

ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ
ПРИ СОВЕТЕ МИНИСТРОВ СССР

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

ТРУДЫ

ВЫПУСК 337

И
С
С
Л
О
В
О

ВЛИЯНИЕ
МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ
НА ТЕПЛОВОЙ РЕЖИМ ЗДАНИЙ

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



ГИДРОМЕТЕОИЗДАТ
ЛЕНИНГРАД • 1974



Сборник содержит изложение докладов, прочитанных на IV рабочем совещании по проблеме «Влияние метеорологических факторов на тепловой режим зданий» (18—19 апреля 1972 г., Ленинград).

Несколько статей обобщает опыт обслуживания теплосети Ленинграда метеорологическими данными, позволяющими более экономно и обоснованно расходовать топливо, а также служит проверкой некоторых теоретических выводов.

В статье «Климатическая изменчивость месячных теплопотерь зданий и нормы отопления» изложены основные положения рекомендаций, представленных ГГО для использования в практике планирования расходов топлива. В работе «Об использовании климатологической информации при принятии хозяйственных решений» рассматривается вопрос о выборе экономически оптимальных решений хозяйственных задач по климатическим данным. Статья «О метеорологических условиях, определяющих длительность атмосферной коррозии» содержит новые климатологические данные, рекомендуемые для соответствующих расчетов.

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

Л. Е. АНАПОЛЬСКАЯ, Л. С. ГАНДИН, Д. Г. МАНДЕЛЬ

КЛИМАТИЧЕСКАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ МЕСЯЧНЫХ ТЕПЛОПТЕРЬ ЗДАНИЙ И НОРМЫ ОТОПЛЕНИЯ

Планирование расходов топлива на отопление зданий требует учета влияния метеорологических факторов на теплотери как среднем за год, так и в отдельные месяцы отопительного периода.

Как известно, метеорологические условия значительно меняются от года к году, и поэтому наиболее правильным было бы планирование расходов топлива на основании долгосрочных прогнозов погоды на отопительный период. Известно также, что прогнозы погоды на длительное время оправдываются сравнительно редко и использование их может привести к значительным ошибкам в определении необходимых запасов топлива. Поэтому расчеты целесообразно производить по климатическим данным, осредненным за длительное время.

В ряде работ [1—3] высказаны соображения и приведены соответствующие данные о механизме воздействия метеорологических факторов на тепловой режим зданий. В этих исследованиях было введено понятие дефицита тепла (в градусах Цельсия), характеризующего совместное влияние температуры воздуха, скорости ветра и лучистых потоков на теплотери зданий. Были проанализированы также особенности распределения средних за год дефицитов тепла в различных климатических условиях [3].

Годовой ход теплотерь, обусловленный взаимодействием всех трех факторов (температуры воздуха, скорости ветра и лучистых потоков), весьма велик, и поэтому представляет большой интерес рассмотрение дефицита тепла за каждый месяц отдельно, а также и изменчивости этой величины от года к году.

Распределение средних дефицитов тепла по территории СССР в различные месяцы

Рассмотрение дефицита тепла целесообразно выполнить для отдельных месяцев отопительного периода, который на территории СССР в основном длится с сентября по апрель.

Сентябрь является первым осенним месяцем, когда дефицит тепла становится положительным. Примерно вдоль 50° с. ш. в Европейской территории СССР (ЕТС), в Западной Сибири и на всей территории Восточной Сибири дефицит тепла принимает значения от 5 до 20°C .

Южная часть ЕТС, почти весь Казахстан и Дальний Восток получают еще достаточно тепла, и величина дефицита тепла отрицательна и колеблется от -3 до -20°C .

В октябре почти на всей территории Советского Союза дефицит тепла становится положительным. На ЕТС наиболее холодной является северо-восточная часть, где дефицит тепла достигает 20°C , в центральной части его значения колеблются в пределах $10-15^{\circ}\text{C}$. На Азиатской территории СССР величина дефицита тепла меняется от 15°C в южной части Западной Сибири и в районе Байкала до 30°C на северном побережье (рис. 1). Для сравнения укажем, что такая величина дефицита тепла ($25-30^{\circ}\text{C}$ в центральной части ЕТС) будет лишь в декабре.

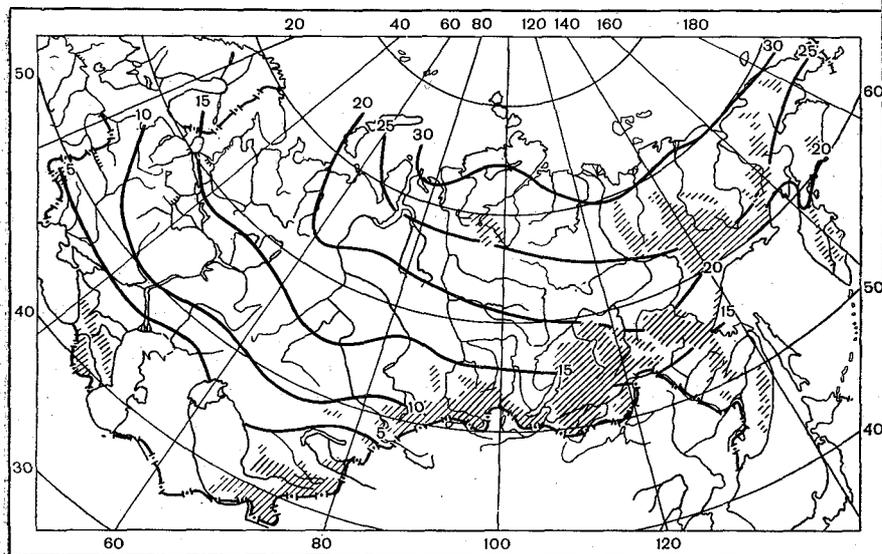


Рис. 1. Распределение месячных норм дефицита тепла ($^{\circ}\text{C}$). Октябрь.

