0,4\%$  несколько отличается от приведенного на рис. 1. В центральной части ЕТС СССР значения  $T_0$  с вероятностью  $0,4\%$  различаются мало и составляют здесь  $-35, -40^{\circ}$ . В северо-восточной части ЕТС по мере перехода к безлесным тундровым районам  $T_0$  резко понижается и достигает  $-55, -60^{\circ}$ . Наиболее низкие значения  $T_0$  с вероятностью  $0,4\%$  наблюдаются на северном побережье и в северо-восточной части СССР. Для распределения  $T_0$  в южных районах характерен значительный градиент, обусловленный быстрым ростом температуры и снижением скорости ветра в некоторых предгорных районах. Представляет интерес сравнение различных расчетных температур, по которым рассчитывается максимальная и средняя теплоотдача зданий.

В настоящее время максимальная теплоотдача оценивается по температуре самой холодной пятидневки  $T_5$ , а в предлагаемой методике — по эффективной температуре. Данные по  $T_5$  и  $T_0$  приведены в табл. 5. Средние теплопотери в настоящее время вычисляются по разности  $T_B$  и  $T_H$  (температурам внутреннего и наружного воздуха). В предлагаемой методике вместо  $T_H$  вводится величина  $T^*$ , представляющая собой ту температуру, которая возникла бы в здании под влиянием температуры наружного воздуха, скорости ветра и солнечной радиации. Данные по  $T^*$  (январь) и  $T_B - T_H$  также приведены в табл. 5.

В наиболее холодный зимний месяц (практически январь для большей части территории СССР), когда влияние радиации почти не сказывается, различие между  $T^*$  и  $T_B - T_H$  определяется инфильтрационными теплопотерями. Поэтому зимой в наиболее ветреных районах различие достигает  $10-15^{\circ}$  (например, для Диксона  $14^{\circ}$ ). В условиях безветренной зимы эта разница невелика и достигает нескольких градусов.

Максимальные теплопотери определяются величиной  $T_B - T_5$  по СНиП и  $T_B - T_0$  с вероятности  $0,4\%$  по предлагаемой методике. В тех районах, где в период низких температур наблюдаются тихие, безветренные погоды, расчетные температуры, вычисленные разными методами, мало отличаются по величине (Якутск, Иркутск). Запас мощности отопительной системы по отношению к средним потребностям составляет в Якутске  $15-20\%$ , т. е. запроектированная мощность почти полностью используется.

В тех районах, где низкие температуры наблюдаются при значительных скоростях ветра,  $T_0$  с вероятностью  $0,4\%$  и  $T_B - T_5$  очень сильно различаются.

Таблица 5

Станция	T* (ян- варь)	T <sub>в</sub> -T <sub>н</sub>	T <sub>в</sub> -T <sub>э</sub>		T <sub>в</sub> -T <sub>б</sub>
			0,1%	0,4%	
Мурманск . . . . .	33	28	65	58	46
Ленинград . . . . .	27	26	50	44	43
Минск . . . . .	25	25	51	47	43
Полтава . . . . .	25	25	61	55	40
Диксон . . . . .	58	44	128	105	59
Свердловск . . . . .	33	33	63	56	51
Омск . . . . .	37	37	72	65	55
Новосибирск . . . . .	35	37	67	60	57
Целиноград . . . . .	35	35	81	70	52
Ташкент . . . . .	12	19	36	33	33
Иркутск . . . . .	36	39	58	56	56
Якутск . . . . .	60	61	76	74	73
Владивосток . . . . .	30	32	83	74	43
Петропавловск-Камчатский . . . . .	30	26	82	68	41

Так, в Целинограде по расчетам без учета ветра  $T_v - T_b$  должно быть равно  $52^\circ$ , а с учетом ветра, т. е. по  $T_э$  с вероятностью 0,4% —  $70^\circ$ . Также очень велика разница во Владивостоке, на Камчатке, в степных районах Украины и т. д. Особенно больших значений различие достигает на северных побережьях (Диксон, Мурманск и др.).

Анализ результатов расчетов показывает следующее.

1. Максимальные теплототери здания должны определяться не по температуре холодной пятидневки, а по  $T_э$  с вероятностью 0,1% или 0,4%, учитывающей сильное охлаждающее действие ветра.

2. Наиболее рациональный выбор вероятности  $T_э$  должен быть определен специалистами-теплотехниками.

3. Необходимо проведение специальных расчетов для обоснования экономической целесообразности проектирования отопительных систем с большим запасом тепла при малом времени ее использования, а также увеличения герметизации зданий для уменьшения инфильтрационной теплоотдачи. Во втором случае затраты на уменьшение инфильтрационных теплотерь, по-видимому, довольно быстро окупятся за счет меньшего расхода топлива и меньших затрат на увеличение мощности котельных и отопления.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Строительные нормы и правила. Часть II, раздел А, глава 7, М., 1963.
2. Г андин Л. С. О влиянии ветра на тепловой режим зданий.— Труды ГГО, 1970, вып. 268.
3. Анапольская Л. Е. О расчетных параметрах максимальной теплоотдачи зданий.— Труды ГГО, 1970, вып. 268.

Л. Е. АНАПОЛЬСКАЯ

### ОЦЕНКА ДЕФИЦИТА ТЕПЛА В РАЗЛИЧНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Исследования влияния метеорологических факторов на тепловой режим здания [1—4] позволили оценить в градусах меру вклада каждого метеорологического элемента в тепловой баланс зданий. Подобные расчеты дают возможность с достаточной степенью приближения выделить районы, где тепловой режим здания определяется: 1) температурой воздуха, а влияние ветра и радиации либо незначительно, либо взаимноисключающе (сколько добавляет радиация, столько уносит ветер); 2) температурой и ветром, так как имеют место значительные инфильтрационные теплопотери; 3) температурой и солнечной радиацией, так как теплопотери, возникающие под влиянием температуры воздуха и ветра, практически компенсируются теплом, поступающим от солнечной радиации.

Раздельное рассмотрение влияния температуры воздуха, ветра и радиации в годовом ходе позволяет, кроме того, более подробно проанализировать особенности теплопотерь в переходные сезоны, что, как известно, до настоящего времени делается лишь качественно. Так, например, в работе [5] авторы, выделяя сезоны с различными условиями эксплуатации жилых зданий, вводят понятие смешанного режима эксплуатации помещений, который наступает при температуре воздуха 4°. Выбор границы качественный. В СНиП [6], как известно, период отапливания определяется температурой 8° и ниже, что также является качественной, практической нормой.

В настоящей статье рассматриваются результаты расчетов дефицита тепла, возникающего под влиянием температуры воздуха, скорости ветра и радиации в различных климатических условиях.

Параметры здания и расчетные формулы приведены в статье [4]. В дальнейшем изложении в некоторых случаях вместо дефицита тепла для простоты употребляется термин теплопотери, хотя в действительности теплопотери равны произведению  $\Delta T$ , на площадь ограждения, деленному на сопротивление R.

При анализе результатов проведенных расчетов целесообразно рассмотреть: 1) дефицит тепла, обусловленный воздухообменом (ветром); 2) изменение теплопотерь под влиянием радиации; 3) длительность и температуру отопительного периода; 4) климатические особенности распределения дефицита тепла в переходные сезоны (наибольшие теплопотери, протапливание и т. д.).

### 1. Дефицит тепла, обусловленный действием ветра

Влияние ветра [3] оценивается величиной

$$\Delta T_{\text{в}} = \frac{\tau R}{R_{\text{ок}}} [A(\gamma v) - 1] \Delta T,$$

где  $\Delta T$  — разница между температурами воздуха снаружи ( $T_{\text{н}}$ ) и внутри здания ( $T_{\text{в}}$ );  $R$  и  $R_{\text{ок}}$  — сопротивление здания в целом и только окон соответственно;  $v$  — скорость ветра,  $\gamma$  — коэффициент воздухопроницаемости;  $A(\gamma v)$  — функция, рассчитанная в работе [3];  $\Delta T_{\text{в}}$  — дефицит тепла за счет воздухообмена.

Таблица 1

Характеристика	XI	XII	I	II	III
Целиноград					
$T_{\text{н}}$ . . . . .	-7,6	-14,6	-17,4	-16,8	-10,9
$v$ . . . . .	5,8	5,8	5,6	5,5	6,2
$\Delta T_{\text{в}}$ . . . . .	4	5	6	5	5
Воркута					
$T_{\text{н}}$ . . . . .	-14	-18	-20	-20	-17
$v$ . . . . .	5,8	6,3	6,3	6,1	6,4
$\Delta T_{\text{в}}$ . . . . .	5	7	7	7	7
Норильск					
$T_{\text{н}}$ . . . . .	-21,8	-25,6	-27,6	-25,4	-21,4
$v$ . . . . .	5,7	6,1	6,4	5,8	6,7
$\Delta T_{\text{в}}$ . . . . .	6	8	9	7	8

Как следует из приведенной формулы, величина  $\Delta T_{\text{в}}$  зависит как от скорости ветра, так и от температуры воздуха. Это означает, что в зависимости от температуры воздуха одна и та же скорость ветра будет приводить к различным теплопотерям. В качестве примера рассмотрим данные по трем пунктам, имеющим почти одинаковую скорость ветра в период ноябрь — март, т. е. тогда, когда теплопотери наибольшие.

Как видно из данных табл. 1, различие температур воздуха при практически одинаковых скоростях ветра изменяет значение  $\Delta T_{\text{в}}$

на 25—50%. Годовая величина  $\Delta T_{\text{в}}$  в различных районах СССР меняется в широком диапазоне, от 80—95° на северном побережье Азиатской территории СССР до нескольких градусов в центре Восточной Сибири, южных районах Казахстана, Средней Азии и Закавказье.

Как показывают расчеты, значения  $\Delta T_{\text{в}}$  сильно меняются как от степени пересеченности местности, так и от общих циркуляционных условий (превалирование циклонической или антициклонической погоды).

Таблица 2

Станция	Теплопотери, обусловленные влиянием			Отношение (%) теплопотерь за счет ветра к	
	температуры воздуха $\Delta T_{\text{т}}$	температуры воздуха и ветра $\Delta T_{\text{т, в}}$	ветра $\Delta T_{\text{в}}$	общим	без учета ветра
Архангельск . . . . .	207	234	27	11	13
Воркута . . . . .	290	342	52	15	18
Москва . . . . .	170	183	13	7	8
Полтава . . . . .	131	154	23	15	18
Одесса . . . . .	99	118	19	16	19
Диксон . . . . .	354	449	95	21	27
Норильск . . . . .	332	350	58	15	18
Омск . . . . .	218	245	27	11	12
Целиноград . . . . .	199	231	32	14	16
Ташкент . . . . .	56	56	0	—	—
Тикси . . . . .	376	430	54	13	14
Якутск . . . . .	332	347	8	2	2
Магадан . . . . .	271	288	17	6	6
Владивосток . . . . .	167	207	40	19	24
Южно-Сахалинск . . . . .	190	207	17	8	9

Так, например, на побережье Кольского полуострова  $\Delta T_{\text{в}}$  достигает 70—80° (ст. Дальне-Зеленецкая, 74°), а в более защищенных условиях, в Мурманске — лишь 24°, на ст. Диксон  $\Delta T_{\text{в}}$  составляет 95°, в Норильске 58°, а в Туруханске 25°. Еще большие различия на сравнительно небольшом расстоянии наблюдаются в Восточной Сибири. Так, в бухте Тикси  $\Delta T_{\text{в}}=54^\circ$ , а в Верхоянске  $\Delta T_{\text{в}}=1^\circ$ .

Наряду с абсолютными значениями  $\Delta T_{\text{в}}$  большой интерес представляет относительная величина этих теплопотерь, по сравнению с общими теплопотерями в данном пункте. В качестве примера рассмотрим теплопотери, обусловленные влиянием только температуры и температуры и ветра. В районах с большими скоростями ветра зимой теплопотери за счет ветра составляют до 23—27% от

теплопотерь, обусловленных только температурой воздуха. В Якутске при очень больших теплопотерях за счет низких температур добавка за счет ветра составляет 1—2%. На Европейской территории СССР добавка за счет ветра составляет 10—20% в открытых районах и 5—7% в более защищенных районах и больших городах (табл. 2).

Наиболее действенным оказывается влияние ветра в период низких температур, когда солнечной радиации нет (в северных

Таблица 3

Годовой ход потерь тепла за счет ветра ( $\Delta T_{\text{в}}$ )

Станция	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Мурманск . . . . .	5	4	3	2	1	1	0	0	1	1	3	3
Архангельск . . . . .	4	4	3	2	2	1	0	0	1	3	3	4
Воркута . . . . .	7	7	7	5	4	2	1	1	2	4	5	7
Москва . . . . .	2	3	2	1	0	0	0	0	0	1	2	2
Полтава . . . . .	4	5	4	2	0	0	0	0	0	1	3	4
Одесса . . . . .	4	4	3	1	0	0	0	0	0	1	2	4
Куйбышев . . . . .	4	4	4	1	0	0	0	0	2	1	2	3
Волгоград . . . . .	6	7	5	2	0	-1	-1	-1	0	2	4	5
Баку . . . . .	3	3	3	2	0	-1	-1	-1	-1	0	1	2
Свердловск . . . . .	3	2	2	1	1	0	0	0	1	2	3	3
Целиноград . . . . .	6	5	5	3	1	0	0	0	1	2	4	5
Салехард . . . . .	4	3	4	3	3	1	1	1	1	3	3	3
Норильск . . . . .	9	7	8	6	4	2	0	1	2	5	6	8
Туруханск . . . . .	4	3	3	2	1	1	0	0	1	3	3	4
Новосибирск . . . . .	3	2	3	1	1	0	0	0	0	1	2	3
Тикси . . . . .	9	8	6	4	3	2	1	1	2	5	6	8
Хабаровск . . . . .	4	4	4	2	1	0	0	0	1	2	5	6
Владивосток . . . . .	9	7	4	3	2	1	0	0	0	2	5	7
Петропавловск-Камчатский	9	8	6	5	2	1	1	0	1	3	6	9

районах в полярную ночь) или величина ее очень мала. Тогда теплопотери определяются температурой воздуха и ветром и, следовательно, защита от воздействия ветра может дать наиболее ощутимые результаты. Поэтому целесообразно было рассмотреть годовой ход ветровой добавки в различных климатических условиях.

Как видно из данных табл. 3, в период наиболее низких температур (декабрь — февраль) теплопотери за счет ветра достигают 7—9° в прибрежных и безлесных северных районах (Тикси, Воркута, Норильск) и на Дальнем Востоке (Владивосток, Петропавловск-Камчатский). Значительный интерес представляет тот факт,

что в Казахстане (Целиноград) и в степных районах Европейской территории СССР (Полтава, Волгоград) потери достигают 5—7°, т. е. становятся сравнимы с теплопотерями в северных условиях. Несколько меньше (4—5°) величина  $\Delta T_{\text{в}}$  в декабре — феврале бывает в более защищенных условиях (Архангельск, Полтава, Хабаровск). В переходные сезоны воздействие ветра, как правило, невелико. Летом ветер практически не оказывает влияния на температуру внутри помещения (Москва, Полтава, Одесса, Куйбышев и др.) или несколько снижает ее (Волгоград, Баку).

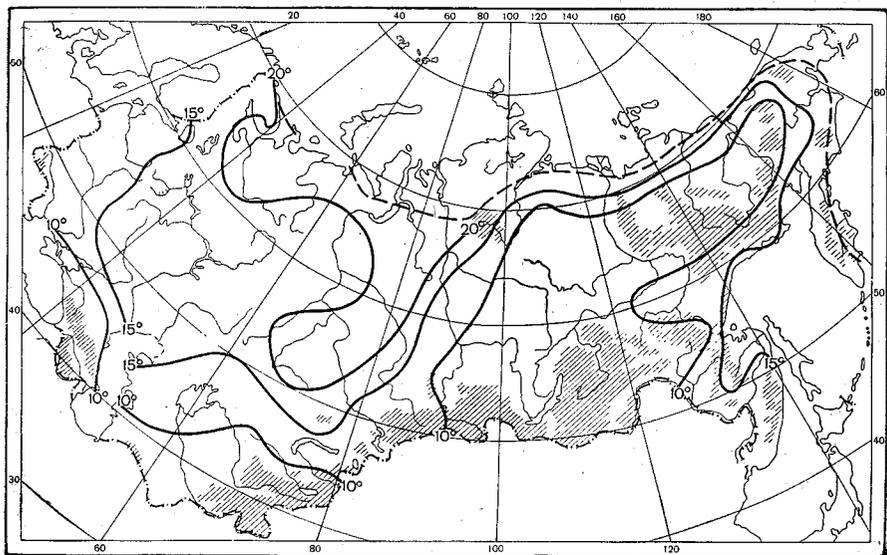


Рис. 1. Годовой ход величин  $\Delta T_{\text{в}}$  на территории СССР.

В заключение отметим, что в центральных районах ЕТС ветровая добавка составляет 17—25°, а в западных районах она уменьшается до 6—10°, в Северном Казахстане, центральной и южной части Западной Сибири  $\Delta T_{\text{в}}$  составляет 15—20°, в Средней Азии и на большей части Восточной Сибири добавка за счет ветра ничтожна (0—8°).

На северном побережье Советского Союза, особенно в азиатской части, влияние ветра резко возрастает, поэтому здесь степень открытости местоположения увеличивает значение  $\Delta T_{\text{в}}$  в 2 и более раз.

На рис. 1 выделена область, где влияние ветра обуславливает столь большой градиент роста поправок, что показать его на карте не представляется возможным, и поэтому мы ограничились выделением зоны, где  $\Delta T_{\text{в}}$  составляет 20° и более от общих теплопотерь.

## 2. Изменение теплотерь зданий под действием радиации

Влияние радиации на тепловой режим здания определяется ориентацией и площадью окон. В расчетах, проведенных в соответствии с предложенной теорией, количество тепла, обусловленное радиацией, оценивалось для трех ориентаций — север, юг, восток. Для общих рассуждений и оценок, по-видимому, наиболее справедливо будет использовать данные, полученные для стен восточной ориентации, и лишь в особых климатических условиях полезно рассмотреть тепловой режим северных и южных помещений.

Анализ данных о тепле, поступающем от радиации в различные сезоны года (табл. 4), показывает, что в центральные зимние меся-

Таблица 4

Годовой ход тепла (град.), поступающего в здание за счет радиации (восточная стена)

Станция	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Мурманск . . . . .	0	2	9	15	18	19	17	13	6	2	0	0	101
Архангельск . . . . .	0	3	10	16	21	20	21	15	6	3	1	0	116
Воркута . . . . .	1	3	14	24	21	21	25	14	8	3	1	0	135
Ленинград . . . . .	1	4	12	15	19	22	21	17	10	4	2	1	128
Рига . . . . .	2	4	10	14	22	22	21	17	11	5	2	1	131
Минск . . . . .	3	6	13	15	21	22	22	18	12	6	2	2	142
Москва . . . . .	3	6	13	15	21	23	22	17	11	6	3	2	142
Куйбышев . . . . .	4	8	14	19	22	22	22	19	12	7	4	3	156
Киев . . . . .	4	6	11	15	19	22	22	18	13	8	3	2	143
Волгоград . . . . .	6	7	12	17	23	23	23	21	16	9	5	3	165
Одесса . . . . .	4	5	11	15	21	22	24	21	16	10	4	3	156
Тбилиси . . . . .	6	7	13	15	19	20	20	18	14	11	6	5	154
Баку . . . . .	5	8	12	17	22	25	24	22	17	11	6	6	175
Диксон . . . . .	0	1	7	22	29	21	18	12	5	2	0	0	117
Норильск . . . . .	0	2	4	24	24	21	22	19	10	4	1	0	131
Свердловск . . . . .	3	7	16	17	22	24	22	18	11	6	4	2	152
Новосибирск . . . . .	5	8	17	16	22	22	22	18	13	6	4	3	156
Целиноград . . . . .	6	11	16	18	21	23	21	19	15	9	5	5	169
Ашхабад . . . . .	8	10	13	18	23	24	25	23	20	16	10	6	196
Ташкент . . . . .	7	8	13	18	23	25	26	24	20	14	9	6	193
Иркутск . . . . .	4	8	13	17	20	20	19	16	12	9	5	3	146
Якутск . . . . .	2	6	17	22	21	24	22	18	11	6	2	1	152
Чита . . . . .	6	10	17	19	24	21	19	16	14	11	6	5	168
Владивосток . . . . .	11	14	16	17	18	15	15	14	15	13	10	9	167

цы (декабрь — февраль) эта величина на Европейской территории СССР мала и до широты Минск — Москва — Куйбышев составляет 1—2°, в районах полярной ночи в период ноябрь — январь равна 0°.

В более южных районах ЕТС количество тепла составляет в декабре — январе 6° и постепенно возрастает к февралю — марту до 10—12°. На севере ЕТС незначительное количество тепла за счет радиации поступает в течение 6—7 месяцев (октябрь — март). Более ощутимо влияние радиации (до 10—14°) в марте, практически одинаковое в северных и южных районах ЕТС (в Воркуте 14°, в Ленинграде 12°, в Тбилиси 13°, в Баку 12°). Осенью в северных районах в сентябре и ноябре влияние радиации сказывается незначительно в пределах 2—5°.

Таблица 5

Теплопотери (град.), вычисленные с учетом температуры воздуха  $\Delta T_T$ , температуры и радиации  $\Delta T_p$

Станция	$\Delta T_T$	$\Delta T_{T,p}$	$\frac{\Delta T_{T,p}}{\Delta T_T} \%$	Станция	$\Delta T_T$	$\Delta T_{T,p}$	$\frac{\Delta T_{T,p}}{\Delta T_T} \%$
Мурманск . . . . .	213	144	68	Тикси . . . . .	376	268	71
Воркута . . . . .	290	189	65	Свердловск . . . . .	201	124	62
Ленинград . . . . .	163	104	63	Новосибирск . . . . .	217	139	64
Москва . . . . .	170	106	63	Норильск . . . . .	332	235	71
Минск . . . . .	149	89	60	Целиноград . . . . .	199	122	62
Киев . . . . .	130	80	62	Якутск . . . . .	339	255	75
Одесса . . . . .	99	60	61	Владивосток . . . . .	167	70	42

В северных районах Азиатской территории СССР период с малыми значениями радиационной добавки составляет от 5 до 7 месяцев, а в Средней Азии 3—4 месяца. По мере продвижения на восток, в районах с ясной зимней погодой радиационная добавка достаточно ощутима почти во все месяцы года. Так, во Владивостоке в январе — феврале, а в Чите в феврале  $\Delta T_p$  составляет 10—14°.

Особый интерес представляет величина  $\Delta T_p$  в летние месяцы, особенно в июне — июле. Практически во всех районах СССР, за исключением Дальнего Востока (Владивосток),  $\Delta T_p$  достигает 20—24°, а в южных районах 25—26°. Показательно в этом отношении значение  $\Delta T_p$  в Воркуте, Диксоне, Норильске, где благодаря полярному дню количество тепла за счет радиации сопоставимо с южными районами. В Куйбышеве, Волгограде, Одессе, Якутске, Чите, Владивостоке тепла за счет радиации за год поступает почти столько же, сколько в Тбилиси и Баку (150—170°) и лишь на 10—15% меньше, чем в Ташкенте и Ашхабаде. Для Владивостока, получающего в целом за год примерно столько же тепла, характерно более равномерное распределение его в течение года (примерно по

15—18° в месяц). Это объясняется тем, что в летние месяцы здесь часто наблюдается облачная погода, ослабляющая приход радиации.

Дополнительное тепло, возникающее в здании под действием лучистых потоков, уменьшает теплотери по сравнению с теплотериями, вычисленными с учетом только температуры (табл. 5).

Рассмотрение суммарных теплотерий за год показывает, что влияние радиации уменьшает потребность в тепле на 30—40%, а во Владивостоке до 60%. Расчеты выполнены для отдельно стоящего здания, не затененного застройкой. В городской застройке приход

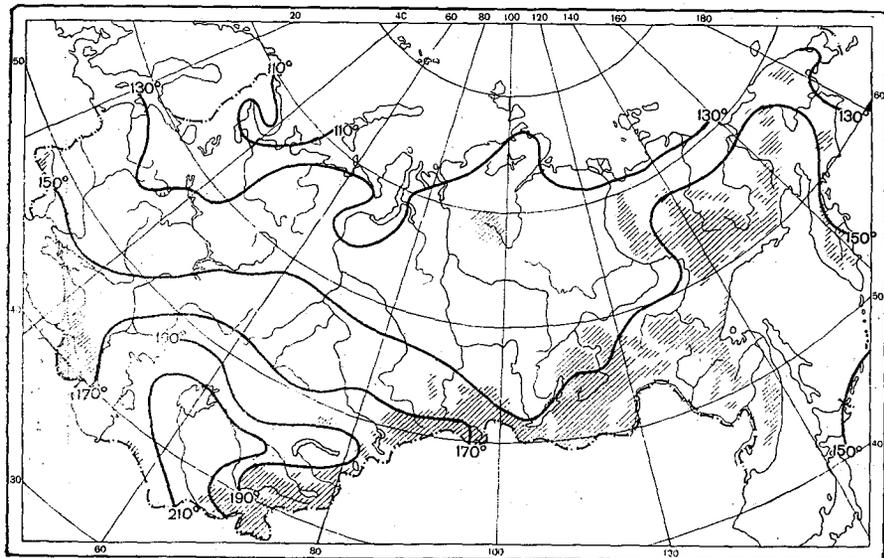


Рис. 2. Годовой ход величин  $\Delta T_p$  на территории СССР (восточная ориентация).

солнечной радиации будет значительно снижен, но даже если предположить, что рядом стоящие здания уменьшат эффект на 15—20%, то и при этом условии необходимость учета влияния радиации очевидна (рис. 2).

Резюмируя результаты анализа влияния солнечной радиации на микроклимат помещений, отметим следующее.

В период наиболее низких температур воздуха почти на всей территории СССР влияние радиации невелико. Затененность в условиях городской застройки при низком стоянии солнца еще уменьшает этот эффект. Эти рассуждения справедливы для периода октябрь — март в северных районах и ноябрь — февраль на всей остальной территории, за исключением небольшой части Дальнего Востока. В марте — апреле, а в некоторых более северных районах и в мае при низких температурах воздуха значение радиации

Годовой ход теплотерь (град.), возникающих под влиянием температуры воздуха и солнечной радиации

Станция	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Мурманск . . .	28	26	16	5	-4	-10	-12	-6	5	15	22	27
Воркута . . .	37	35	21	4	0	-9	-19	-6	6	19	31	36
Ленинград . . .	25	22	10	0	-11	-19	-21	-15	-3	9	16	22
Москва . . . .	25	22	10	-1	-15	-21	-22	-15	-4	8	17	24
Горький . . . .	28	24	12	-1	-15	-20	-22	-17	-3	9	19	26
Кишинев . . . .	17	14	3	-9	-18	-17	-28	-24	-14	-2	10	16
Одесса . . . .	16	15	5	-5	-18	-23	-28	-24	-15	-3	9	15
Тбилиси . . . .	11	8	-2	-9	-18	-23	-26	-24	-16	-7	4	10
Баку . . . . .	9	6	0	-9	-20	-28	-31	-29	-21	-10	1	5
Сочи . . . . .	7	6	0	-7	-16	-23	-26	-24	-17	-9	-1	6
Ереван . . . .	15	10	0	-11	-22	-28	-32	-30	-22	-12	2	13
Ашхабад . . . .	9	4	-4	-16	-28	-34	-38	-35	-26	-14	-1	8
Термез . . . .	6	1	-7	-19	-31	-36	-38	-36	-26	-15	-4	5
Диксон . . . .	44	42	35	13	-3	-3	-5	1	12	23	36	41
Норильск . . . .	46	41	35	8	-1	-9	-17	-11	4	22	39	40
Целиноград . . . .	29	24	13	-2	-15	-23	-23	-19	-8	7	21	28
Новосибирск . . . .	39	27	12	2	-14	-20	-23	-16	-5	10	24	32
Фрунзе . . . .	13	11	1	-10	-20	-28	-30	-27	-17	-5	8	14
Душанбе . . . .	9	4	-4	-15	-25	-32	-36	-31	-23	-11	-1	7
Ташкент . . . .	12	8	-3	-14	-25	-32	-35	-31	-21	-9	3	10
Свердловск . . . .	30	24	9	-2	-14	-22	-21	-15	-2	11	21	29
Алма-Ата . . . .	17	14	3	-9	-19	-25	-29	-21	-17	-4	10	16
Чита . . . . .	39	30	13	-1	-14	-19	-20	-14	-4	8	26	37
Якутск . . . .	59	48	23	3	-9	-21	-23	-15	1	20	44	57
Владивосток . . . .	21	15	6	-3	-9	-10	-15	-16	-13	-4	9	19

в общем тепловом балансе здания значительно возрастает. С этой точки зрения представляет интерес рассмотрение годового хода теплотерь здания, рассчитанных по данным о температуре воздуха и радиации (табл. 6). Отрицательные величины теплотерь означают избыток тепла по отношению к принятой температуре воздуха внутри помещения ( $18^\circ$ ). В средней полосе Европейской территории СССР, на юге Западной Сибири и в некоторых районах Казахстана количество тепла за счет радиации обеспечивает необходимую температуру внутри помещения ( $\Delta T_p$  составляет  $-2$ ,  $-3^\circ$ ). В южных районах это происходит уже в марте, а в север-

ных — лишь в мае. Осенью влияние радиации более разнообразно. На севере уже с сентября количество радиации не обеспечивает необходимой потребности в тепле, а в средней полосе ЕТС и на юге Западной Сибири в сентябре  $\Delta T_p$  еще отрицательна, т. е. тепла от радиации достаточно для поддержания внутри здания расчетной температуры. В южных районах страны отрицательное значение  $\Delta T_p$  сохраняется осенью до октября — ноября; примерно до этого же времени много солнечного тепла и во Владивостоке.

### 3. Длительность отопительного периода

Выполненные расчеты теплопотерь здания, возникающих под влиянием температуры воздуха, скорости ветра и радиации, позволяют оценить необходимое количество тепла в целом за год и по отдельным месяцам, определить длительность отопительного периода и установить температуру воздуха, при которой необходимо начинать или кончать топить. Эти же расчеты позволяют вычислить количество необходимого топлива и могут быть полезны при оценке условий эксплуатации жилищ, в соответствии с требованиями выбора типа планировки здания [5].

В табл. 7 приведены данные о теплопотерях здания, вычисленных с учетом влияния температуры воздуха, скорости ветра и радиации и только под действием температуры воздуха.

В районах Крайнего Севера, на Азиатской территории СССР (Якутия и северо-восточные районы Советского Союза) теплопотери за год составляют 300—340° на 1 м<sup>2</sup> ограждения. Влияние ветра и радиации в различных районах создает условия, близкие по потребности тепла. Так, например, несмотря на более низкую температуру воздуха в Якутске и Верхоянске требуется меньше тепла, чем в Тикси и Диксоне. Однако в первых двух пунктах уменьшение теплопотерь почти не может компенсироваться конструктивными особенностями здания, а на побережье, в районах с сильным ветром, герметизация оконных проемов, тройное остекление, утепление тамбура при входах в здание могут обеспечить значительное снижение теплопотерь.

На севере и северо-востоке ЕТС теплопотери составляют 170—140°, влияние ветра довольно значительно (20—27°), влияние радиации в период низких температур мало (рис. 3).

В южных районах теплопотери снижаются до 80—100°, в открытых степных районах влияние ветра должно учитываться при выборе типов зданий. На юге Западной Сибири и в северной части Казахстана теплопотери достигают 200—150°, влияние ветра здесь также значительно.

В южных районах Казахстана и в Средней Азии теплопотери невелики, период низких температур охватывает 2—3 месяца, влияние радиации очень велико, а влияние ветра ничтожно.

В Забайкалье теплопотери колеблются в пределах 150—200°, влияние ветра очень мало, а в районах, где зимой преобладает

Теплопотери (град.) , возникающие под влиянием температуры воздуха  $\Delta T_t$  и температуры воздуха, ветра и радиации  $\Delta T_{т, в, р}$

Станция	$\Delta T_t$	$\Delta T_{т, в, р}$	Станция	$\Delta T_t$	$\Delta T_{т, в, р}$
Мурманск . . . . .	213	166	Цхакая . . . . .	42	19
Дальне-Зеленецкая . . . . .	215	207	Цалка . . . . .	145	57
Хибины . . . . .	224	162	Скра . . . . .	93	47
Архангельск . . . . .	207	167	Телави . . . . .	75	33
Коткино . . . . .	254	185	Баку . . . . .	47	33
Воркута . . . . .	290	237	Ереван . . . . .	84	40
Петрозаводск . . . . .	188	143	Диксон . . . . .	354	334
Сыктывкар . . . . .	211	164	м. Челюскин . . . . .	390	346
Ленинград . . . . .	163	113	о. Преображения . . . . .	380	315
Вологда . . . . .	187	141	б. Тикси . . . . .	376	316
Ивдель . . . . .	227	161	м. Четырехстолбовый . . . . .	382	330
Рига . . . . .	149	100	м. Шмидта . . . . .	359	297
Валдай . . . . .	177	126	Уэлен . . . . .	310	261
Москва . . . . .	170	118	Салехард . . . . .	293	228
Горький . . . . .	176	135	Норильск . . . . .	322	289
Нолинск . . . . .	195	141	Оленёк . . . . .	369	281
Каунас . . . . .	139	92	Верхоянск . . . . .	408	308
Минск . . . . .	149	104	Средне-Колымск . . . . .	365	274
Куйбышев . . . . .	171	131	Островное . . . . .	362	273
Уфа . . . . .	182	138	Тухуранск . . . . .	299	237
Василевичи . . . . .	141	97	Тура . . . . .	330	249
Курск . . . . .	150	112	Туой-хая . . . . .	314	230
Каменная Степь . . . . .	153	120	Якутск . . . . .	339	262
Берегово . . . . .	96	58	Оймякон . . . . .	415	297
Новая Ушица . . . . .	130	79	Среднекан . . . . .	358	261
Киев . . . . .	130	85	Марково . . . . .	324	226
Полтава . . . . .	131	105	Корф . . . . .	253	200
Волгоград . . . . .	114	101	Свердловск . . . . .	201	139
Кишинев . . . . .	103	69	Сытомино . . . . .	253	185
Одесса . . . . .	99	77	Енисейск . . . . .	239	166
Цимлянская . . . . .	118	93	Ванавара . . . . .	290	207
Гигант . . . . .	98	81	Братск . . . . .	242	173
Судак . . . . .	73	44	Мамакан . . . . .	276	206
Сочи . . . . .	47	23	Алдан . . . . .	290	198
Сухуми . . . . .	39	15	Охотск . . . . .	276	177
Тбилиси . . . . .	52	36	Магадан . . . . .	271	175

Станция	$\Delta T_T$	$\Delta T_{T, в, р.}$	Станция	$\Delta T_T$	$\Delta T_{T, в, р.}$
Омск . . . . .	218	168	Форт Шевченко . . . . .	83	69
Новосибирск . . . . .	217	154	Тамды . . . . .	58	43
Хакасская . . . . .	222	156	Кара-Богаз-Гол . . . . .	54	32
Кызыл . . . . .	268	170	Аккум . . . . .	80	52
Иркутск . . . . .	230	150	Акмолла . . . . .	50	26
Чита . . . . .	249	155	Ташкент . . . . .	56	33
Сковородино . . . . .	272	180	Алма-Ата . . . . .	116	60
им. Полины Осипенко	255	151	Фрунзе . . . . .	96	52
Хабаровск . . . . .	199	133	Ашхабад . . . . .	21	21
Кустанай . . . . .	197	151	Термез . . . . .	13	13
Балхаш . . . . .	154	106	Чарджоу . . . . .	35	25
Целиноград . . . . .	199	150	Душанбе . . . . .	45	20
Семипалатинск . . . . .	177	112	Кировобад . . . . .	60	33
Западно-Казахстанская стоковая . . . . .	150	98	Сантахеза . . . . .	193	111
Гурьев . . . . .	118	96	Владивосток . . . . .	167	102
Аральское Море . . . . .	132	90	Петропавловск-Кам- чатский . . . . .	193	126
Джезказган . . . . .	164	115	Южно-Сахалинск . . . . .	190	96
Буран . . . . .	178	114	Южно-Курильск . . . . .	160	79

ясная погода (Чита), солнечная радиация оказывает влияние на температуру внутри помещения.

На Дальнем Востоке, Сахалине и Камчатке теплотери достигают 100—150°, влияние ветра меняется в зависимости от условий местоположения (Владивосток — 40°, Южно-Сахалинск — 17°), а солнечная радиация уменьшает теплотери на 50—70%. Некоторое представление о распределении величин теплотерь дает рис. 3.

Согласно предложенной теории, длительность отопительного периода определяется временем, когда теплотери равны нулю. Такое определение страдает некоторыми неточностями, так как не учитывает тепловой инерции здания, влияние которой сказалось бы на начале и конце отопительного периода в сторону более поздних дат.

Согласно СНиП [7], длительность отопительного периода на территории СССР колеблется от 365 дней на Крайнем Севере и северо-востоке СССР (Диксон, Уэлен) до 80—90 дней в южных районах страны. Начало и конец отопительного периода определяется

временем перехода средней суточной температуры через  $8^{\circ}$ . Введение дополнительных характеристик (ветра и радиации) изменяет длительность отопительного периода тем больше, чем сильнее влияние радиации, так как в основном за счет этого фактора и происходят изменения. Учет ориентации сказывается на длительности

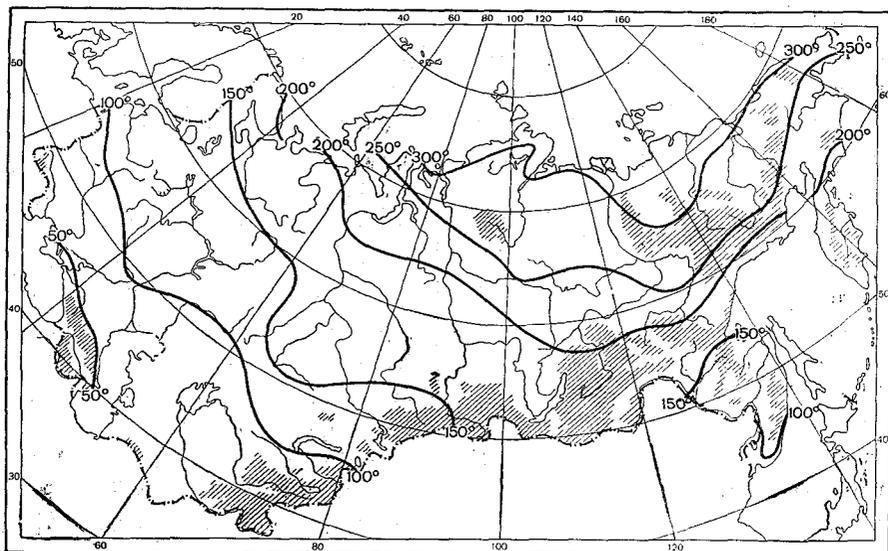


Рис. 3. Годовой ход дефицита тепла на территории СССР (восточная ориентация).

отопительного периода весьма существенно. Так, например, в Магадане при длительности отопительного периода 7 месяцев (восточная ориентация) для северных помещений отопление необходимо в течение 9 месяцев, а для южных — в течение 6 месяцев (табл. 8).

В Ташкенте, согласно расчетам с учетом радиации, нужно отапливать восточные помещения 4 месяца, южные — 2,5, а северные — 5 месяцев. Во Владивостоке, по данным СНиП, требуется отопление в течение почти 7 месяцев, а по данным расчетов с учетом радиации для помещений восточной ориентации — 6 месяцев, южной — 4 месяца, северной — 7 месяцев.

В некоторых южных районах (Термез, Ашхабад, Сухуми) в помещениях южной ориентации солнечная радиация почти полностью компенсирует тепло, расходуемое на теплопотери, и дополнительная подача тепла почти не нужна (с точностью до произведенного расчета). Резюмируя сказанное, укажем на то, что учет радиации в тепловом балансе здания позволяет более обоснованно подходить к вопросу о введении регулируемого отопления в районах, где оно экономически выгодно.