Для ноября характерно формирование обширной области больших значений дефицита тепла (от 30 до 50°C и более). По мере стационарирования сибирского антициклона и установления зимнего режима погоды зона больших значений дефицита тепла распространяется на всю Азиатскую территорию СССР и на северо-восточную и центральную области ЕТС.

Значительное увеличение дефицита тепла в декабре наблюдается на юге Западной Сибири и севере Казахстана, где продвижение на запад отрога сибирского антициклона обуславливает, одной стороны, понижение температуры (и рост дефицита тепла), с другой — усиление ветра на периферии антициклона и как следствие также рост дефицита тепла, только уже за счет влияния ветра.

На ЕТС в период декабрь — февраль дефицит тепла меняется от 25 до 30°C; наиболее значительные его величины наблюдаются в северо-восточной части (до 40—45°C). Следует также отметить достаточно большие значения дефицита тепла в юго-восточной части ЕТС, формирующиеся в этих районах под влиянием низких температур и сильных ветров зимой. Обращает на себя внимание также значительный градиент дефицита тепла на юге Казахстана, обусловленный быстрым ростом температуры и уменьшением скоростей ветра (рис. 2).

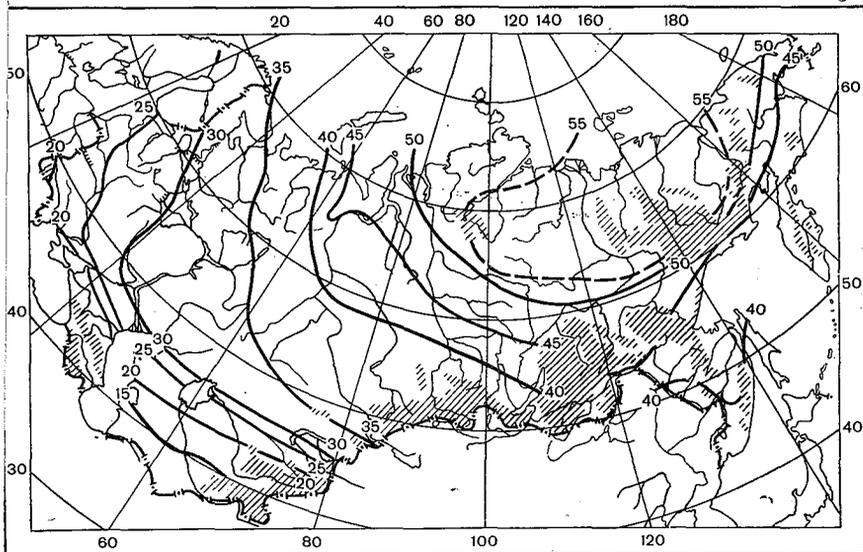


Рис. 2. Распределение месячных норм дефицита тепла (°C). Январь.

На величине дефицита тепла в марте сказывается как рост температуры, так и влияние лучистых потоков, величина которых в приведенных данных принята равной половине действительно приходящей суммы. Такое уменьшение величины лучистых потоков принято в предположении экранирующего влияния городской застройки.

В марте (рис. 3) область очень больших значений дефицита тепла (до 45—50°C) располагается на северном побережье Азиатской части СССР. Дефицит тепла 25° и более возможен в север-

ных районах ЕТС, почти во всей Западной Сибири, где так же как в ноябре — декабре, располагается область высоких значений дефицита тепла вдоль Урала, и на всей территории Восточной Сибири и северо-востока Советского Союза.

На большей части Казахстана дефицит тепла еще велик и, несмотря на значительный прогрев, теплопотери зданий весьма существенны. В южных районах страны наступает период отрицательного дефицита тепла и временного протапливания. В апреле на ЕТС дефицит тепла мал (до 10—15°C) и лишь на крайнем северо-востоке он достигает 18—20°C. Большие значения дефицита тепла (25—30°C) сохраняются на северном побережье Азиатской части СССР.

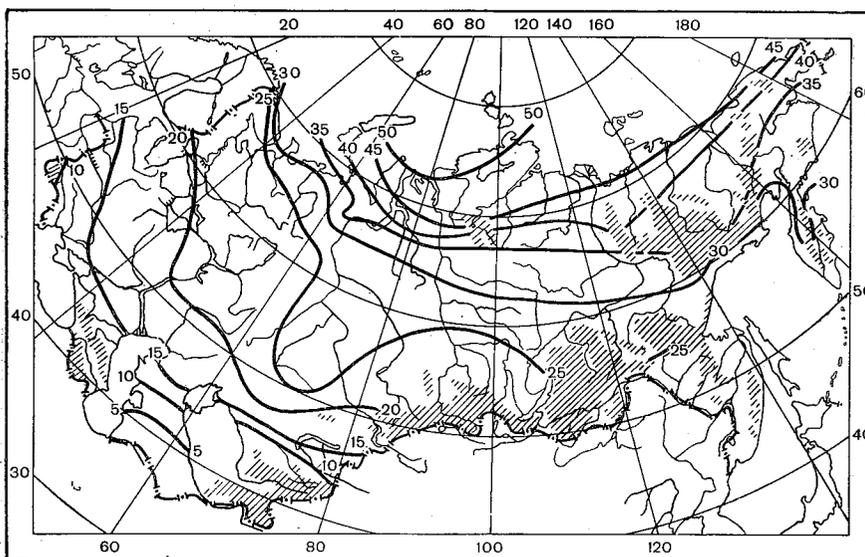


Рис. 3. Распределение месячных норм дефицита тепла (°С). Март.

В табл. 1 приведены значения дефицита тепла в отдельные месяцы для ряда пунктов, расположенных в различных районах Советского Союза. Из данных таблицы видно, что в центральные зимние месяцы (декабрь — февраль) на всей территории СССР величины дефицита тепла достигают 30—40°C, в Якутии 50—60°C а в районах, характеризующихся холодной и очень ветреной зимой, 45—50°C (Воркута, Норильск).

Высокие значения дефицита тепла в северных и восточных районах страны наблюдаются в период с ноября по март, а рост дефицита осенью (октябрь — ноябрь) и падение его весной (март — апрель) почти повсеместно характеризуются изменением величин в 1,5—2 раза.

Таблица 1

Дефицит тепла (°С) в отдельные месяцы

Пункт	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV
Дурманск	8,8	18,1	25,0	30,3	32,5	31,0	23,5	14,1
Юркута	11,8	24,4	36,2	43,2	45,3	43,1	35,4	20,4
Ленинград	2,6	12,2	18,8	24,2	26,7	25,3	17,5	8,2
Москва	2,3	12,2	20,4	26,7	22,1	27,1	18,1	7,8
Суйбйшев	1,1	11,9	22,3	30,8	33,5	31,2	21,2	5,3
Киев	-2,3	7,0	16,2	21,3	23,1	21,6	14,2	3,8
Волгоград	-5,8	7,0	19,3	28,3	30,9	30,2	19,2	3,1
Сургут	6,8	18,8	32,1	40,2	41,8	37,0	26,2	12,0
Целиноград	0,1	13,4	27,2	35,7	37,9	34,7	26,3	9,6
Торнльск	11,6	29,4	45,8	51,4	54,5	49,7	45,6	26,7
Новосибирск	1,9	14,8	28,0	36,6	37,4	33,4	23,0	11,5
Иркутск	4,2	13,4	27,3	35,8	37,6	33,4	22,2	9,5
Нита	3,0	13,8	29,7	39,8	42,1	35,2	21,6	9,3
Икутск	6,7	23,9	45,9	58,0	61,1	51,7	32,8	15,5
Магадан	6,7	19,6	32,0	39,0	40,8	37,3	26,0	12,4
Хабаровск	-2,6	9,7	26,8	38,4	40,5	32,7	21,0	8,4
Владивосток	-4,8	4,7	19,3	30,8	35,7	29,1	17,9	8,5

Средняя квадратическая изменчивость средних месячных дефицитов тепла

Кратковременные изменения погоды (вплоть до нескольких дней) практически не сказываются на расходах топлива как вследствие термической инерции ограждения, так и потому, что с такими колебаниями расходов можно справиться, маневрируя имеющимися запасами. Практическое значение имеют изменения погодных условий, осредненных за время от декады до месяца. Ввиду того что долгосрочные прогнозы погоды формулируются для месяца, приводимые в настоящей работе отклонения дефицита тепла даны также для месяцев. Отклонения от многолетней средней величины для данного месяца, как указывалось выше, определялись за конкретный месяц конкретного года. Изменчивость, понимаемую в этом смысле, будем называть межгодовой изменчивостью.

Климатологическую изменчивость, в частности межгодовую изменчивость дефицита тепла, можно охарактеризовать средним квадратическим отклонением σ . Принимая, что статистическое распределение дефицита тепла с достаточной степенью точности

подчиняется нормальному закону, и зная σ , можно определить вероятность отклонений дефицита тепла от нормы на любое заданное значение. Пусть P есть вероятность того, что величина дефицита тепла будет отклоняться от нормы более чем на $n\sigma$. Тогда можно воспользоваться следующими данными:

n	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8
P %	50	42	34	27	21	16	12	8	4,5	3,6

Например, вероятность того, что дефицит тепла превышает норму больше чем на $1,4\sigma$, равна 8%. Такова же вероятность отклонения дефицита от нормы и в сторону уменьшения.

Ввиду того что не имеется погодичных данных о дефиците тепла за длительный ряд лет, его межгодовая изменчивость оценивалась косвенным путем, по данным об изменчивости тех метеорологических элементов, от которых он зависит. При этом вклад изменчивости лучистых потоков тепла не учитывался, так как роль последних в зимнее время весьма мала. Межгодовая изменчивость средних месячных скоростей ветра была оценена для не большого числа пунктов, однако влияние ее на изменчивость дефицита тепла невелико, и этими величинами также можно пренебречь. Поэтому изменчивость дефицита тепла оценивалась при учете средней скорости ветра по изменчивости температуры воздуха, сведения о которой были предоставлены авторам Н. В. Смирновой. Контрольные расчеты, выполненные для ряда пунктов, показали, что результаты косвенных оценок при указанных ограничениях близки к действительным.

Для каждого исследуемого месяца по данным об изменчивости средней месячной температуры воздуха и о средней скорости ветра были вычислены σ для дефицита тепла.

На рис. 4—6 приведено распределение значений σ для нескольких месяцев года.

В сентябре σ невелико и составляет $1,5—2^\circ\text{C}$ на всей территории СССР, за исключением Дальнего Востока, где эти величины колеблются в пределах $0,9—1,3^\circ\text{C}$. В октябре на севере Азиатской территории Советского Союза изменчивость возрастает до $3—3,5^\circ\text{C}$, а на севере Западной Сибири и на Среднесибирском плоскогорье — до $4—4,5^\circ\text{C}$. Наименьшая изменчивость сохраняется на Дальнем Востоке, где величина σ остается в пределах $1,5—2^\circ\text{C}$.

В декабре значительная изменчивость величин дефицита тепла наблюдается в северных и восточных районах страны; особенно велика она на севере Западной Сибири и в междуречье Енисея и Лены.

Центральные районы Якутии во все зимние месяцы характеризуются небольшими значениями σ , что свидетельствует о достаточно устойчивом характере температурно-ветрового режима этой области.