Таблица 8

Длительность отопительного периода (месяцы) по  
новой методике (а) и СНиП (б)

Станция	а	б	Станция	а	б
Мурманск . . . . .	8	9	Термез . . . . .	3	3
Воркута . . . . .	9	10	Целиноград . . . . .	7	7
Ленинград . . . . .	7	7	Диксон . . . . .	11	12
Москва . . . . .	6,5	7	Норильск . . . . .	9	10
Горький . . . . .	6,5	7	Свердловск . . . . .	6	8
Куйбышев . . . . .	6	6,5	Новосибирск . . . . .	7	7,5
Киев . . . . .	6	6,5	Фрунзе . . . . .	5	5,5
Кишинев . . . . .	5	5,5	Душанбе . . . . .	3	3,5
Одесса . . . . .	5	5,5	Ташкент . . . . .	4	4,5
Волгоград . . . . .	6	6	Алма-Ата . . . . .	5	6
Тбилиси . . . . .	4	5	Чита . . . . .	6,5	8,5
Баку . . . . .	5	4	Якутск . . . . .	8	8,5
Сочи . . . . .	4	3	Владивосток . . . . .	5,5	7
Ереван . . . . .	5	5	Петропавловск-Камчат- ский . . . . .	7	8,5
Сухуми . . . . .	3	2,5	Уэлен . . . . .	10	12
Ашхабад . . . . .	3	3,5	Магадан . . . . .	7	9,5

Таблица 9

## Температура воздуха начала (а) и конца (б) отопительного периода

Станция	а	б	Станция	а	б
Мурманск . . . . .	8	2	Свердловск . . . . .	9	3
Архангельск . . . . .	11	3	Сытомино . . . . .	8	5
Дальне-Зеленецкая . . . . .	8	3	Целиноград . . . . .	8	2
Воркута . . . . .	8	0	Акмолла . . . . .	7	3
Ленинград . . . . .	10	3	Ташкент . . . . .	8	8
Москва . . . . .	10	4	Алма-Ата . . . . .	6	5
Куйбышев . . . . .	10	4	Новосибирск . . . . .	8	2
Киев . . . . .	8	3	Иркутск . . . . .	7	1
Волгоград . . . . .	11	4	Сковородино . . . . .	7	2
Полтава . . . . .	10	9	Хабаровск . . . . .	8	2
Одесса . . . . .	12	6	Якутск . . . . .	6	2
Баку . . . . .	12	7	Чита . . . . .	5	1
Диксон . . . . .	5	2	Владивосток . . . . .	8	4
Тикси . . . . .	8	4	Южно-Сахалинск . . . . .	8	1
Норильск . . . . .	6	3	Петропавловск-Камчат- ский . . . . .	8	2
Салехард . . . . .	8	1	Магадан . . . . .	7	6

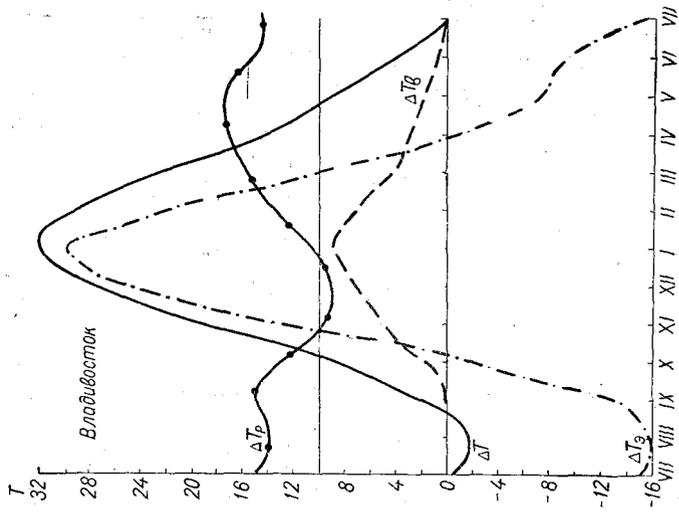


Рис. 4. Годовой ход дефицита тепла.

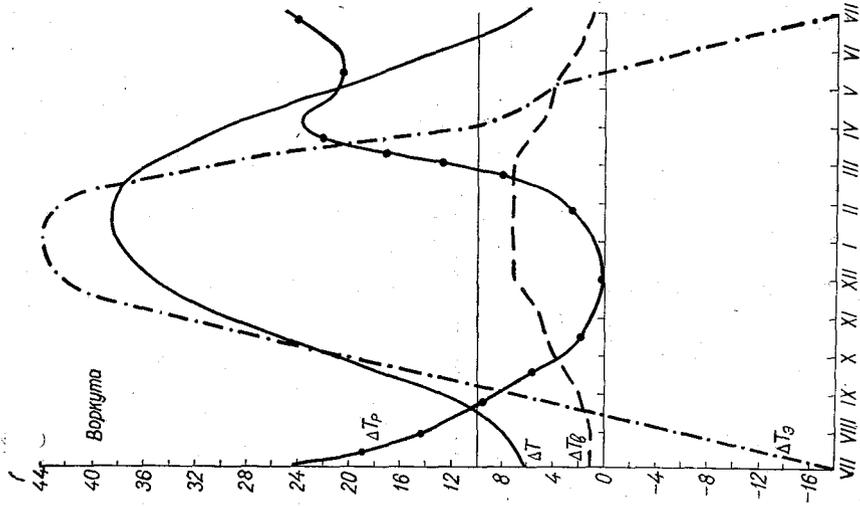


Рис. 5. Годовой ход дефицита тепла.

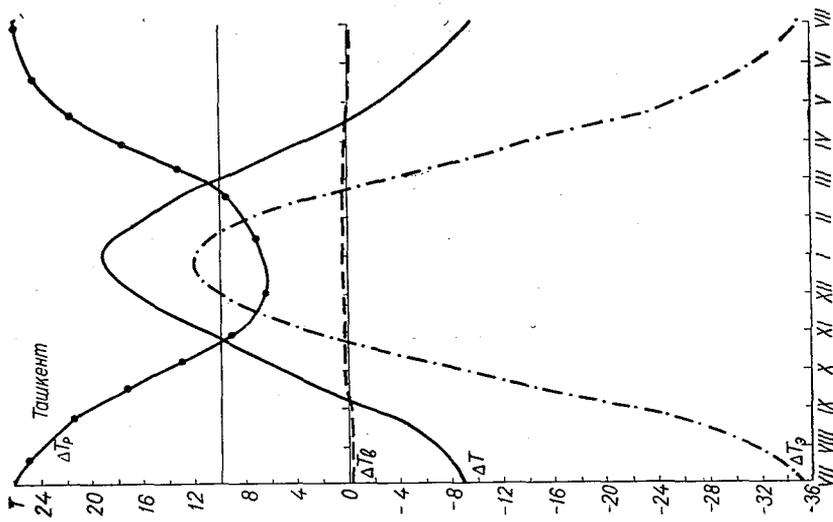


Рис. 7. Годовой ход дефицита тепла.

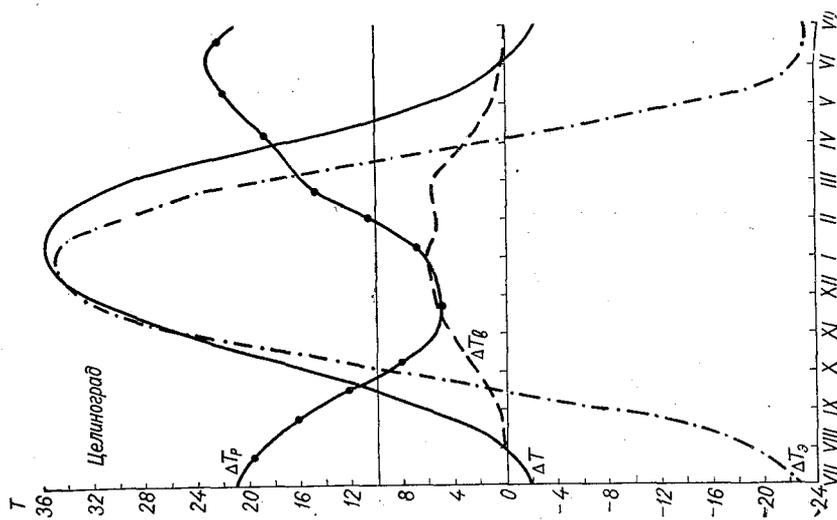


Рис. 6. Годовой ход дефицита тепла.

Как указывалось выше, теплопотери необходимо оценивать по совместному действию температуры, ветра и солнечной радиации. Учитывая разный вклад этих факторов в тепловой баланс здания, по-видимому, наиболее целесообразно температуру отопительного периода определять по трем этапам, условно названным осень, весна, зима: 1) осень — с момента перехода  $\Delta T_3$  через нуль (т. е. с момента, принятого нами

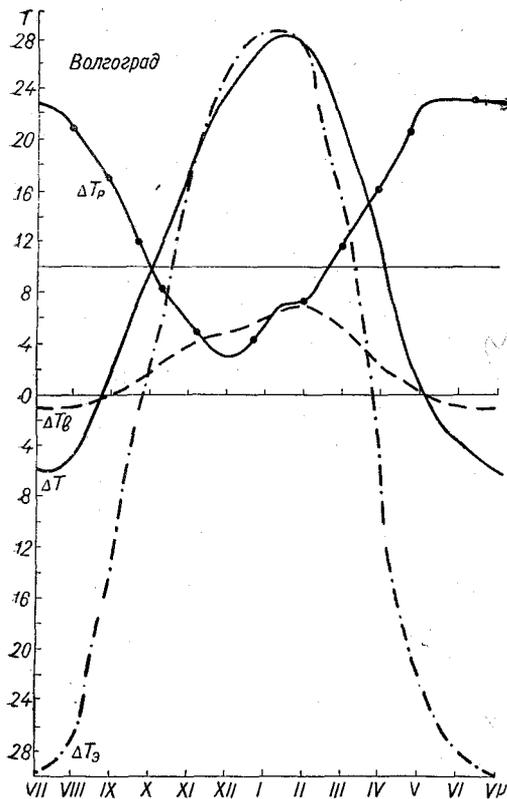


Рис. 8. Годовой ход дефицита тепла.

за начало отопительного периода) до того момента, когда влияние радиации оценивается в 10—20% теплопотерь данного месяца; 2) зима — время, когда теплопотери определяются практически только влиянием температуры и ветра; 3) весна — с момента, когда влияние радиации превышает 10—20% теплопотерь, и до конца отопительного периода, т. е. до весеннего перехода  $\Delta T_3$  через нуль. На рис. 4—11 представлен годовой ход теплопотерь, вычисленных без учета ветра и радиации, с учетом всех факторов и, кроме того, показан годовой ход теплопотерь и теплопоступлений, обусловленных действием ветра  $\Delta T_в$  и радиации  $\Delta T_р$ . В тех районах, где низкие температуры воздуха сопровождаются сильными ветрами и количество солнечной радиации невелико, отопительный период наступает в августе — сентябре (Воркута, Норильск), там, где много солнечных дней, отопление становится необходимым в октябре (Владивосток), и даже значительные скорости ветра оказывают здесь меньшее влияние, чем радиация.

По графикам, приведенным на рис. 4—11, можно определить этапы с различными средними температурами отопительного периода и температуру воздуха, при которой следует начинать отопление зданий. В качестве примера рассмотрим график для Целинограда. Теплопотери, вычисленные по разности температур внутреннего и наружного воздуха, пересекают нуль в середине августа и в середине июля. Однако, как указывалось выше, согласно СНиП,

топить начинают при температуре воздуха  $8^{\circ}$ , т. е. когда разность внутренней и наружной температур составляет  $10^{\circ}$ . На рис. 6 проведена горизонтальная линия от  $10^{\circ}$ . Кривая  $\Delta T$  пересекает эту линию в период от конца сентября до начала мая. Таким образом, принятая в СНиП норма, учитывая практический опыт и тепловую инерцию зданий, уменьшает

длительность отопительного периода, вследствие чего во многих новых зданиях, имеющих малую тепловую инерцию, температура часто оказывается ниже расчетной. Кривая  $\Delta T_{\Sigma}$ , построенная по данным о теплопотерях, вычисленных с учетом воздействия всех факторов, пересекает нуль в пределах от конца сентября до середины апреля. Начало отопительного периода совпадает с температурой наружного воздуха  $8^{\circ}$ , а конец — с температурой  $2^{\circ}$ . Различие в температурах начала и конца отопительного периода вполне закономерно, так как весной количество солнечной радиации быстро увеличивается, и ее вклад в общий баланс становится существенным при более низких температурах воздуха. С ноября по февраль вклад солнечной радиации в общие теплопотери составляет примерно 15—20%. В декабре—январе за счет ветра практически расходуется столько же тепла, сколько поступает от Солнца, и этот период можно считать наиболее тяжелым в течение всего года. Уже с конца февраля общие теплопотери и тепло солнечной радиации сравнимы, это последний весенний этап отопительного периода и время перехода на протапливание.

В табл. 9 приведены данные о температуре воздуха в начале и конце отопительного периода. Начало отопительного периода во

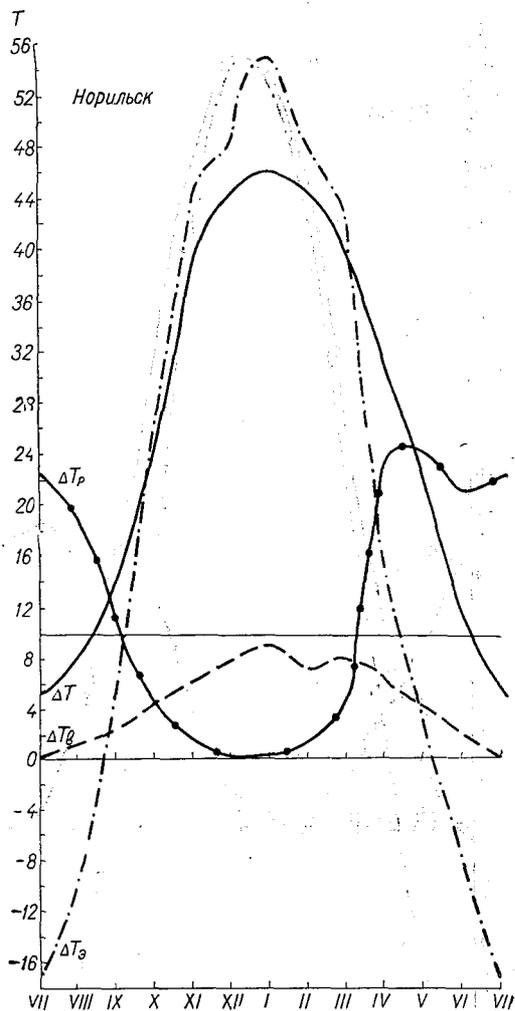


Рис 9. Годовой ход дефицита тепла.

многих районах характеризуется температурой воздуха 10—12°, т. е. выше, чем принято сейчас, конец отопления совпадает с более низкими температурами —2, —3°, в некоторых пунктах —3, —5°. Совершенно очевидно, что в данном случае на результаты расчетов больше, чем в других случаях, повлиял недоучет затененности

городской застройкой. В северных районах при низком стоянии солнца на вертикальную поверхность поступает довольно много радиации. Однако в этом случае влияние застройки будет более существенным, чем в южных районах, где солнце и осенью еще достаточно высоко.

По-видимому, полученная оценка температуры отопительного периода более справедлива для центральных и южных районов, где влияние застройки весной и осенью будет меньше сказываться вследствие достаточной высоты солнца.

В заключение попытаемся сформулировать некоторые выводы.

1. Расчеты, проведенные в соответствии с предложенной теорией, позволили определить, что в среднем за год теплотери с 1 м<sup>2</sup> ограждения на территории СССР колеблются от 60 до 450°.

2. Влияние ветра на теплоотдачу в различных районах СССР составляет 10—25% от общих теплотерь. Как правило, наибольшее влияние ветра наблюдается в центральных зимние месяцы и должно учитываться при выборе типа здания и расчетах отопления.

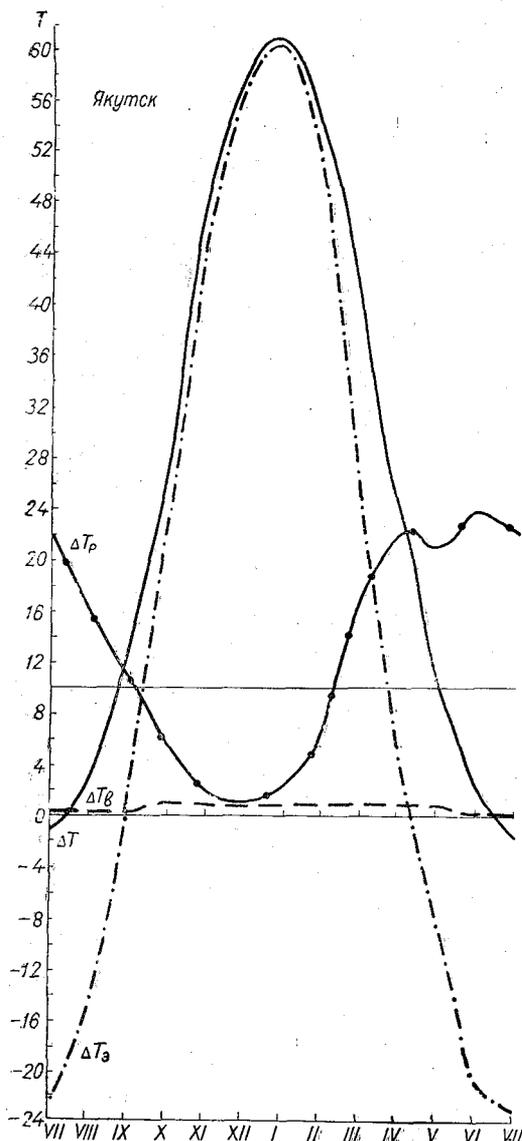


Рис. 10. Годовой ход дефицита тепла.

3. Влияние солнечной радиации на тепловой режим зданий очень велико, в некоторых районах солнечное тепло составляет 60—70% годовых теплопотерь. Влияние солнечной радиации на тепловой режим здания должно оцениваться с учетом ее годового хода. Это позволяет выделить периоды, когда может наступить перегрев в здании и потребуются принятие специальных конструктивных мер.

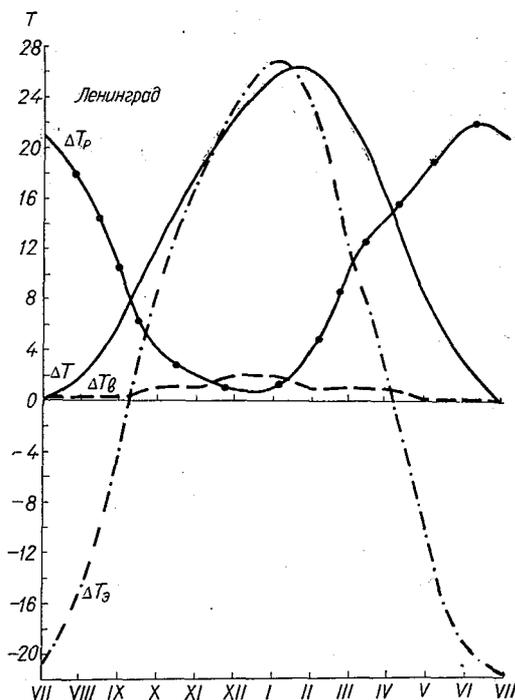


Рис. 11. Годовой ход дефицита тепла.

4. Предложенная методика расчета позволила определить длительность отопительного периода и температуру начала и конца отопительного периода с учетом основных метеорологических факторов. Во многих районах начало отопительного периода падает на более высокие температуры, хотя общая длительность отопительного периода несколько сокращается. Несмотря на определенную приближенность этих расчетов можно утверждать, что на их основании появляется возможность более обоснованно, чем теперь, судить о возможности регулирования отопления.

## ЛИТЕРАТУРА

- ✓ 1. Гандин Л. С. О влиянии ветра на тепловой режим зданий.— Труды ГГО, 1970, вып. 268.
- ✓ 2. Гандин Л. С. Тепловой режим зданий и лучистый теплообмен.— Труды ГГО, 1970, вып. 268.
- ✓ 3. Гандин Л. С. О расчете длительности отопительного периода и норм отопления в различных климатических условиях.— См. наст. сборник.
4. Анапольская Л. Е., Любченко Г. Т. Оценка влияния конструктивных параметров здания на теплопотери в различных климатических условиях.— Труды ГГО, 1970, вып. 268.
- ✓ 5. Лицкевич В. И., Гейбурт-Гейбович А. А. Об оценке климата в типологии жилища.— Труды ГГО, 1968, вып. 200.
6. Строительные нормы и правила. Часть II, раздел Г, глава 7. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Нормы проектирования. М., 1964.
7. Строительные нормы и правила. Часть II, раздел А, глава 6. Строительная климатология и геофизика СССР. М., 1962.
8. Богуславский Л. Д. Технико-экономические расчеты при проектировании наружных ограждающих конструкций зданий. М., «Высшая школа», 1969.

## КЛИМАТИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ СССР ПО ТЕПЛОВому РЕЖИМУ ЗДАНИЙ

Для решения целого ряда вопросов проектирования, и в частности типового проектирования и централизованного домостроения, необходимы обобщенные характеристики климата, учитывающие влияние по крайней мере основных метеорологических факторов. Практика строительного планирования и проектирования показала, что наиболее удобной формой подобного обобщения являются карты районирования, позволяющие сравнивать условия в различных районах СССР.

В настоящее время используются различные районирования как по всей территории СССР, так и по отдельным районам [1, 2, 3], учитывающие влияние отдельных метеорологических факторов.

Более подробно вопрос о действующих районированиях рассмотрен в работе [4]. Сделанные в последние годы попытки уточнить действующее районирование [2] мало влияют на существо дела. По-прежнему основными критериями являются не теоретически обоснованные расчеты, а качественные рассуждения и некоторый практический опыт. Однако такой подход не обеспечивает необходимой оценки влияния климата на микроклимат внутри помещения и не позволяет обосновать требования к типу здания, режиму отопления или охлаждения, к типу планировки квартала, города и т. д.

Совершенно очевидна целесообразность учета длительности воздействия тех или иных климатических факторов, которые определяют необходимость конструктивных изменений здания.

Районирование должно связывать общие архитектурно-строительные соображения с точным техническим расчетом теплового режима здания, застройки квартала и города в целом. С нашей точки зрения, это наиболее правильный путь учета влияния метеорологических факторов.

Задача климатического районирования охватывает несколько аспектов.

а. Теоретические обоснования учета комплексного влияния метеорологических факторов на тепловой режим зданий, а также расчет, анализ и обобщение данных по тепловому режиму зданий в различных климатических условиях на основании принятой теории. Должны быть получены и обобщены данные по максимальной теплоотдаче зданий, годовому ходу теплового режима зданий, длительности периода отопления и охлаждения, особенностям микроклимата помещений в переходные сезоны.

Климатическое районирование в этом плане должно позволить более обоснованно, чем в настоящее время, выбирать тип, планировочное решение и конструктивные параметры здания.