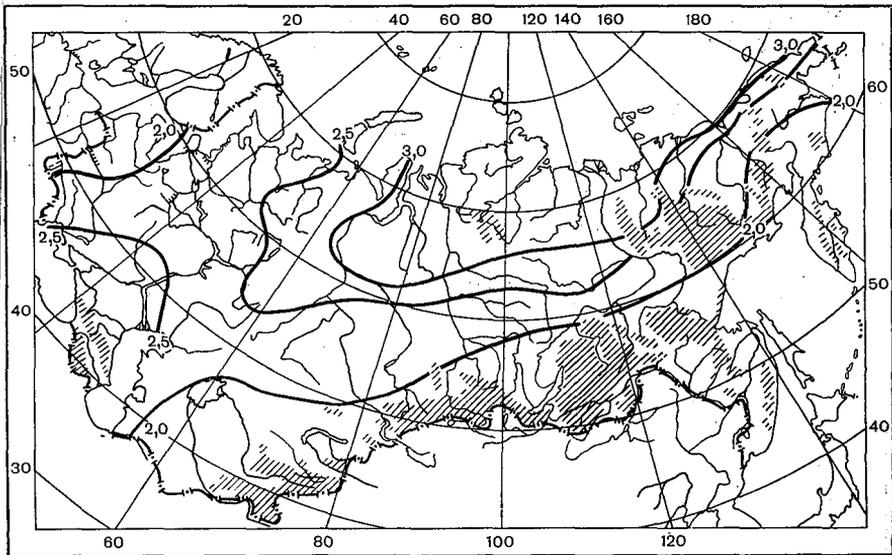


Рис. 4. Распределение средней квадратической межгодовой изменчивости месячных значений дефицита тепла. Октябрь.

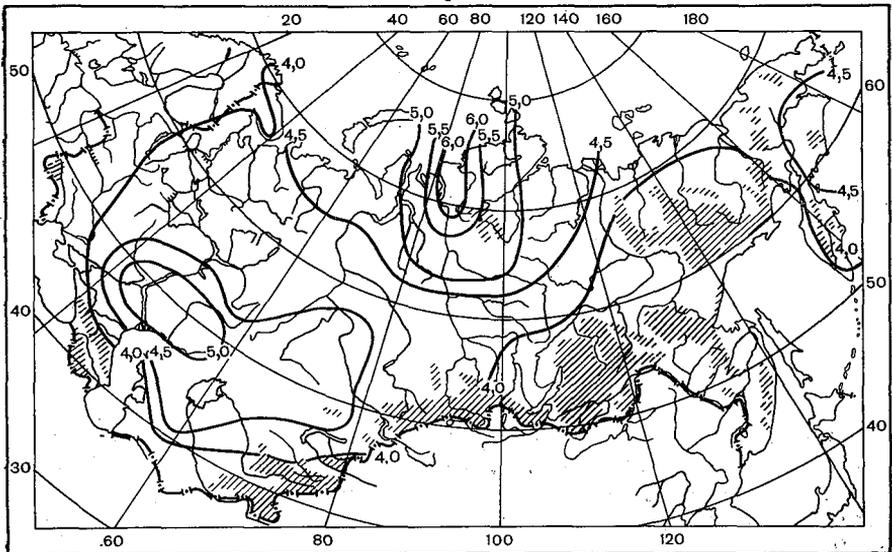


Рис. 5. Распределение средней квадратической межгодовой изменчивости месячных значений дефицита тепла. Февраль.

В январе несколько возрастает величина σ на Европейской территории СССР и значения σ , равные 4°C и выше, преобладают на всей территории Союза. Для февраля характерно наличие двух областей высоких значений σ : одна на севере Западной Сибири (до $5,5\text{--}6^{\circ}\text{C}$), вторая с юго-восточной части ЕТС. Следует отметить, что в феврале вообще наблюдается довольно большая изменчивость дефицита тепла почти на всей территории СССР, за исключением Забайкалья, Центральной Якутии и Дальнего Востока.

В марте изменчивость дефицита тепла колеблется в пределах $3\text{--}3,5^{\circ}\text{C}$ на большей части СССР и лишь на северном побережье она возрастает до $4\text{--}4,5^{\circ}\text{C}$.

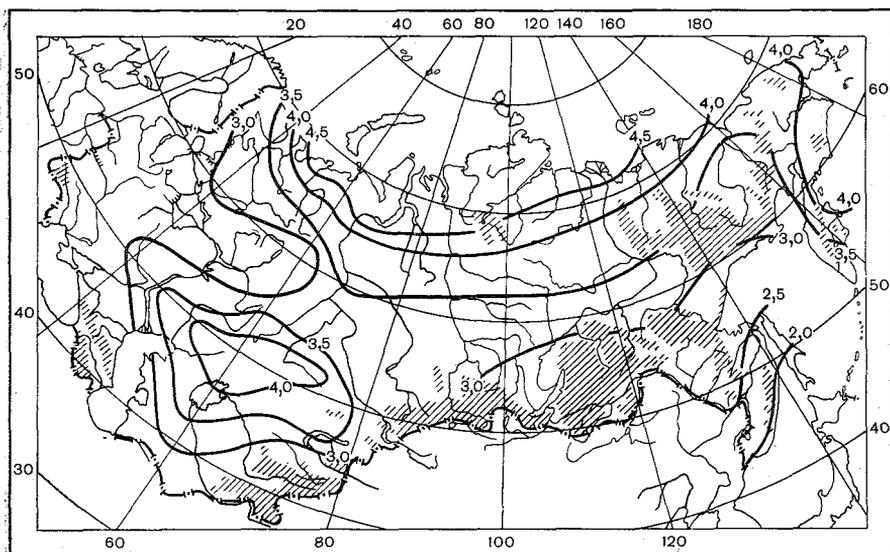


Рис. 6. Распределение средней квадратической межгодовой изменчивости месячных значений дефицита тепла. Март.

В апреле изменчивость дефицита тепла остается значительной в северо-восточной части ЕТС и в Западной Сибири (до $3,5\text{--}4^{\circ}\text{C}$), в южных районах страны и на Дальнем Востоке величина σ составляет $1\text{--}2^{\circ}\text{C}$, на остальной территории Союза она равна $2\text{--}2,5^{\circ}\text{C}$.

Анализ значений σ показал, что в Западной Сибири, на большей части ЕТС и в Казахстане изменчивость дефицита тепла достаточно велика, и это обстоятельство следует учитывать при планировании расходов топлива в этих районах.

Относительная изменчивость дефицита тепла

Значительный интерес представляет оценка изменчивости дефицита тепла по отношению к самому значению дефицита. На рис. 7—9 приведено распределение относительной изменчивости дефицита тепла (в процентах) для нескольких месяцев года, а в табл. 2 — для ряда пунктов СССР. Анализ этих данных показывает, что во все месяцы с октября по март изменчивость дефицита тепла во многих районах достигает 10—15% средней месячной величины дефицита. На ЕТС, в Западной Сибири и Казахстане изменчивость дефицита тепла в любой из зимних месяцев колеблется в пределах 10—15%. В южных районах страны, где сама величина дефицита невелика, относительная изменчивость достигает 18—20%.

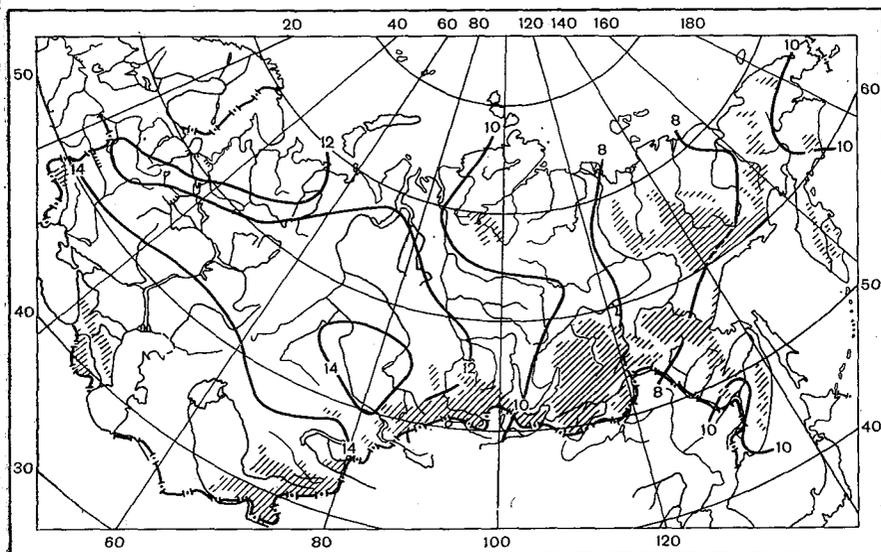


Рис. 7. Распределение относительной изменчивости среднего месячного дефицита тепла (%). Ноябрь.

В районах, характеризующихся более устойчивой зимней погодой, например в Восточной Сибири и Забайкалье, а также в январе—феврале на Дальнем Востоке изменчивость составляет 4—9%, в Якутии 4—7%. Следует, однако, иметь в виду, что в Восточной Сибири, Забайкалье, Центральном Казахстане и на юге Западной Сибири небольшая относительная изменчивость наблюдается при значительной величине самого дефицита тепла и значимость каждого процента весьма существенна. Это тем более относится к северным районам, где большая изменчивость наблюдается при больших значениях дефицита тепла.

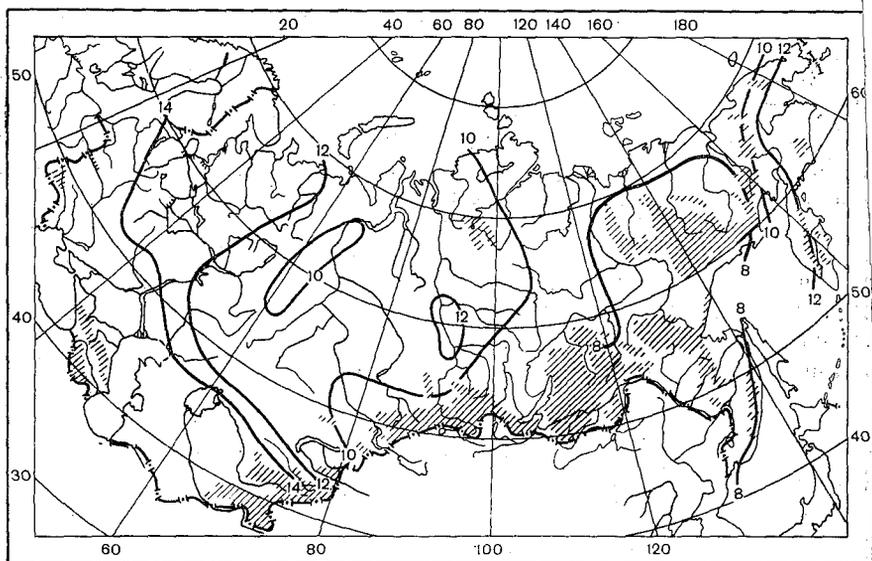


Рис. 8. Распределение относительной изменчивости среднего месячного дефицита тепла (%). Январь.