б. Оценка влияния типа городской застройки на тепловой режим здания в различных климатических условиях. Теоретические исследования и расчетные данные должны быть использованы в климатическом районировании, позволяющем обосновать выбор типа застройки в зависимости от климатических особенностей и обеспечивающем направленное формирование климата города.

Настоящая работа представляет собой обобщение результатов исследования по первой задаче климатического районирования. В ряде работ, выполненных в ГГО, были получены данные о максимальной теплоотдаче зданий, о годовом ходе теплопотерь, длительности отопительного периода и периода возможного перегрева, произведена оценка влияния ветра и радиации на тепловой режим зданий.

Все эти расчеты выполнены в соответствии с разработанной теорией [5], и результаты их представлены в виде разности температур, мало зависящей от теплотехнических свойств ограждения.

В соответствии с теорией тот период, когда для поддержания нормальной температуры ( $18^{\circ}$ ) в помещении требуется дополнительное тепло, назван периодом теплопотерь, период, когда не требуется дополнительного тепла — периодом теплопоступлений.

Переходные сезоны целесообразно рассмотреть дважды: 1) при малых значениях теплопотерь весной и осенью, 2) при малых значениях теплопоступлений осенью и весной.

Все эти данные и соображения и положены в основу предлагаемого районирования.

По отношению к внешним воздействиям оправдающие конструкции выполняют роль защиты и обеспечивают такие условия, при которых температура воздуха в помещении всегда остается примерно постоянной.

Климатические особенности СССР таковы, что на всей территории страны бывает два резко различающихся периода — наиболее низких и наиболее высоких для данного места температур воздуха. Длительность этих периодов в СССР колеблется в широких пределах, величины наиболее высоких и низких температур весьма различны. В некоторых случаях температуры, которые на юге будут характеризовать зимние условия, на севере окажутся почти летними и т. д. Однако все же выделяются два различных периода условий эксплуатации здания. Одним из критериев райо-

нирования и являются данные о длительности периодов теплопотерь и теплоступлений.

Период теплопотерь имеет несколько важных характеристик, во многом определяющих тип здания и его теплотехнические свойства. К ним относятся: общая продолжительность периода теплопотерь, принятая нами за отопительный период; значение  $T_0$  — характеризующее максимальные теплопотери; величины  $\Delta T_v$  и  $\Delta T_p$ , оценивающие влияние ветра и радиации на общий тепловой баланс здания. Рассмотрение всех этих данных позволит дать рекомендации по средствам защиты, т. е. должны быть указаны районы, где преобладает тот или иной вид теплоотдачи — инфильтрационный, кондуктивный и т. д.

В период теплоступлений, продолжительность которого на территории СССР изменяется от 11 до 3 месяцев, большое значение приобретает учет влияния солнечной радиации, а в ряде случаев и ветра. Некоторые соображения по оценке условий перегрева могут быть сделаны на основании проведенных расчетов для стен зданий различной ориентации [5, 6].

В работе [4] была сделана попытка климатического районирования для целей строительства на основании учета наиболее суровых зимних условий. Режим увлажнения оценивался по работе [6], в которой вся территория СССР разделена на четыре зоны: избыточно влажную, влажную, недостаточно влажную и сухую. В данной работе предлагается районирование по теплоотдаче зданий, рассчитанной с учетом влияния температуры воздуха, ветра и солнечной радиации. Общая оценка степени увлажнения территории может быть сделана на основании данных работы [6]. Учет же влияния влажности в предлагаемом районировании является темой дальнейших исследований.

Рассматриваемое в данной работе климатическое районирование (табл. 1) выполнено с учетом следующих характеристик:

1) длительности периода теплопотерь (продолжительность отопительного периода);

2) общих, годовых, теплопотерь здания, вычисленных с учетом влияния температуры воздуха, скорости ветра и солнечной радиации;

3) значений  $T_0$  — температуры, которая обуславливает максимальные теплопотери здания и определяет мощность отопительной системы;

4) теплопотерь, возникающих под влиянием ветра и температуры (инфильтрационная часть теплоотдачи)  $\Delta T_v$  и под влиянием солнечной радиации и температуры  $\Delta T_p$ ;

5) длительности периода теплоступлений;

6) добавки тепла, возникающей под влиянием солнечной радиации  $\Delta T_p$  в июле, наиболее жарком месяце почти на всей территории СССР, и общих теплоступлений за июль.

На рис. 1 представлена карта-схема климатического районирования по теплопотерям здания. Всего выделено 10 районов, объединенных по общим годовым теплопотерям в четыре группы I—(а, б,

## Основные климатические параметры теплотерьер зданий

Район	$T_3$	Теплопотери				Теплопоступления			
		Общие теплопотери за год, град.	Теплопотери за счет ветра за год, $\Delta T^{\circ}$	Добавка за счет радиации за год, $\Delta T^{\circ}$	Длительность отопительного периода, мес.	Период теплопоступлений, мес.	Добавка за счет радиации за июль, $\Delta T^{\circ}$	Общие теплопоступления за июль, град.	
I а	-50, -60	250—400	1—8	150—300	8—9	3—4	22—23	-18, -20	
I б	-50, -60	250—400	20—25	110—130	8—9	3—4	22—24	-18, -20	
I в	-60 и ниже	350—400	50	110—130	10—11	1—2	18—20	-2, -5	
I г	-45, -50	250—300	50—60	140—150	6—7	5	15—16	-8, -10	
II а	-35, -40	150—249	20—25	130—140	6—7	6—5	20—23	-20, -25	
II б	-40, -55	170—230	20—30	160—190	6—7	6—5	20—25	-23, -25	
II в	-50, -60	200—240	30—40	160—180	6—7	6—5	15—20	15—20	
III а	-30, -35	100—149	10—20	150—160	5	7	22—25	26—28	
III б	-45, -35	50—99	2—5	190—200	5	7	25—26	30—35	
IV	-20	10—49	0—5	190—220	3—4	9—8	26—27	35—40	

Примечание. Использованы значения  $T_3$  с вероятностью до 0,4%

в, г), II (а, б, в), III (а, б), IV. Ввиду того что горные районы при данном районировании не учитывались, число районов впоследствии может увеличиться.

Районы I а, б, в, г охватывают большую часть территории СССР, характеризующуюся наиболее суровыми климатическими условиями. С точки зрения теплотерьер зданий эти условия будут зависеть от влияния ветра. Общие теплопотери в этих районах изменяются от 250 до 400° в год, теплопотери за счет ветра меняются от 1—8° в районе I а до 80—90° на северном побережье в районе I в. Количество радиации в сумме за год здесь достаточно велико, но приходится оно лишь на месяцы полярного дня, когда теплопотери невелики. Длительность отопительного периода достигает 10—11 месяцев на побережьях и 8—9 месяцев на остальной части территории, входящей в районы I а, б, в. Максимальная теплоотдача, а следовательно, и мощность отопительных систем должны проектироваться с учетом того, что  $T_3$  достигает -80, -90° на побережьях и -50, -60° на остальной территории районов группы I. Более теплым является район I г (Камчатка), для которого характерны большие теплопотери, сопоставимые с теплопотерями в северных районах и большая инфильтрационная теплоотдача. Однако длительность отопительного периода здесь 6—7 месяцев, радиация оказывает существенное влияние на тепловой баланс здания, и период теплопоступления составляет 5 месяцев.

Районы II а, б, в отличаются значительным разнообразием тепловых характеристик, на Дальнем Востоке и Сахалине при очень низких значениях  $T_0$  ( $-50, -60^\circ$ ) и общих теплотерях до  $200-250^\circ$  длительность отопительного периода составляет 6—7 месяцев, существенно влияние радиации, но также велики и инфильтрационные теплотерии.

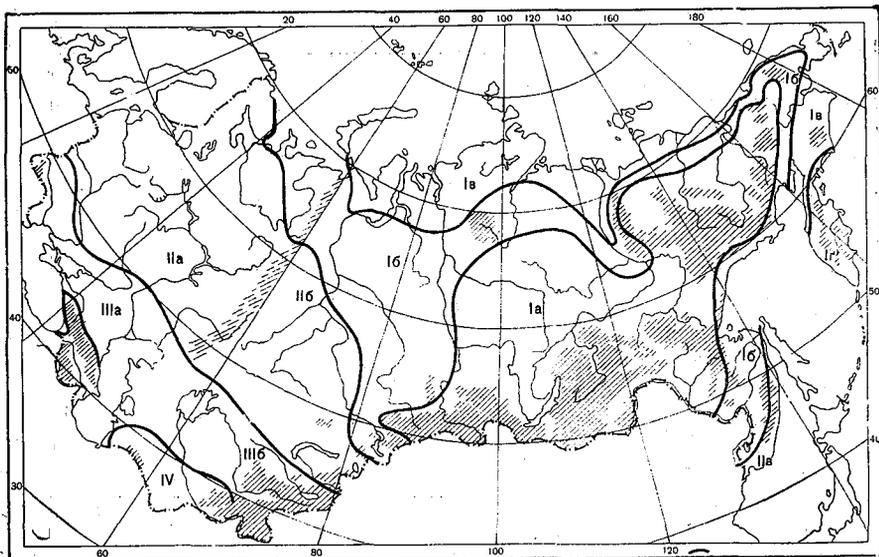


Рис. 1. Карта-схема районирования территории СССР по тепловому режиму зданий.

Центральная часть Европейской территории СССР, юг Западной Сибири, северная часть Казахстана характеризуются довольно низкими значениями  $T_0$  ( $-40, -55^\circ$ ), большими теплотериями ( $150-250^\circ$ ), значительной инфильтрационной теплоотдачей ( $\Delta T_{\text{в}} = 20 \div 40^\circ$ ). Длительность отопительного периода составляет 6—7 месяцев, но период теплоступлений достигает уже 6—5 месяцев, добавка тепла за счет солнечной радиации в летние месяцы составляет  $20-25^\circ$ , и в некоторые месяцы возможны повышенные температуры воздуха внутри помещения.

За критерий возможного перегрева помещений приняты теплопоступления в июле, достигающие  $25^\circ$  и более, т. е. те случаи, когда внутри помещения температура будет более чем на 6—7° выше нормальной ( $18^\circ$ ). На территории, лежащей южнее линии Киев — Куйбышев — Целиноград — Семипалатинск, в летние месяцы теплопоступления достигают значений, при которых перегрев помещений будет наблюдаться в течение нескольких месяцев и будут необходимы специальные средства защиты.

Районы III а, б характеризуются сравнительно небольшими теплопотерями, длительность отопительного периода составляет 5 месяцев, влияние ветра невелико, а влияние солнечной радиации значительно. Основной климатической особенностью является длительный период с довольно высокими температурами воздуха, которые вместе с солнечной радиацией обуславливают значительный перегрев в помещениях летом, но имеется также период с низкими температурами воздуха. Здания, возводимые в этих районах, должны иметь средства защиты как от низких, так и от высоких температур. Наиболее легкие зимние условия имеют место в районе IV, где солнечная радиация в течение всего года и даже зимой является основным фактором, формирующим микроклимат помещений. Но все же проведенные расчеты показали, что даже в самых южных районах есть период небольших теплопотерь, которые должны компенсироваться какой-то искусственной подачей тепла. Расчеты теплопоступлений подтвердили необходимость широкого круга мероприятий для создания нормальных условий в помещениях в южных районах СССР (например, в Туркмении).

Климатическое районирование по теплоотдаче зданий, выполненное на основании специальных расчетов, показало следующее.

1. Наибольшие теплопотери наблюдаются на значительной части территории СССР и обусловлены они либо влиянием низких температур (район I а), либо влиянием ветра и низких температур (районы I б, в). В зимний период солнечная радиация очень невелика, а дополнительное влияние застройки (не учтенное в приведенных расчетах) еще уменьшит значение радиации в общем тепловом балансе здания.

2. В наиболее населенных районах СССР теплопотери формируются под влиянием довольно низких температур и значительных ветров. Влияние солнечной радиации в центральные зимние месяцы невелико, однако, весной (март — апрель) и осенью (сентябрь — октябрь) тепло солнечной радиации обеспечивает повышение температуры внутри помещения на несколько градусов. Наличие довольно значительной инфильтрационной теплоотдачи требует специальных конструктивных решений.

3. Наибольшие значения теплопоступлений наблюдаются в южных районах СССР, здесь ведущими факторами являются температура воздуха и солнечная радиация летом. Однако наличие периода с низкими температурами и ветрами требует создания регулярно работающего отопления. В этих районах большое значение приобретает учет ориентации и, вероятно, наиболее экономически эффективной окажется применение регулируемого отопления.

Несколько слов о переходных сезонах.

В табл. 2 приведен годовой ход теплопотерь в пунктах, расположенных в различных районах. Для районов I а, б, в характерны короткие периоды с малыми значениями как теплопотерь, так и теплопоступлений. В наиболее суровых районах (Диксон) это

## Годовой ход теплопотерь в различных районах. Восточная ориентация

Станция	Районы	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI
Диксон . . . . .	I в	-2	4	16	30	47	54	58	54	46	21	3	1
Норильск . . . . .	I в	-17	-10	6	27	45	48	55	48	43	14	3	-7
Якутск . . . . .	I а	-23	-15	1	21	45	58	60	49	24	4	-8	-21
Иркутск . . . . .	I а	-19	-13	-2	9	25	34	36	29	16	1	-9	-17
Чита . . . . .	I а	-20	-14	-4	8	26	37	39	31	14	0	-14	-19
Мурманск . . . . .	I б	-12	-6	6	16	25	30	33	30	19	7	-3	-9
Воркута . . . . .	I б	-18	-5	8	23	36	43	44	42	28	9	4	-7
Новосибирск . . . . .	I б	-23	-16	-5	11	26	35	35	29	15	3	-13	-20
Ленинград . . . . .	II а	-21	-15	-3	10	17	24	27	23	11	1	-11	-19
Москва . . . . .	II а	-22	-15	-4	9	19	26	27	25	12	0	-15	-21
Свердловск . . . . .	II б	-21	-15	-1	13	24	32	33	26	11	-1	-13	-22
Целиноград . . . . .	II б	-23	-19	-7	9	25	33	35	29	18	1	-14	-23
Одесса . . . . .	III а	-28	-24	-15	-2	11	19	20	19	8	-4	-18	-23
Ташкент . . . . .	III б	-35	-31	-21	-9	3	10	12	8	-3	-14	-25	-32
Ашхабад . . . . .	IV	-38	-35	-26	-14	-1	8	9	4	-4	-16	-28	-34
Термез . . . . .	IV	-32	-33	-31	-28	-16	-6	-7	-8	-13	-19	-25	-27

июнь — август (можно считать, что в июле имеет место теплоотдача, а не теплопоступление). На севере Европейской части СССР переходными будут апрель — май и август — сентябрь. В Якутске, где велика повторяемость солнечной погоды, очень резкий переход наблюдается осенью (от августа к сентябрю) и более плавный весной (от апреля к маю).

В районе II осенью резкое изменение отрицательной теплоотдачи наблюдается в сентябре и от марта к апрелю, а затем и к маю. Быстрый переход к малым значениям теплоотдачи и к большим теплопоступлениям здесь требует особого внимания, так как при учете общей затененности от городской застройки влияние быстро возрастающей радиации будет уменьшено и переходные сезоны несколько растянутся.

В южных районах переходные сезоны составляют 1—2 месяца, а в Термезе период декабрь — февраль может быть отнесен к переходному сезону между началом и концом длительного периода с большими значениями теплопоступлений.

В заключение отметим, что предлагаемое районирование, выполненное по расчетам теплоотдачи зданий одного типа, по-видимому, сохранится в общих чертах и для зданий с другими теплотехническими параметрами.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Устинов Г. Н. Принципы районирования территории СССР для типового проектирования.—Труды Магнитогорского горнометаллургического института им. Г. И. Носова, 1959, вып. 18.
2. Гербурт-Гейбович А. А., Лицкевич В. К. Об оценке климата в типологии жилищ.—Труды ГГО, 1966, вып. 200.
3. Гуторова О. П., Цвид А. А. Особенности климата Приморского края и учет их влияния в строительном проектировании.—Сборник научных работ (ДВНИИ по строительству) № 3. Владивосток, 1962.
4. Анапольская Л. Е. Климатическое районирование территории СССР для строительства сооружений.—Труды ГГО, 1965, вып. 178.
5. Гандин Л. С. О расчете длительности отопительного периода и норм отопления.—См. наст. сборник.
6. Анапольская Л. Е. Оценка дефицита тепла в различных климатических условиях.—См. наст. сборник.
7. Григорьев А. А., Будыко М. И. Классификация климатов СССР.—Изв. АН СССР, сер. геогр., 1959, № 3.

Д. Г. МАНДЕЛЬ

## О ВОЗМОЖНОЙ ЭКОНОМИИ ЗАТРАТ НА ОТОПЛЕНИЕ ПРИ КОРРЕКТНОМ УЧЕТЕ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ТЕПЛОВОЙ РЕЖИМ ЗДАНИЙ

По существующим нормам затраты тепла за отопительный период определяются лишь продолжительностью отопительного периода и средней за этот период температурой воздуха [1]. При этом начало и окончание отопительного периода регламентируется временем перехода средней суточной температуры через  $8^{\circ}$ . Влияние ветра и солнечной радиации на теплоотдачу зданий учитывается в этом случае с помощью коэффициентов, далеко не везде соответствующих их реальному влиянию.

В ГГО разработана физическая теория теплового режима зданий, которая позволяет гораздо более полно и точно учесть влияние лучистых потоков и средней скорости ветра на теплопотери зданий [2, 3, 4, 5]. Расчеты, выполненные по этой теории, позволили получить ряд средних многолетних характеристик теплового режима зданий в различных районах Советского Союза. Продолжительность отопительного периода и суммарные затраты тепла за отопительный период, входящие в число этих характеристик, являются, очевидно, экономически значимыми величинами. Их анализ позволяет дать экономическую оценку влияния различных метеорологических факторов на теплоотдачу зданий и определить экономический эффект учета этих факторов.

Совместный учет метеорологических и экономических факторов позволяет наметить решение ряда конкретных задач, что может дать заметный экономический выитрыш для народного хозяйства.

К числу таких задач относятся:

- 1) оптимизация сопротивления теплопередаче вертикальных ограждающих конструкций;
- 2) определение оптимальной площади и типа остекления;
- 3) определение районов, в которых целесообразно введение позонной системы отопления.

Задача данной работы — дать ориентировочную оценку экономии, достигаемой благодаря более корректному учету влияния потоков солнечной радиации и средней скорости ветра при расчете суммарных затрат тепла за отопительный период. В теории теплового режима здания величина удельных теплопотерь  $P$  определяется через эффективную температуру  $\Delta T_e$ , которая является определенным комплексным параметром [4]:

$$P = \frac{\Delta T_e}{R},$$

где  $R$  — термическое сопротивление, осредненное по всей поверхности ограждения.

Эффективную разность температур  $\Delta T_e$  можно представить в виде алгебраической суммы разностей температур

$$\Delta T_e = \Delta T - \Delta T_v + \Delta T_p + \Delta T'.$$

Эта разность обусловлена влиянием температуры наружного воздуха ( $\Delta T$ ), скорости ветра ( $\Delta T_v$ ), солнечной радиации ( $\Delta T_p$ ) и внутренних тепловыделений ( $\Delta T'$ ). Последним слагаемым в дальнейших расчетах пренебрегается.

Просуммировав величину  $P$  за отопительный период, получим значение суммарных удельных теплопотерь, или дефицит тепла  $\sum P$  ккал/м<sup>2</sup>огр·час.

Хотя все параметры теплового режима зданий определялись для трех ориентаций (север, восток и юг), но поскольку теплопотери стен восточной ориентации ближе к средней из них и к теплопотерям стены, ориентированной на запад, то дальнейший анализ проводился только для условий восточной стены.

Для определения вклада каждого из трех основных метеорологических факторов наряду с суммарными теплопотерями, рассчитанными по полной теории ( $P$ ), используем величины дефицитов тепла при допущениях, что  $\Delta T_p = 0$ , т. е. при неучете влияния солнечной радиации ( $P_1$ ) и при  $\Delta T_v = 0$ , т. е. при неучете влияния ветра ( $P_2$ ). Если же мы не будем учитывать оба эти слагаемые, то получим величины дефицитов тепла, обусловленные только действием температуры наружного воздуха. Последняя величина, просуммированная не за период положительных  $\Delta T_e$  [4], а за период с температурой наружного воздуха ниже 8°, соответствует величине затрат тепла по существующим сейчас нормам. Обозначим ее  $P^*$ .

Введем величину  $\Delta P^* = P^* - P$ , которая позволяет сравнить суммарные затраты тепла, рассчитанные по теории теплового режима зданий, с существующими на сегодня нормами. В этом случае учет дополнительного тепла, поступающего на вертикальные ограждения здания различной ориентации от солнечной радиации, позволяют выявить возможности снижения затрат тепла, особенно

<sup>1</sup> Имея дело лишь с суммарными за отопительный период теплопотерями, знак суммы  $\sum$  будем далее опускать.

в периоды начала и окончания отопительного периода. Такое снижение затрат тепла оказывается возможным даже при условии учета влияния средней скорости ветра, увеличивающего теплоотдачу здания. Разность  $\Delta P_1^* = P^* - P_1$  дает величину теплопотерь, определяемых температурой наружного воздуха и средней скоростью ветра.

Эта разность, как правило, невелика и составляет около 10% от величины  $P^*$ . Лишь в некоторых районах со значительными скоростями ветра величина  $\Delta P_1^*$  будет достигать 25—30% (Волгоград, Владивосток и т. д.). Однако даже в этих районах потери тепла за счет инфильтрации будут перекрываться дополнительными поступлениями тепла за счет солнечной радиации на стены восточной ориентации.

Стоимость отопления (руб/Гкал) определялась по тарифу на горячую воду по энергосистемам [6]. В табл. 1 (графа 3) приведена стоимость тепла от ТЭЦ ( $c_{\text{тэц}}$ ) по тем энергосистемам, для центров которых в ГГО были рассчитаны характеристики теплового режима зданий. Можно видеть, что стоимость тепла наиболее высока в районах, расположенных на большом удалении от мощных топливно-энергетических баз. К таким районам в первую очередь относятся Сахалин, Мурманская область, Приморский край и Камчатка. Энергосистемы с высокой стоимостью тепла ( $c_{\text{тэц}} > 6$  руб/Гкал) располагаются главным образом в таких районах, где из-за климатических условий значения суммарных затрат тепла на отопление велики. Кроме названных выше районов, сюда относятся Архангельская, Карельская и Якутская энергосистемы. Очевидно, что именно здесь экономия, достигаемая за счет правильной оценки режима отопления, дает наиболее ощутимый выигрыш.

В районах с низкой стоимостью тепла ( $c_{\text{тэц}} \leq 3$  руб/Гкал) выделяется ряд энергосистем, расположенных в южной части Сибири, вблизи транссибирской магистрали. На этой территории из-за климатических условий имеет место большая потребность в тепле.

Величина экономического эффекта ( $E$ ), получаемого за счет учета влияния основных метеорологических факторов на теплоотдачу зданий, определялась в рублях на  $m^2$  вертикального ограждения за отопительный период:

$$E = \Delta P^* c_{\text{тэц}}$$

или иначе можно записать, что

$$E = C^* - C,$$

где  $C^*$  — стоимость суммарных затрат тепла на отопление, рассчитанных по существующим нормам ( $C^* = P^* c_{\text{тэц}}$ );  $C$  — стоимость суммарных затрат тепла на отопление, рассчитанных с учетом всех трех факторов для стен восточной ориентации ( $C = P c_{\text{тэц}}$ ).

Величины  $\Delta P^*$ ,  $E$  и  $\frac{\Delta P^*}{P^*}$  приводятся в табл. 1 для тех пунктов —

Таблица 9

Станция	$\Delta P^*$ тыс. ккал/м <sup>2</sup>	$\frac{\Delta P^*}{P^*}$ %	$c_{теп}$ руб/Гкал.	$E$ руб/м <sup>2</sup> орг.
Мурманск . . . . .	22	14	9,63	0,21
Архангельск . . . . .	19 <sup>1</sup>	12	6,54	0,12
Сыктывкар . . . . .	19	12	4,81	0,10
Петрозаводск . . . . .	23	16	7,19	0,17
Ленинград . . . . .	26	21	5,86	0,15
Таллин . . . . .	26	20	5,22	0,14
Рига . . . . .	24	19	6,65	0,16
Каунас . . . . .	22	23	5,33 <sup>1</sup>	0,12
Минск . . . . .	26	23	4,56	0,12
Москва . . . . .	30	23	4,64	0,14
Курск . . . . .	25	21	4,50	0,11
Горький . . . . .	21	16	3,55	0,07
Куйбышев . . . . .	30	21	4,54	0,14
Волгоград . . . . .	5	5	3,38	0,02
Киев . . . . .	33	38	4,41	0,15
Одесса . . . . .	8	12	4,45	0,04
Кишинев . . . . .	18	23	6,23	0,11
Тбилиси . . . . .	22	45	6,30	0,14
Ереван . . . . .	40	54	4,12	0,16
Баку . . . . .	17	39	3,88	0,07
Уфа . . . . .	26	18	3,75	0,10
Свердловск . . . . .	32	21	3,16	0,10
Омск . . . . .	27	16	3,62	0,10
Новосибирск . . . . .	37	22	3,00	0,11
Красноярск . . . . .	41	24	1,79	0,07
Иркутск . . . . .	46	26	2,29	0,11
Чита . . . . .	60	31	4,14	0,25
Якутск . . . . .	61	22	6,35	0,39
Хабаровск . . . . .	49	30	3,82	0,20
Владивосток . . . . .	36	29	8,00	0,29
Петропавловск-Камчатский . . . . .	32	24	7,90	0,25
Южно-Сахалинск . . . . .	67	45	13,05	0,88
Гурьев . . . . .	9	18	4,30	0,04
Целиноград . . . . .	33	21	3,64	0,12
Семипалатинск . . . . .	55	36	3,24 <sup>2</sup>	0,18
Алма-Ата . . . . .	38	43	5,48	0,21
Ташкент . . . . .	35	55	3,73	0,13
Фрунзе . . . . .	40	45	6,46	0,26
Душанбе . . . . .	21	56	5,70	0,12
Ашхабад . . . . .	17	44	5,48	0,09

<sup>1</sup> Стоимость тепла взята по Литовской энергосистеме.

<sup>2</sup> Стоимость тепла взята по Алтайской энергосистеме.

центров энергосистем, для которых в ГГО рассчитаны характеристики теплового режима зданий.

Значения  $E$ , как и  $\Delta P^*$ , во всех этих пунктах оказываются положительными, что говорит об определенном выигрыше, получаемом при полном учете влияния метеорологических факторов на теплоотдачу зданий. Для значительной части рассматриваемых пунктов размер экономического эффекта составляет 0,1—0,15 руб. на  $m^2$  ограждения за отопительный период, т. е. около 20% от затрат тепла, определяемых по существующим нормам. Величины  $\Delta P^*$  существенно различаются по территории, увеличиваясь к востоку. Стоимость тепла в ряде районов Сибири ниже, чем на Европейской части СССР. Поэтому величина получающегося экономического выигрыша за счет более полного учета метеорологических факторов, и в первую очередь солнечной радиации, для рассматриваемых городов, расположенных в средних широтах СССР, приблизительно одинакова как на Европейской территории СССР, так и в пределах Северного Казахстана и юга Сибири, вплоть до Байкала.

Для городов, расположенных на севере (Мурманск), в Забайкалье, Якутии и на Дальнем Востоке, экономический эффект выше ( $E \geq 0,2$  руб./ $m^2$ ). Из рассматриваемых пунктов (табл. 1) он больше всего в Южно-Сахалинске. Большой экономический выигрыш в этих районах объясняется, с одной стороны, высокой стоимостью тепла от ТЭЦ для расположенных здесь энергосистем, с другой — метеорологическими факторами, такими, как низкие температуры отопительного периода и большая его продолжительность, вследствие чего увеличивается  $P^*$  (теплоотдача здания по существующим нормам), а также значительным вкладом в тепловой баланс здания солнечной радиации.

Низкие значения  $E$  ( $E < 0,1$  руб./ $m^2$ ), отмечаемые для некоторых из рассматриваемых городов, объясняются как метеорологическими, так и экономическими причинами. В Одессе и Гурьеве из-за значительных скоростей ветра в холодную часть года довольно заметную долю составляют потери тепла на инфильтрацию, в связи с чем снижается эффект, получаемый от поступления лучистых потоков тепла. В Красноярске небольшая величина  $E$  обусловлена низкой стоимостью тепла, т. е. чисто экономическим фактором. Подтверждением этому является то, что относительная величина выигрыша для Красноярска составляет 24%. Наибольшие значения  $E$  для Горького и Баку и особенно для Волгограда являются следствием совместного действия в одну и ту же сторону и метеорологических, и экономических факторов. В этих городах стоимость тепла от ТЭЦ ниже средней, и, кроме того, заметную долю составляют потери на инфильтрацию из-за сильных ветров. Последнее особенно выражено в Волгограде.

Для рассматриваемых городов Закавказья и Средней Азии обнаруживается картина, аналогичная описанной выше для средних широт. Величина экономического выигрыша такого же порядка, как и в средних широтах, что отчасти объясняется меньшими

величинами даже нормативных дефицитов тепла вследствие более высоких температур отопительного периода. Однако относительная величина эффекта, получаемая благодаря учету притоков лучистого тепла, для всех этих пунктов заметно выше аналогичной величины для средних широт и составляет 45—55%. Несколько ниже эта величина для Баку, что, как объяснялось выше, связано здесь с большими потерями тепла на инфильтрацию.

Анализ табл. 1 позволил, таким образом, проследить по части территории СССР возможный экономический эффект, получаемый при более полном учете влияния метеорологических факторов на тепловой режим зданий.

Используя указанные выше значения экономического выигрыша, полученного за счет более полного учета влияния метеорологических факторов на теплоотдачу зданий, попробуем, хотя бы очень ориентировочно, определить получаемый эффект в масштабе города (например, Ленинграда), а также страны в целом.

По данным теплосети Ленэнерго известно, что на отопление жилых и общественных зданий Ленинграда, обслуживаемых Ленэнерго, в 1968 г. было отпущено около 6 млн. Гкал тепла. При стоимости горячей воды 5 руб. 86 коп. за 1 Гкал это составит 35 млн. руб.

Примем (см. табл. 1), что относительный эффект, получаемый от учета основных метеорологических факторов, т. е.  $\frac{\Delta P^*}{P^*}$ , составит для Ленинграда 21%. Это дает по Ленинграду величину 7,4 млн. руб. Однако при проведении таких оценок необходимо учесть, что снижение суммарных затрат тепла за относительный период в больших масштабах дает экономию именно на топливе. Затраты на производство тепла, его распределение и накладные расходы практически не уменьшатся. Стоимость топлива в стоимости горячей воды составит около 70% [8]. Поэтому экономический выигрыш по Ленинграду составит 5,2 млн. рублей.

Для получения ориентировочной величины возможной экономии по стране в целом можно воспользоваться данными о размерах общегородского жилого фонда по СССР и по союзным республикам. Эти данные нами взяты из статистического сборника [7], где они приводятся в млн. м<sup>2</sup> общей (полезной) площади на 1 января 1969 г. Для перехода от полезной площади жилого фонда к площади вертикальных ограждений городских жилых зданий введем переводной коэффициент  $K_{\Pi}$ , равный отношению площади вертикальных ограждений здания  $S_{в.о}$  к полезной площади этого здания ( $S_{пол}$ ):  $K_{\Pi} = \frac{S_{в.о}}{S_{пол}}$ .

Такой переводной коэффициент будет разным для домов с разными соотношениями длины и ширины, а также будет несколько варьировать в зависимости от планировки дома. Однако для проведения приближенного расчета можно определить площадь ограждения городского жилого фонда в соответствии с каким-либо типовым проектом. В качестве такого «эталонного» дома возьмем один

из наиболее широко распространенных домов — пятиэтажный, пятисекционный дом серии I-464 ая-15. Для этого дома  $S_{пол} = 4383 \text{ м}^2$ ;  $S_{в.о} = 2880 \text{ м}^2$ . Тогда  $K_{п} \approx 0,66$ .

Учтем также упоминавшуюся выше поправку, учитывающую долю стоимости топлива в общей стоимости горячей воды, идущей на отопление, равную 0,7.

Таблица 2

Республика	Объем городского жилого фонда, млн. м <sup>2</sup> полезной площади	Приведенная площадь наружных вертикальных ограждений, млн. м <sup>2</sup>	Возможная экономия, млн. руб.	Город, по которому определена величина возможного экономического эффекта
1	2	3	4	5
СССР . . . . .	959	630	61,6	Москва
РСФСР . . . . .	662,5	435,0	42,6	Москва
Украинская ССР . . . . .	163,4	107,2	11,3	Киев
Белорусская ССР . . . . .	24,2	15,9	1,3	Минск
Узбекская ССР . . . . .	17,2	11,6	1,1	Ташкент
Казахская ССР . . . . .	37,6	24,7	3,6	Алма-Ата
Грузинская ССР . . . . .	13,2	8,7	0,9	Тбилиси
Азербайджанская ССР . . . . .	15,6	10,2	0,5	Баку
Литовская ССР . . . . .	11,3	7,4	0,6	Каунас
Молдавская ССР . . . . .	5,9	3,9	0,3	Кишинев
Латвийская ССР . . . . .	15,1	9,9	1,1	Рига
Киргизская ССР . . . . .	4,9	3,2	0,6	Фрунзе
Таджикская ССР . . . . .	5,5	3,6	0,3	Душанбе
Армянская ССР . . . . .	7,7	5,1	0,6	Ереван
Туркменская ССР . . . . .	6,3	4,1	0,3	Ашхабад
Эстонская ССР . . . . .	8,5	5,6	0,5	Таллин

Произведя ориентировочную оценку экономического эффекта учета влияния метеорологических факторов на теплоотдачу зданий в целом по стране и по союзным республикам, примем также, что величина экономического эффекта, определенная для столицы союзной республики, может быть распространена на весь жилой фонд этой республики. По-видимому, для РСФСР это допущение может только занижить величину определяемого экономического эффекта.

В табл. 2 приводятся результаты произведенной таким образом оценки учета влияния основных метеорологических факторов на тепловой режим зданий. Эти результаты показывают, что учет

поступления тепла от солнечной радиации при определении теплопотерь жилых зданий (что особенно значительно в весенние и осенние месяцы) позволит снизить затраты тепла на отопление. По самым ориентировочным подсчетам это может дать экономию по СССР в целом около 60 млн. руб. в год. Так как эта сумма получена по объему жилого фонда на 1 января 1969 г., то она может считаться нижней границей, поскольку объем строительства в нашей стране растет из года в год.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Богуславский Л. Д. Техничко-экономические расчеты при проектировании наружных ограждающих конструкций зданий. М., «Высшая школа», 1969.
2. Анапольская Л. Е. и Гандин Л. С. Тепловой режим зданий в различных климатических условиях.— Труды ГГО, 1969, вып. 250.
3. Гандин Л. С. Тепловой режим зданий и лучистый теплообмен.— Труды ГГО, 1970, вып. 268.
4. Гандин Л. С. О расчете длительности отопительного периода и норм отопления в различных климатических условиях.— См. наст. сборник.
5. Анапольская Л. Е. Оценка дефицита тепла в различных климатических условиях.— См. наст. сборник.
6. Прейскурант № 09-01. Тарифы на электрическую и тепловую энергию. М., Прейскурантгиз. 1966.
7. Народное хозяйство СССР в 1968 году. Статистический сборник. Изд-во «Статистика», 1969.
8. Аврух А. Я. Проблемы стоимости электрической и тепловой энергии. М.—Л., «Энергия», 1966.

*В. Г. ДРАЧНЕВ, Д. М. СОРОЧКИНА*

## **УЧЕТ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ ПРИ ЦЕНТРАЛЬНОМ И МЕСТНОМ РЕГУЛИРОВАНИИ РАСХОДА ТЕПЛА НА ОТОПЛЕНИЕ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ**

В течение отопительного периода 1968—1969 гг. лабораториями теплоснабжения и строительной физики ЛНИИ АКХ им. К. Д. Панфилова проводились комплексные исследования температурного режима жилых помещений зданий нового строительства.

Объектами исследования были девяти-, двенадцати- и шестнадцатизэтажные здания серий ЛГ-600, ЛГ-602, БС-9-2А, БС-16-3А, 5733/14, а также ряд зданий, построенных по индивидуальным проектам.

Исследуемые здания расположены в трех районах Ленинграда: Василеостровском (Гавань), Фрунзенском (Купчино) и Московском (пр. Гагарина, Новоизмайловский пр., Бассейная ул.).

Освоение серии БС в Ленинграде началось со строительства двух экспериментальных жилых зданий из блок-секций типа 9-2А (девятиэтажного) и 16-3А (шестнадцатизэтажного) на Васильевском острове, в Гавани, которые в нашем случае стали объектами исследования.

Основными вопросами, которые решались в процессе выполнения работы, были комплексное исследование температурной однородности отапливаемых помещений с учетом ее зависимости от основных метеорологических факторов (температуры наружного воздуха, скорости и направления ветра, солнечной радиации) и определение влияния местного регулирования на степень стабилизации температурного режима жилого здания.

Наряду с этим исследовались особенности микроклимата в районе расположения экспериментальных зданий серии БС.

В проведении этих исследований принимали участие сотрудники Главной геофизической обсерватории им. А. И. Воейкова: д-р физ.-мат. наук Л. С. Гандин, кандидаты геогр. наук Л. Е. Анаиольская, Г. В. Циценко и Д. Т. Мандель.

## 1. Характеристики объектов исследования

Основные теплотехнические характеристики исследуемых зданий представлены в табл. 1.

Теплоснабжение двенадцатиэтажного здания (Бассейная, 53) осуществляется от квартальной котельной. Расчетная температура воды, поступающей в систему отопления, 95°C, температура обратной воды 70°C.

Таблица 1  
Теплотехнические характеристики исследуемых зданий

Объект исследования	Строительный объем, м <sup>3</sup>	При расчетной температуре наружного воздуха	
		полная потребность в тепле, ккал/час.	удельный расход тепла, ккал/м <sup>3</sup> × час
Девятиэтажное односекционное крупнопанельное здание серии ЛЛГ-600А-1 . . . . .	8272	229810	27,7
Девятиэтажное семисекционное крупнопанельное здание серии ЛЛГ-600А-5 . . . . .	48482	1182735	24,5
Девятиэтажное девятисекционное крупнопанельное здание серии ЛЛГ-600А-7 . . . . .	59244	1500 45	25,4
Девятиэтажное шестисекционное крупнопанельное здание серии ЛЛГ-602-В-6 . . . . .	39942	1112500	28,1
Девятиэтажное четырехсекционное крупнопанельное здание серии БС-9-2А . . . . .	40765	934940	22,9
Шестнадцатиэтажное двухсекционное крупнопанельное здание серии БС-16-3А . . . . .	39294	1006400	25,5
Двенадцатиэтажное шестисекционное здание (Бассейная, 53) . . . . .	—	2194000	—
Двенадцатиэтажное здание (Новоизмайловский, 22, корпус 1) . . . . .	—	305000	—

✓ Теплоснабжение остальных зданий осуществляется от ТЭЦ.

✓ Расчетные температуры воды, поступающей в систему отопления жилых помещений для этих зданий, 105°C, обратной воды 70°C.

Тепловой пункт девятиэтажного здания серии ЛЛГ-602-В-6 в период исследований был оборудован опытным образцом системы местного автоматического регулирования, разработанным в ЛНИИ АКХ.

## 2. Исследование температурной однородности помещений методом одновременных измерений

Одновременные замеры температуры воздуха в жилых помещениях дают представление о равномерности их отопления.

Обследования проводились на четырех объектах: в двух двенадцатиэтажных зданиях, построенных по индивидуальным про-

ектам (Новоизмайловский, 22, корпус I и Бассейная, 53), двенадцатиэтажном здании серии 5733/14 и пятиэтажном здании серии БС-9-2А.

На первом этапе исследований проводились одновременные (в течение двух часов) массовые измерения температуры, при которых охватывалось от 60 до 200 комнат обследуемого здания. При этом за два часа до начала обхода проводилось измерение температуры и расхода воды в системе отопления для определения количества тепла, поступавшего в дом.

Одновременным измерениям предшествовали ознакомление с проектными материалами и проверка соответствия установленных поверхностей нагрева расчетным.

Дом 22, корпус I по Новоизмайловскому проспекту имеет 98 квартир и встроенный магазин в первом этаже.

Одновременный замер температур в 64 помещениях здания производился 1 марта 1969 г. при температуре наружного воздуха  $-12^{\circ}\text{C}$  и скорости ветра 4—6 м/сек.

В период наблюдений расход тепла по дому был выше расчетного на 8% ( $\varphi_{\text{ср}}=1,08$ ).

Расчетный коэффициент отпуска тепла

$$\varphi_{\text{р}} = \frac{t_{\text{в}} - t_{\text{н}}}{t_{\text{в}} - t_{\text{нр}}}, \quad (1)$$

где  $t_{\text{в}}$  — температура воздуха внутри помещений,  $t_{\text{н}}$  и  $t_{\text{нр}}$  — фактическая и расчетная температуры наружного воздуха (в данном случае фактическая температура  $t_{\text{н}} = -12^{\circ}\text{C}$ , а расчетная  $t_{\text{нр}} = -24^{\circ}\text{C}$ ).

Таблица 2

Средняя температура в жилых помещениях здания  
(Новоизмайловский, 22, корпус I) 1 марта 1969 г.

Этаж . . . . .	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Средняя температура, $^{\circ}\text{C}$ . . . . .	20,8	19,9	19,6	20,3	21,2	20,4	20,6	22,0	21,0	20,6	21,8	20,8

По данным одновременных измерений составлена табл. 2, отражающая распределение средних температур жилых помещений по этажам здания.

При этом средняя температура воздуха в доме составила  $20,7^{\circ}\text{C}$ . Самая высокая температура в помещениях была  $24^{\circ}\text{C}$  (8-й этаж), самая низкая  $17^{\circ}\text{C}$  (3-й этаж).