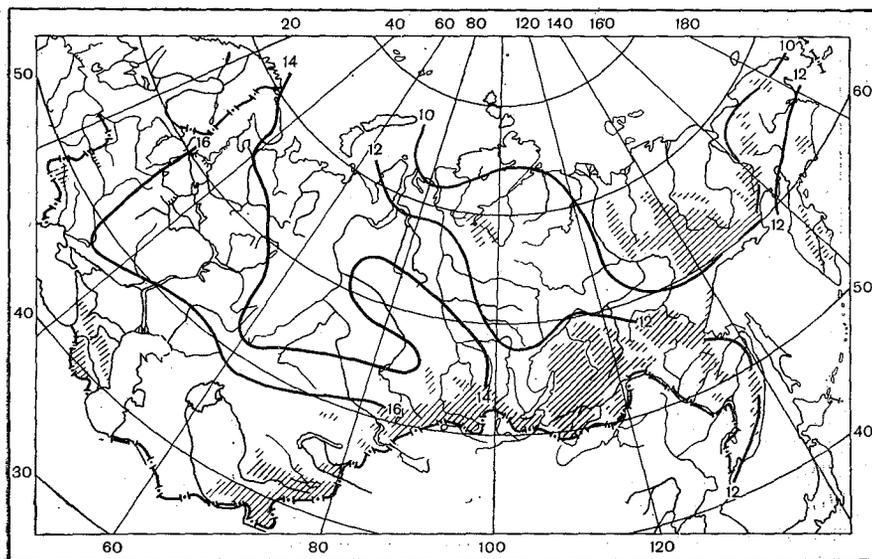


Рис. 9. Распределение относительной изменчивости среднего месячного дефицита тепла (%). Март.

Несколько по-особому следует рассматривать изменчивость южных районах страны и весной. Например, в западных республиках и на Украине в марте дефицит тепла уже невелик, а изменчивость достигает 18—20%. Значимость каждого процента мала, как как мал сам дефицит тепла. На юге это особенно относится таким городам, как Сухуми, Тбилиси, Баку, Ереван, Ташкент, Шхабад. Для некоторых месяцев (октябрь и март) в этих городах изменчивость дефицита тепла не оценивалась, так как при преобла-

Таблица 2

Изменчивость (%) среднего месячного дефицита тепла

Пункт						Пункт					
	XI	XII	I	II	III		XI	XII	I	II	III
Аурманск	13	15	12	14	14	Норильск	10	13	11	12	13
Архангельск	13	15	12	13	14	Свердловск	13	11	10	11	14
Чоркута	10	11	11	11	14	Омск	15	10	10	13	12
Петрозаводск	12	15	13	15	14	Новосибирск	14	13	11	12	14
Сыктывкар	12	14	12	13	14	Целиноград	13	12	10	12	16
Ленинград	13	14	14	15	17	Гурьев	16	15	15	19	22
Рига	14	12	15	16	17	Иркутск	10	11	9	9	13
Москва	13	13	15	14	16	Чита	9	7	7	7	14
Айыск	12	13	14	16	19	Хабаровск	11	7	7	9	11
Курск	15	12	14	15	14	Владивосток	11	10	8	9	11
Снег	14	13	17	17	19	Петропавловск-Камчатский	10	10	13	14	16
Золгоград	17	15	16	18	17	Южно-Сахалинск	9	8	9	9	10
Куйбышев	15	12	11	16	15	Верхоянск	7	6	5	6	10
Уфа	12	12	12	13	14	Тура	10	9	9	11	11
Кишинев	19	23	18	19	23	Якутск	7	4	4	4	6
Одесса	23	15	17	17	16	Оймякон	7	4	5	6	9
Диксон	11	11	11	13	9	Магадан	14	9	8	8	12
Салехард	13	11	9	11	14						

дании положительных температур и незначительном дефиците тепла такая оценка не имеет смысла.

Представляется целесообразным несколько подробнее рассмотреть возможности практического использования данных об относительной межгодовой изменчивости дефицита тепла.

Теплопотери здания пропорциональны дефициту тепла, причем множитель пропорциональности (площадь поверхности ограждения, деленная на его среднее термическое сопротивление) не зависит от метеорологических условий. Поэтому относительно изменение дефицита тепла вследствие изменений погодных условий

равно обусловленному им относительному изменению теплопотерь зданий. Для жилых и общественных зданий внутренними тепловыделениями, не связанными с работой отопительной системы (тепло от приготовления пищи, тепловыделения человека), обычно можно пренебречь, и теплопотери должны компенсироваться работой отопительной системы. Количество тепла, выделяемое этой системой в здании, в свою очередь пропорционально массе затрачиваемого топлива, причем коэффициент пропорциональности не зависит от метеорологических условий: он равен произведению теплотворной способности топлива на КПД отопительной системы. Поэтому относительное изменение необходимых затрат топлива вследствие изменившихся метеорологических условий оказывается равным относительному изменению дефицита тепла и приведенные в табл. 2 данные могут быть использованы для расчета изменчивости потребностей в топливе. Для этого нужно, зная нормы затрат топлива, перейти от относительных величин к абсолютным путем умножения на эти нормы.

Термический режим зим последнего десятилетия и некоторые оценки изменчивости расходов топлива

Термический режим зим периода 1961—1971 гг.

Анализ дефицита тепла, проведенный по многолетним средним данным, и оценку средней относительной изменчивости дефицита полезно дополнить более подробным рассмотрением теплопотерь за последнее десятилетие. Необходимость такого анализа вызвана рядом причин. Во-первых, именно в этот период была введена в эксплуатацию огромная площадь новых жилых зданий и переведен на центральное отопление основной жилой фонд почти всех крупных городов СССР, во-вторых, в это десятилетие имела место одна из обширнейших аномалий температуры (зима 1969 г.), вызвавшая необходимость в огромной затрате дополнительного топлива. В-третьих, имеет смысл рассмотреть некоторые, хотя и предварительные оценки термического режима ближайших лет и попытаться оценить возможные колебания в потребностях топлива.

Большие отрицательные аномалии температуры воздуха — явление редкое. Можно указать на обширные аномалии, наблюдавшиеся в январе 1893 г., феврале 1929 г. и зимой 1968-69 г.