Дом № 53 по Бассейной ул. имеет 507 квартир. Одновременный замер температур в 60 жилых помещениях производился 19 фев-

Таблица 3

Средняя температура в жилых помещениях здания (Бассейная, 53)  
19 февраля 1969 г.

Этаж . . . . .	1	2	4	6	9	11	12
Средняя температура, $^{\circ}\text{C}$ . . . . .	21,6	21,4	21,5	21,6	22,6	22,0	22,5

раля 1969 г. при температуре наружного воздуха  $-15,1^{\circ}\text{C}$  и скорости ветра 4—6 м/сек. Средняя температура в жилых помещениях по этажам почти не различалась (табл. 3).

Здание серии 5733/14 имеет 84 квартиры. Одновременный замер температуры в 74 помещениях дома производился 22 февраля 1969 г. при температуре наружного воздуха  $-2,5^{\circ}\text{C}$  и южном ветре 9—12 м/сек.

В период наблюдений количество тепла, идущее на отопление здания, было близко к расчетному ( $\varphi_{\Phi}=0,97$ ).

Таблица 4

Средняя температура ( $^{\circ}\text{C}$ ) в жилых помещениях здания серии 5733/14 22 февраля 1969 г.

Сторона	Этаж											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Наветренная . . . . .	19,8	19,6	18,3	19,0	17,9	19,0	19,6	19,0	18,3	18,1	18,0	16,3
Подветренная . . . . .	—	20,3	19,4	—	—	21,2	—	21,6	21,1	20,5	21,1	19,2

Как видно из табл. 4, средняя температура воздуха в помещениях, расположенных с наветренной стороны, была несколько ниже, чем с подветренной стороны.

Средняя температура воздуха в жилых помещениях дома была  $19,6^{\circ}\text{C}$ .

Двухсотшестнадцатиквартирный жилой дом серии БС-9-2А в период проведения исследований не был заселен.

Таблица 5

Средняя температура воздуха ( $^{\circ}\text{C}$ ) в жилых помещениях здания серии БС-9-2А 20 марта 1969 г.

Сторона	Этаж				
	1	3	5	7	9
Солнечная . . . . .	15,4	14,7	15,3	15,7	16,7
Тенистая . . . . .	14,9	12,7	14,7	14,7	15,7

Результаты одновременного измерения температуры 20 марта 1969 г. в 252 помещениях здания в течение трех часов при температуре наружного воздуха  $-4^{\circ}\text{C}$  представлены в табл. 5. Было установлено, что здание в целом в этот период получало тепла значительно меньше расчетного ( $\varphi_{\Phi}=0,7$ ).

Следует отметить, что влияние на температурный режим помещений оказала солнечная радиация: температура воздуха в помещениях, расположенных на солнечной стороне, оказалась выше, чем в помещениях на теневой стороне.

Таким образом, на первом этапе исследований удалось установить следующее.

Теплопотери помещений с инфильтрацией холодного воздуха за счет действия ветра возрастают с высотой этажа.

В обследованных зданиях наиболее холодными оказываются помещения 2-го и 3-го этажей. Температурная неоднородность жилых помещений этих этажей, обусловленная действием солнечной радиации, имеет наибольшую величину по сравнению с остальными помещениями здания.

Помещения, расположенные с наветренной стороны, холоднее и отличаются более однородным распределением температуры по сравнению с помещениями на подветренной стороне.

В обследованном здании (Бассейная, 53), теплоснабжение которого осуществлялось от квартальной котельной, обеспечивалась лучшая стабилизация температурного режима по сравнению с абонентами городских тепловых сетей.

Можно предположить, что последнее в значительной степени объясняется возможностью учета микроклимата в обслуживаемом районе и непрерывным регулированием расхода тепла на отопление, осуществляемым в котельной.

### 3. Исследование температурной однородности помещений в зависимости от конструктивно-планировочных и теплотехнических параметров

Одним из факторов, влияющих на температурную неоднородность здания, является различие конструктивно-планировочных и теплотехнических параметров: соотношение площадей наружных стен и окон различных размеров, длина стыков, толщина и материал стен и т. д.

Теплопотери через окна и стены и теплопотери за счет инфильтрации зависят от соотношения этих параметров.

Для учета конструктивно-планировочных и теплотехнических показателей при автоматическом регулировании подачи тепла в здании С. А. Чистовичем были введены комплексные параметры  $\psi$  и  $d_p$  [1]:  $\psi$  — коэффициент, характеризующий отношение тепловых потерь через теплоемкие ограждения (стены) к общим потерям тепла (через стены и окна) для данного помещения;  $d_p$  — коэффициент, характеризующий относительную величину потерь тепла за счет инфильтрации через окна и стыки при скорости ветра 1 м/сек. и перепаде наружной и внутренней температур на 1°C

Параметры  $\psi$  и  $d_p$  рассчитываются по строительным чертежам здания и Строительным нормам и правилам [2].

Коэффициент  $\psi$  будет максимальным при максимальном отношении теплопотерь через наружные стены к общим потерям тепла через наружные стены и окна, т. е. будет максимальным в торцевых комнатах с небольшими окнами.

Коэффициент  $\psi$  будет минимальным при минимальном отношении теплопотерь через наружные стены к общим потерям тепла (через наружные стены и окна), т. е. будет минимальным в комнатах с большими окнами, расположенных в средней части здания.

Коэффициент  $d_p$  максимален для помещений с максимальными потерями тепла за счет инфильтрации, т. е. для помещений с большой длиной стыков и большими окнами. Коэффициент  $d_p$  минимален для помещений с минимальными потерями тепла за счет инфильтрации, т. е. для помещений с маленькими окнами и малой длиной стыков.

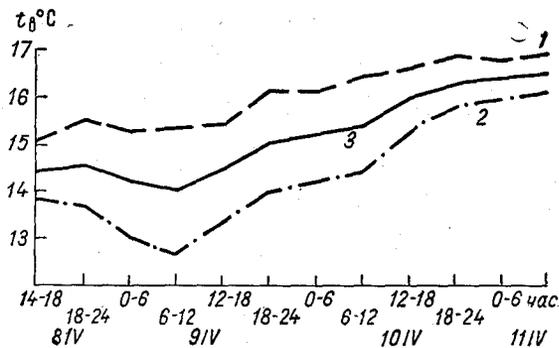


Рис. 1. Температурная неоднородность здания. 1 — средняя температура помещений восточной ориентации, 2 — западной ориентации, 3 — всех помещений здания.

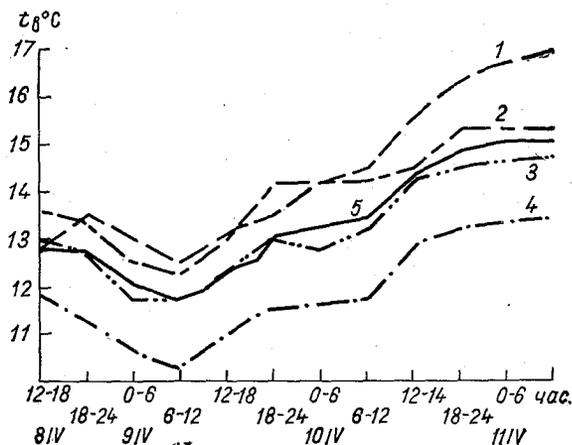


Рис. 2. Температурная неоднородность помещений наветренной (западной) стороны с различными конструктивно-планировочными параметрами. 1 — средняя температура помещений,  $\psi_{\min} d_p \max$ ; 2 — средняя температура помещений,  $\psi_{\min} d_p \min$ ; 3 — средняя температура помещений,  $\psi_{\max} d_p \max$ ; 4 — средняя температура помещений,  $\psi_{\max} d_p \text{ ср}$ ; 5 — средняя температура всех помещений западной ориентации.

Исследование влияния разброса конструктивно-планировочных и теплотехнических параметров на температурный режим здания производилось в здании типа «Пластина» серии БС-9-2А в помещениях западной и восточной ориентации.

Осредненные результаты одновременной записи температуры воздуха с 8 по 10 апреля 1969 г. в 26 помещениях западной и восточной ориентации представлены на рис. 1—4.

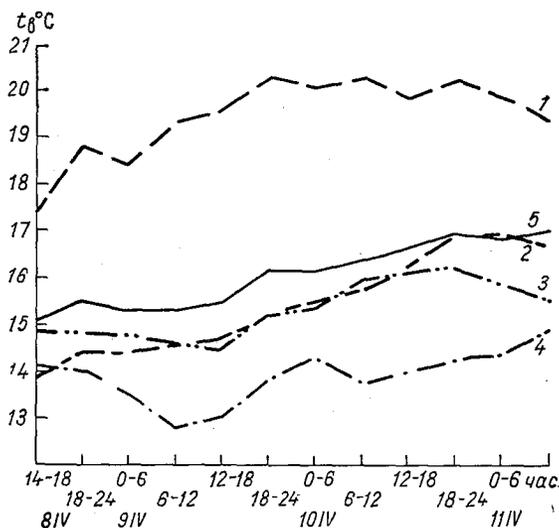


Рис. 3. Температурная неоднородность помещений подветренной (восточной) стороны с различными конструктивно-планировочными параметрами.

1 — средняя температура помещений,  $d_{p \min}$ ;  $\psi_{\min}$ ; 2 — средняя температура помещений,  $d_{p \max}$ ;  $\psi_{\min}$ ; 3 — средняя температура помещений,  $\psi_{\min}$ ;  $d_{p \text{ ср}}$ ; 4 — средняя температура помещений,  $\psi_{\max}$ ;  $d_{p \text{ ср}}$ ; 5 — средняя температура всех помещений восточной ориентации.

Температура в обследованных помещениях подветренной (восточной) стороны распределялась следующим образом.

Самая высокая температура воздуха была в комнатах с минимальным соотношением теплопотерь через стены к общим потерям тепла ( $\psi_{\min}$ ) и минимальными потерями тепла за счет инфильтрации ( $d_{p \min}$ ). Температура воздуха в этих комнатах колебалась в зависимости от колебаний метеорологических факторов (17,4—19,8°C).

Температура воздуха в комнатах, характеризующихся  $\psi_{\min}$  и максимальными потерями тепла за счет инфильтрации ( $d_{p \max}$ ), была значительно ниже и сильнее колебалась при изменении метеорологических факторов (13,8—16,8°C).

Самая низкая температура была в помещениях с максимальным соотношением теплопотерь через стены к общим потерям тепла ( $\psi_{\max}$ ) и средней величиной потерь тепла за счет инфильтрации ( $d_{p\text{ ср}}$ ): она составляла 12,7—14,8°C. Меньше всего влияли колебания метеорологических факторов на изменение температуры воздуха в помещениях с  $\psi_{\min}$  и  $d_{p\text{ ср}}$  (14,5 ÷ 16,2°C).

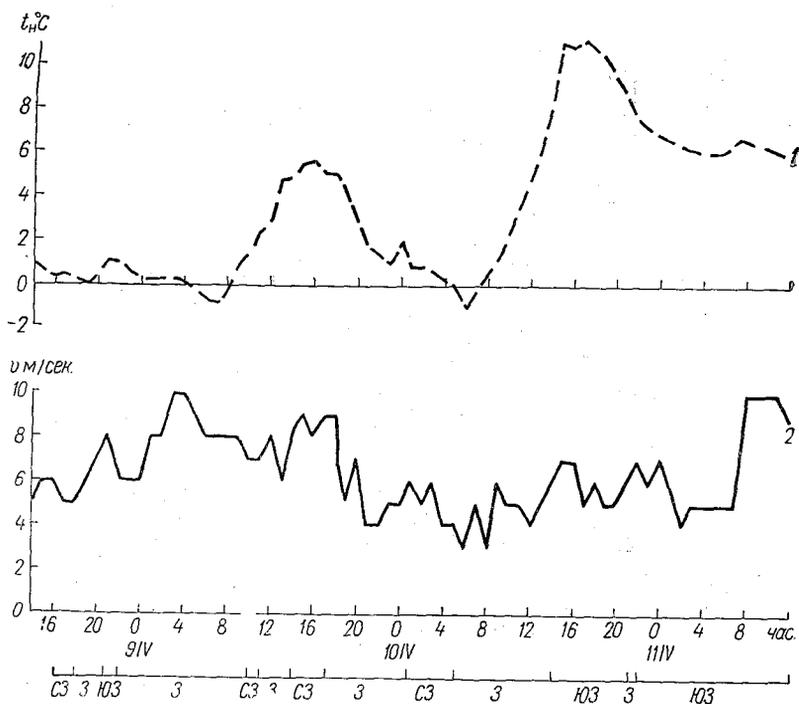


Рис. 4. Метеорологические условия в период наблюдений (по данным городской метеостанции).

1 — температура наружного воздуха, 2 — скорость ветра.

Можно предположить, что в помещениях с  $\psi_{\min}$  и  $d_{p\text{ min}}$  колебания температуры воздуха будут еще меньше при изменении метеорологических факторов.

Температура в помещениях наветренной (западной) стороны распределялась следующим образом.

Самая высокая температура и самая большая амплитуда колебаний температуры (13,5—17,8°C) была в помещениях с минимальным отношением теплопотерь через стены к общим потерям тепла за счет инфильтрации ( $d_{p\text{ ср}}$ ).

Можно предположить, что в помещениях с  $\psi_{\min}$  и  $d_{p\text{ min}}$  температура воздуха будет еще выше. Самая низкая температура воздуха (11,3—14,4°C) отмечалась в помещениях с максимальным отношением теплопотерь через стены к общим потерям тепла и сред-

ними потерями тепла за счет инфильтрации ( $\psi_{\max}$ ,  $d_p$  ср). Но амплитуда колебаний температуры воздуха в зависимости от изменения метеорологических условий была больше, чем в помещениях, характеризующихся  $\psi_{\min}$ ,  $d_p$  min (13,3—16,3°C) и  $\psi_{\min}$ ,  $d_p$  max (12,7—15,7°). Исследования позволили сделать следующие выводы.

Во время проведения исследований (начало апреля) самая низкая температура была в комнатах, где соотношение теплопотерь через стены к общим потерям тепла было максимальным, т. е. в торцовых комнатах, где площадь наружных стен значительно больше площади окон.

Влияние случайных колебаний метеорологических факторов на колебания температуры воздуха в помещениях тем больше, чем больше потери тепла за счет инфильтрации, т. е. в комнатах с большей длиной стыков и большими размерами окон.

Самая высокая температура воздуха была в комнатах, где отношение теплопотерь через стены к общим потерям тепла было минимальным, т. е. в комнатах, расположенных в средней части здания, где площадь наружных стен значительно меньше площади окон. Зависимость температуры воздуха в помещениях от  $\psi$  и  $d_p$  одинакова на наветренной и подветренной сторонах.

Введение коэффициентов  $\psi$  и  $d_p$  открывает возможность учета конструктивно-планировочных и теплотехнических особенностей здания при центральном и местном регулировании отопления.

#### 4. Исследование микроклимата в районе расположения здания

Экспериментальный дом серии БС-9-2А типа «Пластина» расположен меридионально в прибрежной части Васильевского острова, открытой действию западных ветров и солнечной радиации.

Этот район Ленинграда заметно отличается по своему микроклимату от центральных и восточных районов города. В связи с этим необходимо было выяснить особенности микроклимата в этом районе по сравнению с районом городской метеорологической станции, расположенной на ул. Даля, д. 1 (Петроградская сторона), по данным которой теплосетью Ленэнерго осуществляется сейчас центральное регулирование отпуска тепла с ТЭЦ.

Посты наблюдения за температурой наружного воздуха, скоростью и направлением ветра и солнечной радиацией были оборудованы в центральной части здания на уровне 5-го и 9-го этажей сначала только по западному фасаду, а позднее и восточному.

Посты наблюдения действовали периодически. Периодически проводилась и маршрутная съемка, во время которой измерялась температура наружного воздуха и скорость ветра на высоте 1,2 м от земли и на расстоянии 10 м от дома.

Результаты наблюдений представлены в табл. 6—9.

Анализ полученных результатов показал следующее:

1) температура наружного воздуха, измеренная в непосредственной близости здания во многом определяется температурой его

Таблица 6

Температура (°С) наружного воздуха на расстоянии 10 м от фасадов здания при ясной солнечной погоде

Дата	Время за- мера. час.	Фасад			
		западный	восточный	северный	южный
27 III 1969 г.	11	-5,6	-2,2	-5,0	-5,0
	14	+0,8	+0,8	0,0	+1,6
28 III	10	-5,4	-4,4	-5,4	-4,4
	12	-2,2	-0,6	-2,4	-2,4
	16	+0,8	+0,4	+0,8	+1,6
10 IV	9	+2,4	+4,0	+2,4	+2,8
	11	+4,2	+4,1	+6,9	+6,0
	13	+8,8	+10,4	+7,0	+10,0
	15	+10,6	+10,0	+9,5	+9,2
	17	+9,2	+9,0	+9,0	+9,0

наружных ограждений, а потому значительно отличается от ее значения, измеренного на открытом месте;

2) скорость ветра у здания на высоте до 5-го этажа практически оказывается меньше, чем по данным ближайшей метеорологической станции;

Таблица 7

Температура воздуха (°С)

Дата	Время суток, час.		Около здания				По данным метеорологи- ческой станции
			по данным маршрутной съемки		на уровне пя- того этажа, восток		
	от	до	запад	восток			
28 III 1969 г.	10	16	-5,4, +0,8	-4,0, +0,7	-9,6, +2,0	-4,8, -1,9	
10 IV	9	17	2,5-10,5	3,0-10,1	-0,8, +7,9	2,6-11,0	
12 VI	9	19	13,7-13,8	12,1-17,7	—	14,3-18,5	
16 VI	10	18	18,7-22,0	18,0-20,8	—	18,4-21,1	

3) при величине суммарной солнечной радиации, поступающей на вертикальные стены, свыше 200 кал/см<sup>2</sup> за сутки наблюдалось повышение температуры помещений на солнечной стороне здания в среднем на 1,5-2°С.

Таким образом, метеорологические данные, по которым ведется отпуск тепла с ТЭЦ, отличаются от измеренных в непосредственной близости от здания.

Скорость ветра (м/сек.)

Таблица

Дата	Время суток, час.		Около здания				По данным метеорологической станции
			по данным маршрутной съемки		на уровне пятого этажа		
	от	до	запад	восток	запад	восток	
23 III 1969 г.	9	14	0—0,9	—	0—1,0	0	3,0—4,0
28 III	10	16	0,2—1,4	0,2—0,5	1,0—1,5	0,3—0,5	4,0—7,0
10 IV	9	17	0,5—1,6	0,5—1,7	0—3,0	1,0—1,5	5,0—7,0
12 VI	9	19	0,4—2,5	0,5—1,4	—	—	5,0—9,0
16 VI	10	18	0,9—1,3	1,0—1,9	—	—	5,0—6,0

Для улучшения качества отопления зданий центральное регулирование отпуска тепла с ТЭЦ требуется дополнять местным регулированием, осуществляемым непосредственно на абонентских вводах с учетом особенностей микроклимата в районе расположения абонента.

Таблица 9  
Суммарная солнечная радиация (кал/см<sup>2</sup>.сутки)

Дата	По показаниям пиранометров		По данным метеостанции
	западная стена	восточная стена	
13 II 1969 г.	31,2	—	64
15 II	40,3	—	82
16 II	30,8	—	64
21 III	133,5	—	—
24 III	191,3	—	—
25 III	131,8	—	—
26 III	175,2	—	—
1—4 IV	101,3	69,5	—
	77,3	47,4	—
	230,4	223,5	—
	68,9	45,3	—
10 IV	211,3	252,7	349,0

### 5. Влияние местного регулирования на температурный режим жилого здания

Система местного автоматического регулирования расхода тепла на отопление была смонтирована на тепловом пункте жилого здания серии ИЛГ-602-В-6 (ул. Бела Куна, 13) и в отопительный период 1968-69 г. работала нормально.

В состав указанной системы вошли следующие приборы и элементы: 1) датчики температуры наружного воздуха, датчики температуры подающейся в систему отопления и выходящей из нее воды — медные термометры сопротивления; 2) электронный регулирующий прибор РПИВ-С; 3) регулирующие клапаны с исполнительными механизмами, установленные на основном трубопроводе перед элеватором и на обводной линии.

Датчик температуры наружного воздуха монтировался у северной стены здания на уровне 2-го этажа.

Система относится к разряду устройств, работающих по отопительному графику.

Алгоритм ее функционирования может быть выражен уравнением

$$\frac{t_1 + t_2}{2} = a - bt_n, \quad (2)$$

где  $t_1$  и  $t_2$  — температура воды, поступающей в систему отопления здания и выходящей из нее;  $t_n$  — температура наружного воздуха;  $a$  — постоянная настройки регулятора, °С;  $b$  — тангенс угла наклона отопительного графика.

В обычном режиме регулирование расхода тепла в системе осуществлялось с помощью основного регулирующего клапана, установленного перед элеватором (количественное регулирование).

В тех случаях, когда дальнейший рост расхода горячей воды на отопление здания не вызывал изменения теплоотдачи нагревательных приборов в отапливаемых помещениях (полное открытие основного клапана), автоматически производилось переключение системы на работу по обводной линии (качественное регулирование).

Перед началом настройки регулятора на заданный отопительный график проводились исследования, связанные с определением фактического отопительного графика абонента.

Путем многократных сопоставлений средних температур по дому с температурой воды, поступающей в систему отопления и выходящей из нее при различной температуре наружного воздуха, такая зависимость была установлена (рис. 5). Этот график был реализован при настройке регулятора.

Во время испытаний системы с помощью измерительных приборов, установленных на абонентском вводе здания, непрерывно фиксировались следующие показатели:

- 1) температура и давление воды в прямой и обратной линиях теплосети, до и после узла смещения, после системы отопления;
- 2) расход воды из тепловой сети на отопление и горячее водоснабжение;
- 3) ход штоков регулирующих органов;
- 4) температура наружного воздуха.

Кроме того, в 26 контрольных жилых помещениях, расположенных в разных частях здания и имеющих разнообразную ориентацию, велись непрерывные записи температуры воздуха с помощью недельных термографов.

Для выявления степени влияния местного регулирования на температурный режим здания во время отопительного сезона периодически производилось отключение регулятора расхода тепла, установленного на абонентском вводе. При этом регистрация контрольных показателей не прекращалась.

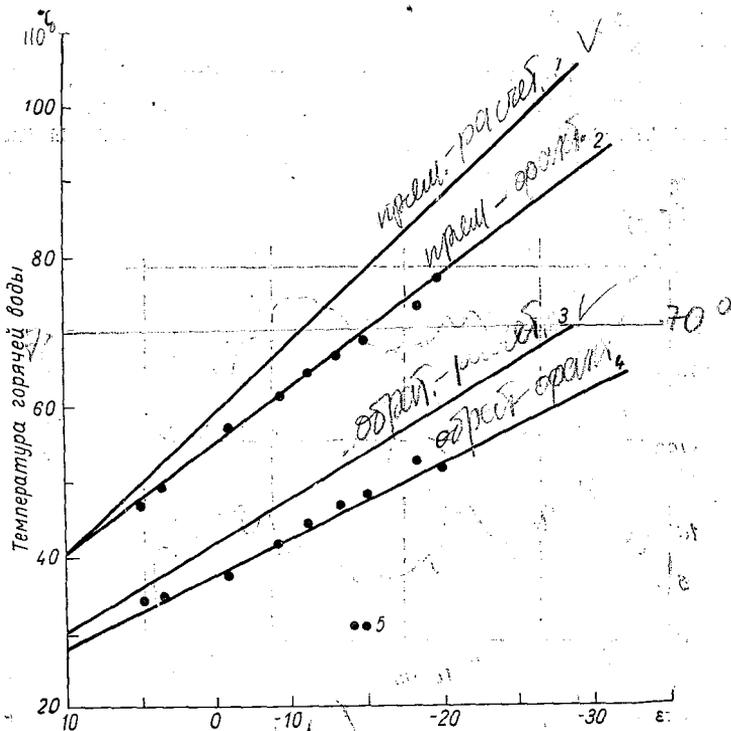


Рис. 5. Расчетные (1, 3) и фактические (2, 4) отопительные графики.

1, 2 — по температуре прямой воды; 3, 4 — по температуре обратной воды; 5 — полученные при работе системы автоматического регулирования.

В связи с тем что основными метеорологическими факторами, обуславливающими степень охлаждения зданий, являются температура наружного воздуха, скорость и направление ветра, а также учитывая, что при центральном регулировании отпуска тепла с ТЭЦ корректировка режима теплоснабжения осуществляется не чаще двух-трех раз в сутки, подбор сроков для сопоставления производился по признакам максимальной идентичности суточной амплитуды температуры наружного воздуха, скорости и направления ветра.

По данным, полученным на АМСГ Шоссейная, ближайшей к опытному объекту, удалось подобрать такие подобные по метео-

обстановке периоды времени для случаев, когда система нормально работала и когда она была выключена (рис. 6 и 7).

В дальнейшем влияние местного регулирования на температурный режим здания оценивалось путем сопоставления рассчитанных с помощью термограмм кривых средних температур по дому, кривых средних температур помещений южной и северной ориентации за сравниваемые сроки.

При этом для достижения большей достоверности конечных результатов исследований такие сроки выбирались для двух случаев, резко различающихся по значениям температуры и ветра: 1) с незначительной суточной амплитудой температуры наружного

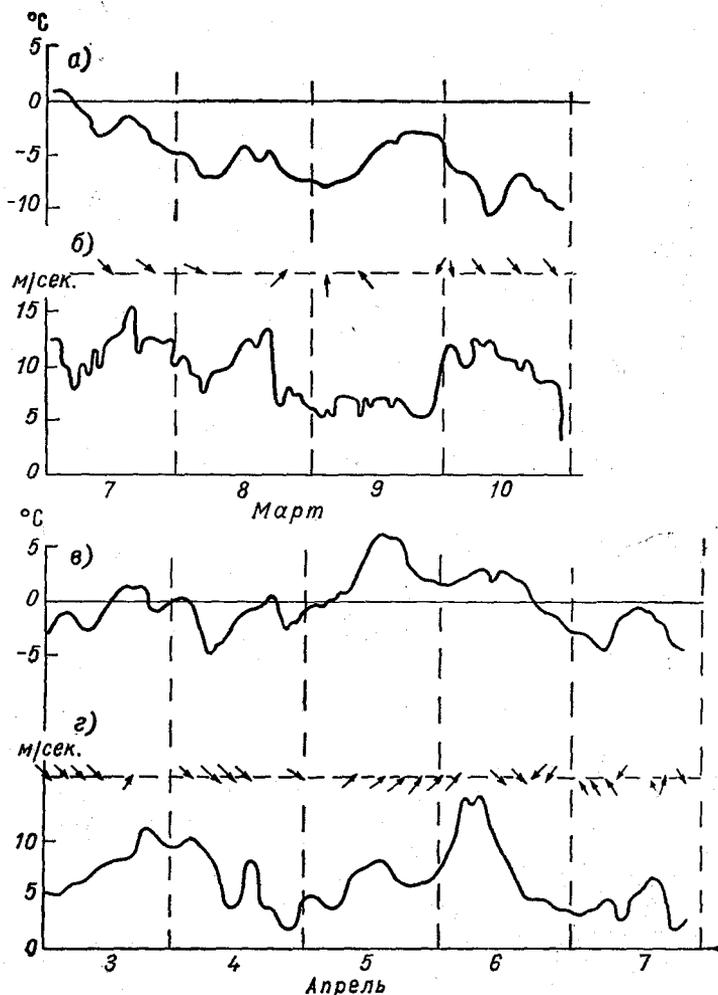


Рис. 6. Температура воздуха (а, в), скорость и направление ветра (б, г) в периоды 7—10/III и 3—7/IV 1969 г.

воздуха и большими скоростями ветра; 2) с большой суточной амплитудой температуры наружного воздуха и незначительной скоростью ветра.

На рис. 8 представлены результаты проведенных исследований. Из рисунка видно, что работа системы местного автоматического регулирования во всех рассмотренных случаях приводила к значи-

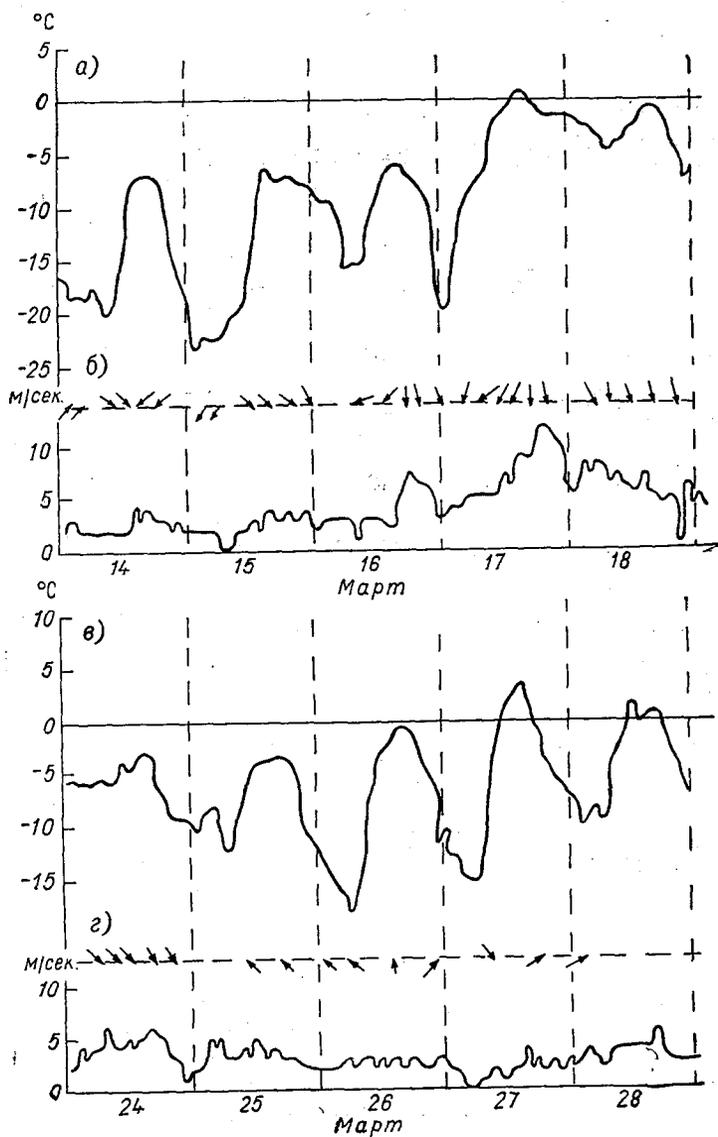


Рис. 7. Температура воздуха (а, в), скорость и направление ветра (б, г) в периоды 14—18/III и 24—28/III 1969 г.

тельному улучшению температурного режима отапливаемых помещений (колебания температуры внутри отапливаемых помещений уменьшились в 1,5—2 раза).

Последнее обстоятельство обуславливается следующими основными причинами:

1) отопление здания при местном регулировании производилось по фактическому отопительному графику абонента, учитывающему его индивидуальные особенности;

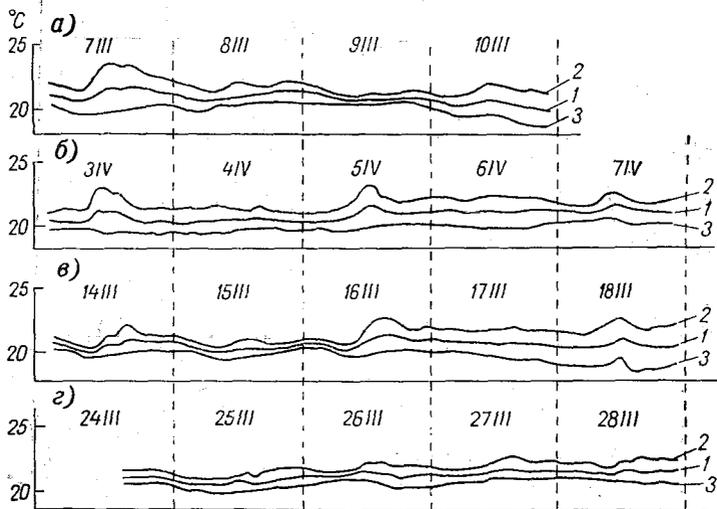


Рис. 8. Средние температуры внутри здания в периоды 7—10/III (а), 3—7/IV (б), 14—18/III (в), 24—28/III (г) 1969 г.

1 — по дому в целом, 2 — помещений южной ориентации, 3 — помещений северной ориентации.

2) заложенный в регулятор отопительный график автоматически корректировался не только при изменении температуры наружного воздуха, но также учитывал «быстрые» теплопотери за счет инфильтрации по их влиянию на температуру обратной воды через температуру и скорость движения воздуха около радиаторов в отапливаемых помещениях; 3) регулирование теплоступлений в здание при местном регулировании производилось непрерывно, в то время как при центральном регулировании режим теплоснабжения менялся только 2—3 раза в сутки.

4) подача тепла на отопление абонента при местном регулировании осуществлялась с учетом фактических метеорологических условий около здания, а при центральном регулировании — по средней температуре наружного воздуха в городе.

Вместе с тем анализ термограмм показал, что исследованная система местного автоматического регулирования оказалась практически нечувствительной к дополнительному нагреву помещений за счет солнечной радиации.

## ВЫВОДЫ

1. В зданиях повышенной этажности, подключенных к городским системам централизованного теплоснабжения (от ТЭЦ), наблюдается значительный разброс температуры воздуха в отапливаемых помещениях. В большой степени это обусловливается влиянием ветра на тепловой режим здания. ✓

2. Температура наружного воздуха и скорость ветра, измеренные в непосредственной близости от здания, заметно отличаются от значений, полученных на открытом месте.

Температура наружного воздуха около здания во многом определяется температурой его наружных ограждений, а скорость ветра — значительно меньше, чем по данным ближайшей метеостанции.

3. Местное автоматическое регулирование расхода тепла на отопление, осуществляемое непосредственно на абонентском вводе жилого здания, обеспечивает значительное повышение качества стабилизации температуры в отапливаемых помещениях. ✓

При этом наилучшие условия стабилизации обеспечиваются в помещениях северной ориентации, мало подверженных влиянию солнечной радиации. ✓

## ЛИТЕРАТУРА

1. Чистович С. А. Автоматизация установок и систем теплоснабжения и отопления. М., Стройиздат, 1964. ✓
2. Ащеулова С. С., Сорочкина Д. М. Исследование температурной однородности здания. Краткое содержание докладов научно-технической конференции аспирантов и молодых специалистов. ОНТИ АКХ, М., 1970.
3. Драчнёв В. Г., Фельдман С. Я. Исследование работы системы местного автоматического регулирования расхода тепла в эксплуатационных условиях. В кн.: «Автоматизация отопительных котельных и тепловых пунктов», вып. 6. Л., Изд-во «Недра», 1970. ✓

*Е. В. БЕЛЯЕВ, Г. В. ЦИЦЕНКО,  
Д. М. СОРОЧКИНА, Н. Н. ШИЛОВ*

## **МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ТЕПЛОВОЙ РЕЖИМ ЗДАНИЯ**

За последнее время (1965—1970 гг.) в больших городах страны строительство крупнопанельных жилых домов повышенной этажности составляет от 4 до 29% от общей жилой площади.

В некоторых крупных городах в 1971—1975 гг. удельный вес здания повышенной этажности достигнет 60—80%, а в целом по стране 25—30% от общего объема государственного строительства.

При строительстве жилых зданий повышенной этажности особое значение приобретает правильный учет влияния комплекса метеорологических факторов и особенно их сочетаний (низкая температура и сильный ветер, осадки и ветер и т. д.).

Современная планировка широких улиц, больших площадей, большие расстояния между отдельно стоящими зданиями увеличивают воздействие метеорологических факторов на тепловой режим зданий.

Правильная организация наблюдений за изменением температуры наружного воздуха, скорости ветра, солнечной радиации, осадков в непосредственной близости от здания дает возможность получить сравнимые результаты для решения различных задач в области эксплуатации зданий, в том числе центрального и местного автоматического регулирования отопления зданий.

Экспериментальные исследования, выполненные с учетом комплекса метеорологических, теплофизических и других факторов, необходимы для решения многих вопросов, связанных с определением влияния метеорологических факторов на тепловой режим здания. Материалы наблюдений могут быть использованы для уточнения составляющих теплового баланса.

В данной работе рассматриваются некоторые вопросы, связанные с организацией и проведением экспериментальных исследований теплового режима здания.

## 1. Основные положения методики наблюдений

Для определения теплотехнического режима здания используется уравнение теплового баланса [1, 2]. Величины метеорологических составляющих теплового баланса — турбулентного, лучистого теплообмена и теплообмена между поверхностью ограждающих конструкций и их внутренними слоями — могут быть измерены или рассчитаны по данным наблюдений за комплексом метеорологических факторов. Так, например, турбулентный теплообмен определяется разностью температуры ограждающих поверхностей, температуры воздуха и температуры подстилающей поверхности вблизи здания. Большое влияние на турбулентный теплообмен оказывает скорость ветра.

Для определения лучистого теплообмена необходимы данные наблюдений за потоками коротковолновой и длинноволновой радиации. Эффективное излучение, представляющее собой алгебраическую сумму потоков длинноволнового излучения ограждающих поверхностей, воздуха и подстилающей поверхности, может быть рассчитано по данным наблюдений за температурой поверхностей и воздуха, влажностью воздуха и облачностью.

Теплообмен в ограждающих поверхностях зависит от распределения температур по всему слою и может быть определен по данным соответствующих наблюдений. В тепловом балансе зданий учитывается также поступление тепла от внутренних источников тепла.

Таким образом, экспериментальные исследования включают большой комплекс метеорологических наблюдений.

При проведении экспериментальных наблюдений решались следующие методические вопросы: 1) методика наблюдений метеорологических факторов около здания, 2) методика измерения теплофизических параметров здания и порядок производства наблюдений; 3) методика наблюдений за тепловым режимом зданий.

Влияние метеорологических факторов на тепловой режим здания можно оценить разными способами.

Существует упрощенный способ, который заключается в анализе результатов одновременных измерений температуры и влажности воздуха в различных помещениях здания и метеорологических характеристик на ближайшей метеорологической станции.

Результаты таких исследований будут значительно точнее, если одновременно с замером температуры и влажности в здании проводить маршрутные измерения метеорологических факторов в непосредственной близости от здания.

Наиболее полную оценку теплового состояния дает анализ теплового баланса отапливаемого помещения, основные составляющие которого определены экспериментальным путем, причем метеорологические факторы измеряются на постах наблюдения, установленных возле обследуемого помещения.

Во время проведения эксперимента в здание должно поступать расчетное количество тепла.

Измерения должны проводиться одновременно на разных сторонах здания в метеорологические и актинометрические сроки наблюдений.

Выбор приборов, запись и обработка наблюдений за метеорологическими элементами должны производиться в соответствии с «Наставлениями гидрометеорологическим станциям и постам», вып. 1, 3 и «Руководством гидрометеорологическим станциям по актинометрическим наблюдениям».

На постах наблюдения следует устанавливать дистанционные или автоматические приборы, позволяющие проводить наблюдения как в отдельные сроки, так и ежечасно.

## 2. Выбор места установки метеорологических приборов в непосредственной близости от здания

Одним из основных вопросов методики является выбор места установки метеорологических приборов в непосредственной близости от здания.

В качестве опытных в 1968—1970 гг. были организованы измерения температуры наружного воздуха, скорости ветра и солнечной радиации в непосредственной близости от четырехэтажного кирпичного здания, крупнопанельного керамзитобетонного девятиэтажного здания (Ленинград, Наличная, 34) и четырехэтажного кирпичного здания Ленэнерго (Ленинград, Марсово Поле, 1).

Для определения места установки метеорологических приборов были проведены измерения температуры наружного воздуха, скорости ветра, солнечной радиации на различных расстояниях от здания (см. табл. 1, 2, 3).

Температура наружного воздуха измерялась на расстоянии 10 м от здания психрометром Ассмана; на расстоянии 10 и 20 см от здания — медно-константановыми термопарами, чувствительный элемент которых был защищен фольгой от действия солнечной радиации; на расстоянии 1,5 м от фасада или крыши здания — хромель-копелевыми термопарами, помещенными в малогабаритную метеорологическую будку.

Скорость ветра измерялась на расстоянии 10 м от здания крыльчатым анемометром и неморумбометром М-47 на расстоянии 1,5 м от фасада и крыши здания (рис. 1, 2).

Температура наружного воздуха, измеренная на одинаковом расстоянии от освещенной и не освещенной солнечными лучами стены зданий, различна. Это объясняется тепловым влиянием стены, которое может быть значительным вблизи стены и уменьшается при удалении от нее.

Как видно из табл. 2, стены здания оказывают влияние на температуру воздуха, измеренную на расстоянии 10 м от стены при ясной солнечной погоде в весенний период. На южной стороне здания температура воздуха была выше на 1°, чем на западной стороне.

Таблица 1

Температура наружного воздуха (°С), скорость ветра (м/сек.)  
и суммарная солнечная радиация (кал/см<sup>2</sup> мин.), измеренные  
возле здания

Место установки приборов	13 II 20 час.	14 II 12 час.	14 II 15 час.	15 II 3 часа	16 II 9 час.
Температура воздуха					
10 см от оконного стекла . . . . .	-14,0	-13,1	-12,0	-13,7	-12,8
10 см от застекленного поста . . . . .	-14,2	-13,1	-11,8	-13,7	-12,8
10 см от керамзитобетонной стены . . . . .	-17,5	-16,5	-15,3	-17,8	-16,1
20 см от форточки . . . . .				-12,8	-9,3
1,5 м от стены . . . . .	-16,9	-16,4	-15,8	-17,5	-16,1
Скорость и направление ветра					
На расстоянии 1,5 м от стены . . . . .	0,5 СВ	0,3 неуст.	2,0 СВ	0,2 СВ	0,5 СВ
Суммарная солнечная радиация					
Поверхность здания на уровне окна . . . . .	0,0	0,092	0,111	0,156	0,019
Коэффициент пропускания солнечной радиации					
За двойным оконным стеклом внутри помеще- ния . . . . .	0,00	0,67	0,72	0,66	0,70
Альbedo подстилающей поверхности вблизи здания					
С высоты лоджии . . . . .	—	43	40	28	42
Альbedo стены					
На расстоянии 1,5 м . . . . .	—	64	58	60	60

Для уменьшения радиационного влияния стены и скорости ветра прибор для измерения температуры воздуха помещался в малогабаритную метеорологическую будку конструкции ГГО.