Вероятность средних месячных аномалий -12 , -14°C составляет 1—2 случая за 100 лет; наблюдались они за последние 80—90 лет чаще в феврале, чем в ноябре—январе, в Западной Сибири, Восточной Сибири, Казахстане и на северо-востоке СССР [4].

Отрицательные аномалии -6°C и более наблюдаются чаще; вероятность их в большинстве районов составляет 4—5% от общего числа лет (80—90), в Казахстане 7—8%, в центральной части Западной Сибири до 12—13%. В районах, расположенных севернее 60° с. ш., в последнее десятилетие участились случаи аномаль-

-холодных зим, а в большинстве районов СССР, расположенных южнее 60° с. ш., такой тенденции к систематическому похолоданию наблюдается.

По данным о температуре воздуха и скорости ветра были выслены значения дефицита тепла в отдельные годы для ряда пунктов СССР. Пример подобных расчетов приведен на рис. 10 в январе за период 1961—1971 гг. На каждом графике прямой горизонтальной линией показана норма дефицита тепла.

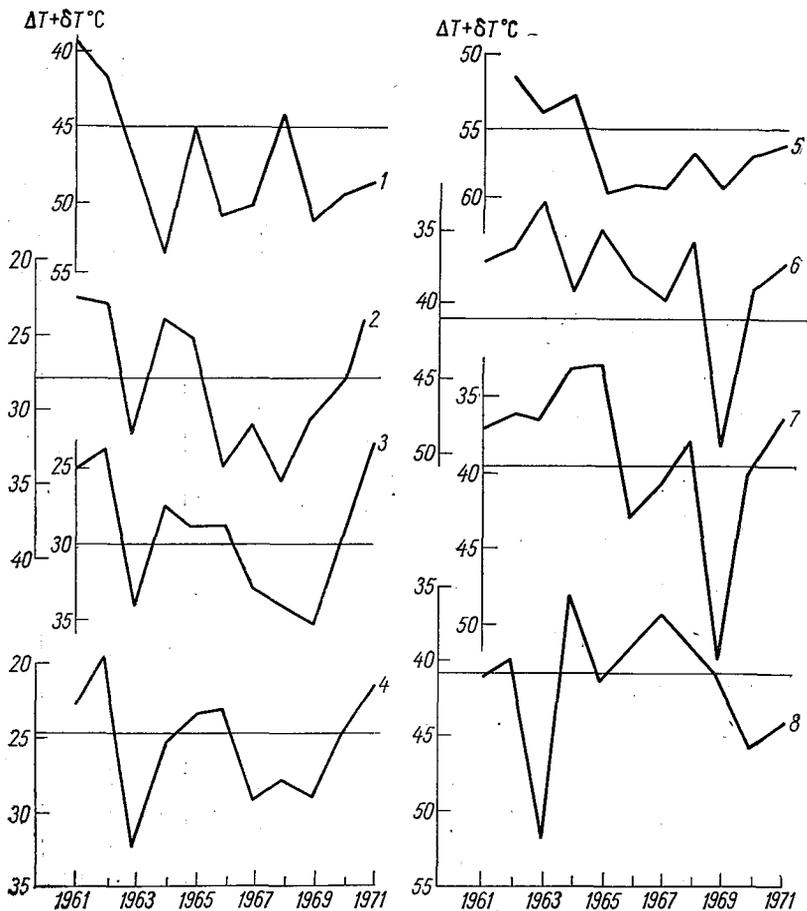


Рис. 10. Изменения величины дефицита тепла в январе 1961—1971 гг.
1 — Воркута, 2 — Ленинград, 3 — Москва, ВДНХ, 4 — Киев, 5 — Норильск,
6 — Целиноград, 7 — Новосибирск, 8 — Владивосток.

Анализ изменений величины дефицита тепла в отдельные годы периода 1961—1971 гг. показал, что на ЕТС значительным был дефицит тепла в 1963 г. и в период 1966—1969 гг. В Западной Сибири дефициты тепла в январях последнего десятилетия либо равны норме, либо несколько меньше ее. Почти по всей террито-

рий СССР значительное отклонение от нормы наблюдалось в январе 1969 г. В Казахстане, за исключением 1969 г., дефицит тепла в январе был несколько выше нормы. В Восточной Сибири и в Дальнем Востоке некоторое понижение по отношению к норме наблюдалось в 1970—1971 гг., в остальные годы дефицит либо был практически равен норме, либо немного превышал ее.

Приведенные графики подтверждают высказанное выше соображение о некотором похолодании зим на территории севернее 60° с. ш. (Мурманск, Салехард, Норильск) и колебаниях около нормы на остальной территории СССР. Следовательно, приведенные в работе данные об изменчивости величин дефицита тепла и данные о средней относительной их изменчивости могут быть испол-

Таблица

Изменчивость расхода топлива (тыс. т условного топлива)

Пункт	Объем жилищного фонда (млн. м ²)	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV
Москва	97,7	18	22	26	35	43	39	27	25
Ленинград	47,5	7	10	11	16	18	18	14	10
Киев	21,8	4	5	5	6	9	7	6	5
Горький	12,7	3	3	3	5	6	5	3	3
Новосибирск	12,4	2	3	5	6	5	5	4	4
Свердловск	11,7	2	3	4	4	4	4	3	3
Ташкент	11,4	—	2	3	4	4	4	3	—
Куйбышев	11,0	3	3	4	4	4	5	4	3
Волгоград	9,4	2	3	3	4	5	5	3	3
Казань	8,4	2	2	3	3	3	3	3	2
Красноярск	6,9	1	1,4	3	4	3	3	2	2
Хабаровск	5,1	—	1	1	1	1	2	1	1
Иркутск	4,9	0,6	0,8	1,3	2	1,2	1,4	1,4	0,9
Владивосток	4,7	0,4	0,6	0,9	1,4	1,4	1,2	0,9	0,5
Петропавловск-Камчатский	1,2	0,1	0,1	0,3	0,3	0,5	0,5	0,4	0,2

зованы для ориентировочного планирования расходов топлива в различных районах страны.