В облачную погоду весной влияние радиационного излучения южной стены здания на температуру воздуха на расстоянии 10 м от стены было незначительным (меньше 1°). В зимнее время различия температуры наружного воздуха на южной и западной сторонах не обнаруживались на расстоянии от стены 1,5—2,0 м.

Материалы наблюдений показывают, что измерения температуры воздуха, в которых не обнаруживалось бы тепловое влияние нагретой солнечными лучами стены здания, должны проводиться на расстоянии от здания, превышающем его высоту. Полученные

результаты соответствуют правилам проведения наблюдений на сети Гидрометслужбы.

Как показали расчеты, различия температуры наружного воздуха меньше  $1^{\circ}$  не дают больших погрешностей при определении теплового режима здания. Учитывая это, измерения температуры наружного воздуха проводились в теплый период года на расстоянии 10 м от освещенной солнцем стены здания, а в холодный период года — на расстоянии 1,5—2,0 м.

Таблица 2

Температура наружного воздуха ( $^{\circ}\text{C}$ ) вблизи стен здания

Дата	Время, часы	Стена здания			
		западная	восточная	северная	южная
27 III 1969 г.	11	-5,6	-2,2	-5,0	-5,0
	14	0,8	0,8	0,0	1,6
18 III 1969 г.	10	-5,4	-4,4	-5,4	-4,4
	12	-2,2	-0,6	-2,4	-2,4
	16	0,8	0,4	0,8	1,6
10 IV 1969 г.	9	2,1	4,0	2,4	2,8
	11	4,2	4,1	6,9	6,0
	13	8,8	10,4	7,0	10,0
	15	10,6	10,0	9,5	9,2
	17	9,2	9,0	9,0	9,0

Результаты измерений скорости ветра показали, что скорость ветра уменьшается при приближении к зданию.

Проведенные наблюдения показали, что приборы для измерения температуры и скорости ветра можно устанавливать на одном кронштейне на расстоянии 1,5—2,0 м от стены. Выносной кронштейн длиной 1,5 м с приборами крепился на ограждении лоджии на уровне обследуемого помещения, что позволило уменьшить воздействие стены на измерения внутри лоджии и исключить влияние характера ограждения (окно, форточка, стена). Направление ветра измерялось с помощью флюгарки, укрепленной на крыше здания.

На крыше здания Ленэнерго проводились измерения температуры наружного воздуха термомпарой, помещенной в малогабаритную метеобудку, и скорости ветра анеморумбометром М-47, установленными на высоте 1,5 м над крышей. При этом избежать влияния крыши на показания приборов полностью не удалось (см. табл. 3). Однако необходимо отметить, что тепловое влияние крыши здания Ленэнерго на показания приборов достаточно велико в связи с верхней разводкой горячих трубопроводов.

Вышеизложенные правила организации метеорологических наблюдений учитывались и при установке датчиков в системе цент-

Таблица 3

Величина температуры наружного воздуха  $T$  и скорости ветра  $v$  на крыше здания Ленэнерго и на метеорологической станции Ленинград. 1970 г.

Дата	Время, часы	T°С		v м/сек.	
		на метеостанции	на крыше здания Ленэнерго	на метеостанции	на крыше здания Ленэнерго
30 III	10	-0,8	-1,0	2	0,5-1
	12	-0,4	-1,0	2-3	1,5
	14	0,0	-1,0	3-4	0
	16	-1,0	-1,0	3	0
	18	-0,3	-1,0	3	0
	20	-1,2	-1,5	3	2
	22	-2,4	-2,0	3	2
	24	-2,4	-1,5	2-3	2
31 III	2	-3,5	-2,5	4,0	2-4
	4	-4,7	-3,7	4-5	2-4
	6	-4,5	-3,5	4-5	3
	8	-4,7	-3,8	4-5	5
	10	-3,2	-3,5	5	4
	12	-2,5	-2,7	5	3
	14	-2,5	-1,8	4-7	4
	16	-2,4	-1,8	4-7	4
	18	-3,0	-2,2	7-9	4
	20	-9,0	-3,0	2-3	2
	22	-5,4	-3,5	2-3	2
	24	-4,5	-3,4	2-3	2

рального и местного автоматического регулирования отопления зданий.

Измерения суммарной и отраженной от земной поверхности солнечной радиации, поступающей на стены здания, производились с помощью пиранометра Янишевского и альбедометра (походного) Янишевского — Былова. При измерении радиации приборы присоединялись к стрелочному гальванометру ГСА-1.

Приемная поверхность измеряющих приборов устанавливалась параллельно плоскости стены на деревянном переплете оконного проема (рис. 2). Высота установки пиранометра соответствовала измерениям температуры наружного воздуха и скорости ветра.

Солнечную радиацию, поступающую на стены здания, можно оценить также по данным измерений ее на горизонтальной площадке по методу рекомендованному в работе [4].

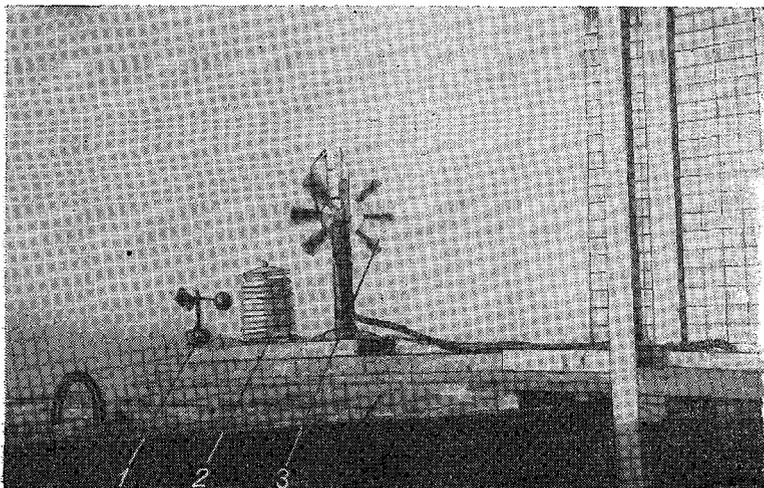


Рис. 1. Кронштейн с метеорологическими приборами (Ленинград, Наличная, 34).

1 — анемометр контрольный, 2 — метеобудка, 3 — анеморумбометр М-47.

Для измерения солнечной радиации, попадающей в помещение через остекленные окна, устанавливалась вторая пара приборов — пиранометр с гальванометром — параллельно оконному стеклу на специальной подставке на уровне его середины. Пиранометр внутри помещения находился в непосредственной близости

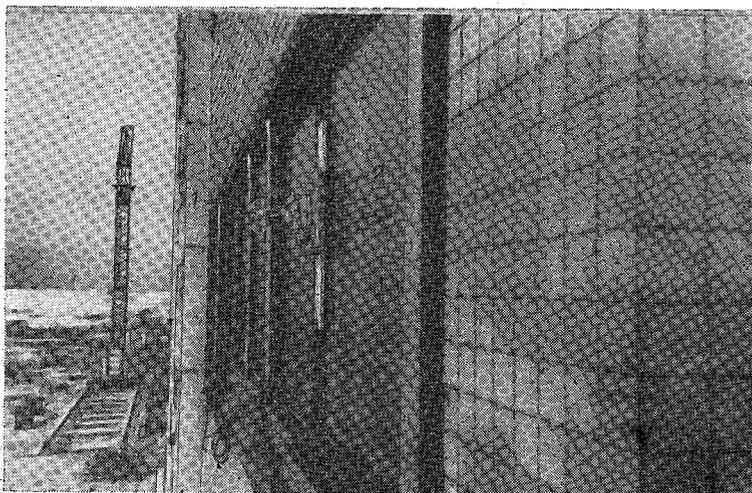


Рис. 2. Установка пиранометра (Ленинград, Наличная, 34, кв. 84)

1 — пиранометр, 2 — деревянная плита.

к стеклу, чтобы избежать влияния отражения солнечной радиации от ограждений. Одновременные измерения солнечной радиации, поступающей на поверхность стены и прошедшей через окно, позволили определить суммарный коэффициент пропускания солнечной радиации оконными стеклами.

Измерения солнечной радиации производились в сроки наблюдений за температурой наружного воздуха и скоростью ветра.

Альbedo поверхности асфальта и земли и альbedo стен здания наблюдались эпизодически в различные дни и часы дня. При этом альbedo измерялось в двух положениях приемной поверхности альбедометра, повернутой к стене и от стены, а при измерении горизонтальных поверхностей — вверх и вниз. Величина альbedo определялась как отношение отраженной суммарной радиации к падающей.

При наблюдении за солнечной радиацией регистрировались визуально состояние солнца и облачность.

Для определения эффективного излучения земной поверхности и стен здания измерялась температура почвы. Методика расчета эффективного излучения изложена в работе [2].

Примеры результатов наблюдений за солнечной радиацией, падающей на стены зданий, радиацией, проникающей в помещение через остекленное окно (коэффициент пропускания, определенный как отношение радиации, проникающей в помещение, к падающей) и альbedo стены и поверхностей вблизи здания приведены в табл. 1.

Необходимо отметить, что установка симметричных постов наблюдения за температурой наружного воздуха, скоростью ветра, солнечной радиацией на противоположных фасадах здания значительно облегчает оценку влияния метеорологических факторов на тепловой режим здания.

### 3. Пример расчета теплового баланса обследуемого помещения

Для определения влияния метеорологических факторов на тепловой режим производился расчет теплового баланса помещения (Ленинград, Наличная, 34, кв. 84), все составляющие которого определялись экспериментальным путем.

Обследуемое помещение расположено на пятом этаже девятиэтажного дома серии БС-9-2а, во второй секции, в однокомнатной незаселенной квартире (западная ориентация).

Площадь комнаты (пола)  $17,05 \text{ м}^2$ ; площадь окна  $2,49 \text{ м}^2$ ; площадь imposta  $1,09 \text{ м}^2$ ; площадь керамзитобетонных стен толщиной  $0,3 \text{ м}$  —  $4,89 \text{ м}^2$  и толщиной  $0,5 \text{ м}$  —  $1,05 \text{ м}^2$ ; высота комнаты  $2,6 \text{ м}$ .

Температурные датчики были установлены на отопительных элементах, по обеим сторонам всех ограждений, перегородок, перекрытий, а также на расстоянии  $10 \text{ см}$  от них (рис. 3); всего около 40 точек.

Измерение всех параметров, входящих в уравнение теплового баланса, кроме метеорологических, производилось в соответствии с МРТУ 20-8-66. Метеорологические датчики в количестве 6 штук были установлены по обе стороны обследуемого помещения (на западном и восточном фасадах) в лоджиях на пятом этаже на выносных кронштейнах длиной 1,5 м (см. рис. 3).

Температуру наружного воздуха измеряли хромель-копелевой термопарой, установленной в малогабаритной метеобудке; скорость ветра — электроконтактным анемометром со счетчиком; направление и скорость ветра — анеморумбометром М-47; суммарную солнечную радиацию — пиранометром ПХК-3.

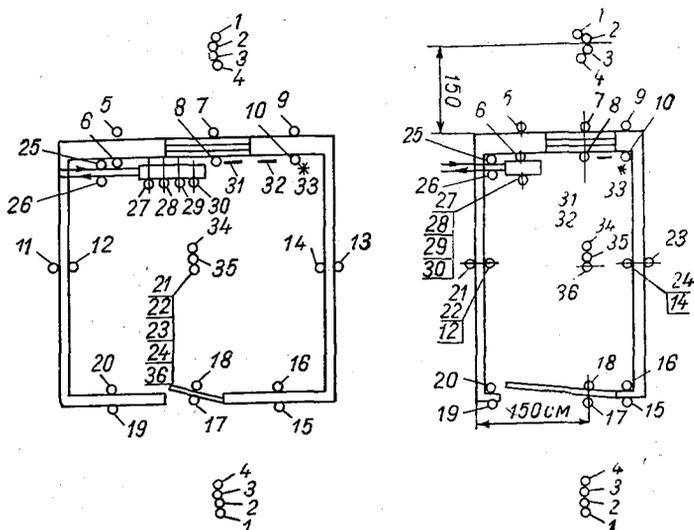


Рис. 3. Размещение приборов для измерения метеорологических и других характеристик внутри помещения.

1, 34 — приборы для измерения температуры воздуха; 2 — скорости движения воздуха; 3 — суммарной солнечной радиации, проникающей через остекленное окно; 4 — направления ветра; 5 — суммарной солнечной радиации поступающей на наружную стену; 6, 10 — температуры внутренней поверхности наружной стены; 7, 8, 9 — температуры поверхности окна; 11—16, 19, 20 — температуры поверхностей внутренних перегородок; 17, 18, 21—30 — температуры поверхностей двери, пола, потолка, батарей; 31—32 — теплопотери на поверхности окна и стены; 33 — влажности воздуха.

Приемная часть пиранометра для измерения суммарной солнечной радиации, падающей в окно, устанавливалась вертикально на наружной части рамы, в центре окна; с внутренней стороны рамы вертикально устанавливалась приемная часть другого пиранометра, что давало возможность измерить количество солнечной радиации, проникающей непосредственно в здание.

Измерения производились двумя наблюдателями через один час, что дало возможность рассчитывать тепловой баланс помещения также через один час. Расчеты теплового баланса производи-

Таблица 4

**Составляющие теплового баланса помещения (ккал.)  
и значения метеорологических факторов**

Параметр	4 IV, 7 час.	4 IV, 24 часа
Теплопотери через:		
окно . . . . .	-92,3	-126,5
дверь . . . . .	-7,3	-15,4
стену толщиной 0,3 м . . . . .	-79,2	-66,7
стену толщиной 0,5 м . . . . .	-134,5	-111,1
Теплопотери или теплопоступления через:		
перегородку 1 . . . . .	10,4	15,6
перегородку 2 . . . . .	3,2	-3,2
перегородку 3 . . . . .	0	15,0
стенной шкаф . . . . .	-12,0	-11,7
потолок . . . . .	-58,0	44,5
пол . . . . .	0	0
Теплопоступления от:		
изоляции . . . . .	109,8	0
батареи . . . . .	435,0	435,0
вертикальной части прямого стояка . . . . .	160,0	154,0
горизонтальной части прямого стояка . . . . .	173,2	69,0
обратного стояка . . . . .	122,3	114,8
Общие теплопоступления . . . . .	790,0	773,0
Общие теплопотери . . . . .	-383,3	-422,4
Теплопотери за счет инфильтрации . . . . .	-407,0	-351,0
Температура наружного воздуха, °С . . . . .	-1,3	-3,8
Скорость ветра, м/сек. . . . .	5,0	0,2
Направление ветра, румбы . . . . .	3	ЮЗ
Температура воздуха в комнате, °С . . . . .	13,6	12,8

лись по методу, изложенному в работе [3]. Пример расчета приведен в табл. 4.

Необходимо отметить, что вследствие того что во время эксперимента дом не был заселен и не получал расчетного количества тепла, температура воздуха и перекрытий, перегородок, ограждений была ниже нормы, а результаты расчета не характеризуют нормальный режим эксплуатации здания.

Для определения теплового режима отдельного здания по данным метеорологических наблюдений с учетом его теплофизических характеристик рекомендуется расчетный метод, изложенный в работе [1].

В заключение можно сделать следующие выводы.

В зависимости от цели исследования метеорологические приборы для измерения температуры наружного воздуха и скорости ветра следует устанавливать на расстоянии 1,5—2,0 м от ограждения балкона или лоджии на уровне обследуемого помещения и на высоте 2,0 м над крышей здания.

Пиранометр для измерения суммарной солнечной радиации в зависимости от цели исследования следует устанавливать в центральной части окна обследуемого помещения или на высоте 2,0 м над крышей здания.

Измерения следует производить в метеорологические и актинометрические сроки наблюдений.

Выбор приборов, запись и обработка наблюдений за метеорологическими элементами должны производиться в соответствии с «Наставлениями гидрометеорологическим станциям и постам», вып. 1, 3 и «Руководством гидрометеорологическим станциям по актинометрическим наблюдениям».

Установка метеорологических и актинометрических приборов в системах центрального и местного автоматического регулирования отопления зданий должна производиться в соответствии с правилами установки метеорологических и актинометрических приборов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Анапольская Л. Е., Гандин Л. С. Тепловой режим зданий в различных климатических условиях.— Труды ГГО, 1969, вып. 250.
2. Циценко Г. В. Об оценке эффективного излучения стен здания.— Труды ГГО, 1969, вып. 250.
3. Чистович С. А. Автоматизация установок и систем теплоснабжения и отопления. Стройиздат, 1964.
4. Пивоварова З. И. Оценка суммарного прихода коротковолновой радиации на стены зданий.— Труды ГГО, 1967, вып. 209.

## СОДЕРЖАНИЕ

Л. С. Гандин. О расчете длительности отопительного периода и норм отопления в различных климатических условиях . . . . .	3
Л. С. Гандин. К вопросу о расчете норм теплопотерь по осредненным данным . . . . .	17
Л. Е. Анапольская. Климатические особенности распределения максимальной теплоотдачи зданий . . . . .	24
Л. Е. Анапольская. Оценка дефицита тепла в различных климатических условиях . . . . .	36
Л. Е. Анапольская. Климатическое районирование территории СССР по тепловому режиму зданий . . . . .	57
Д. Г. Мандель. О возможной экономии затрат на отопление при корректном учете влияния различных метеорологических факторов на тепловой режим зданий . . . . .	65
В. Г. Драчнёв, Д. М. Сорочкина. Учет климатических факторов при центральном и местном регулировании расхода тепла на отопление жилых зданий . . . . .	73
Е. В. Беляев, Г. В. Циценко, Д. М. Сорочкина, Н. Н. Шилов. Методика экспериментальной оценки влияния метеорологических факторов на тепловой режим здания . . . . .	90

Труды ГГО, вып. 285

### Влияние метеорологических факторов на тепловой режим зданий

Под редакцией Л. С. Гандина и Л. Е. Анапольской

Редактор *Е. И. Ильиних*. Техн. редактор *М. И. Брайнина*. Корректор *З. Т. Тимченко*

Сдано в набор 7/IV 1971 г. Подписано к печати 3/XII 1971 г. Бумага тип. № 1 60×90<sup>1/16</sup>. Бум. л. 3,25. Печ. л. 6,5. Уч.-изд. л. 6,87. Тираж 830 экз. М-25507. Индекс МЛ-47. Гидрометеорологическое издательство. Ленинград, В-53, 2-я линия, д. 23. Заказ 742. Цена 48 коп.

Сортавальская книжная типография Управления по печати при Совете Министров КАССР. Сортавала, Карельская, 42.

**О расчете длительности отопительного периода и норм отопления в различных климатических условиях.** Г ан д и н Л. С. Труды ГГО, 1971, вып. 285, стр. 3—16.

Изложена методика климатологических расчетов продолжительности отопительного периода и средних теплопотерь зданий с учетом влияния трех механизмов теплообмена — кондуктивного, инфильтрационного и лучистого — и соответственно трех метеорологических элементов — температуры, ветра и радиации. Методика базируется на расчете так называемых дефицитов тепла — величин, имеющих размерности температуры, пропорциональных вкладу каждого из перечисленных механизмов в суммарные теплопотери здания.

Выполнены расчеты дефицитов тепла для ряда пунктов, расположенных в различных климатических зонах СССР. Расчеты показали, что учет влияния радиации позволяет в большинстве районов существенно снизить требования к работе систем отопления. Исключение составляет район Крайнего Севера, где полезные влияния радиации и вредное влияние ветра примерно одинаковы. Однако и в таких случаях режим отопления должен существенно отличаться от рекомендуемого в настоящее время за счет увеличения затрат тепла зимой и уменьшения затрат тепла в переходные сезоны.

Уменьшение теплопотерь благодаря влиянию радиации выражено сильнее весной, чем осенью, вследствие меньшего влияния облачности. Зимой влиянием радиации можно пренебречь, за исключением южных районов СССР.

Табл. 4. Библ. 6.

**К вопросу о расчете норм теплопотерь по осредненным данным.** Г ан д и н Л. С. Труды ГГО, 1971, вып. 285, стр. 17—23.

Выведено выражение для оценки ошибки при расчете среднего значения некоторой функции, возникающей вследствие подстановки в формулу для этой функции средних значений аргументов. Формула использована для оценки ошибок указанного типа при вычислении норм теплопотерь зданий по осредненным значениям температуры наружного воздуха, скорости ветра и радиации. Показано, что в данном случае ошибки весьма невелики. Аналогичный подход предложен также для оценки влияния изменчивости метеорологических параметров и связей между ними на изменчивость некоторой функции от них. Показано, что оценки по предложенным формулам дают результаты, весьма близкие к данным непосредственного расчета.

Илл. 1. Библ. 1.