Некоторые оценки изменчивости расходов топлива

Приведенные выше материалы об изменчивости дефицита тепла и соображения о том, что за основу плановых расходов топлива могут быть приняты многолетние нормы с учетом их колебаний,

падающихся в среднюю изменчивость, позволили выполнить некоторые ориентировочные расчеты.

По данным статистических справочников [5, 6] были установлены размеры жилого фонда ряда крупных городов СССР. Ввиду того, что приведенные выше данные о дефиците тепла относятся к 1 м^2 ограждения, для расчетов потребного топлива был выполнен пересчет к 1 м^2 полезной площади. Теплотехнические и конструктивные параметры здания, влияющие на расход топлива, были приняты одинаковыми для всех городов; они соответствуют наиболее распространенному типу дома — серия 1-464 (пятиэтажный, тисекционный). Средний годовой коэффициент полезного действия котельной был принят равным 0,75, что соответствует рекомендациям специалистов [7]. При пересчете на условное топливо было принято, что его теплотворная способность равна $7 \cdot 10^6$ ккал/т. Отметим также, что во всех расчетах расхода топлива не учитывались потери тепла в теплосетях от ТЭЦ и котельных до домов. Известно, однако, что эти потери весьма велики, но учет их может быть правильно произведен лишь на местах, в каждом конкретном городе.

В табл. 3 приведены данные об изменчивости расхода топлива, вычисленной с учетом всего отапливаемого жилого фонда. Эти данные могут быть использованы при планировании запасов топлива. Следует иметь в виду, что по мере роста жилого фонда года приведенные в табл. 3 данные будут изменяться.

Заключение

Выполненное исследование позволяет сделать ряд практически важных выводов, учет которых может быть рекомендован планирующим органам.

1. Запасы топлива следует планировать на основании данных дефиците тепла, учитывающем совместное действие температуры воздуха, скорости ветра и солнечной радиации. Наиболее объективная оценка может быть получена при расчетах, проведенных по отдельным месяцам.

2. Установленное в работе соответствие изменчивости расходов топлива изменчивости дефицита тепла позволяет определить вероятные размеры колебаний объемов запасов топлива.

3. Наибольшая изменчивость в центральные зимние месяцы имеет место на Европейской территории СССР, в Казахстане и Западной Сибири. В Восточной Сибири и на Дальнем Востоке изменчивость невелика и составляет несколько процентов.

4. Приведенные в работе данные об изменчивости расходов топлива, вычисленные по данным о полезной жилой площади, хотя и носят ориентировочный характер, однако могут быть использованы в предварительных расчетах.

5. Практикуемое в настоящее время планирование расходов топлива по осредненным для большой территории (республика, экономический район) данным приводит к значительным погрешнос-

тям, вызываемым разнообразием климатических условий внутри таких обширных территорий. В этом легко убедиться, рассмотрев данные, приведенные в настоящей работе. Более правильная оценка расходов топлива может быть выполнена при расчетах для каждого города или населенного места в отдельности и путем общего суммирования по территории.

ЛИТЕРАТУРА

1. Г ан д и н Л. С. О расчете длительности отопительного периода и норм отопления в различных климатических условиях.— Труды ГГО, 1971, вып. 2, с. 3—16.
2. Г ан д и н Л. С. К вопросу о расчете норм теплопотерь по осредненным данным.— Труды ГГО, 1971, вып. 285, с. 17—23.
3. Анапольская Л. Е. Оценка дефицита тепла в различных климатических условиях.— Труды ГГО, 1971, вып. 285, с. 36—56.
4. Полозова Л. Г. Анализ цикличности колебаний средней месячной температуры воздуха в северном полушарии.— Труды ГГО, 1970, вып. 26, с. 36—73.
5. Народное хозяйство СССР в 1970 г. Статистический справочник. М., «Статистика», 1971.
6. Народное хозяйство РСФСР в 1970 г. Статистический справочник. М., «Статистика», 1971.
7. Богуславский Л. Д. Техничко-экономические расчеты при проектировании наружных ограждающих конструкций зданий. М., «Высшая школа» 1967. 167 с.

Ю. Я. КУВШИНОВ

ГОДОВОЕ ИЗМЕНЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ НАРУЖНОГО КЛИМАТА И ТЕПЛООВОГО БАЛАНСА ПОМЕЩЕНИЯ

При проектировании систем кондиционирования микроклимата (СКМ) в зданиях возникает необходимость в прогнозировании нагрузки на систему в отдельные периоды года, режима ее работы, потребления энергии, в определении годовых и сезонных затрат энергии системой. Решение этих задач связано с рассмотрением годового изменения тепловых потоков, поступающих в помещение через наружные ограждения и от внутренних тепловых источников.

Если тепловыделения внутренних источников относительно стабильны в течение года, то тепловые потоки, проходящие через наружные ограждения, претерпевают значительные изменения в годовом цикле, вызываемые годовым ходом определяющих их параметров наружного климата. Поэтому в основу рассмотрения годового изменения теплового баланса помещения положен анализ годовых изменений параметров климата.

Тепловые потоки, проходящие через наружные ограждения, обусловлены разностью результирующих температур наружной и внутренней сред, воздействием солнечной радиации, ветра и других климатических факторов. Ниже рассматривается характер годового изменения параметров наружного климата, отдельных составляющих и суммарного теплового баланса помещения. Такое рассмотрение проводится на основе метода расчета величин тепловых потоков, проходящих через наружные ограждения. Предложенный метод позволяет приближенно описать аналитическим годовым ходом параметров наружного климата и теплового баланса помещения и учитывает возможность вероятностной оценки их значений.

1. Теплообмен на наружных поверхностях ограждений

Такой теплообмен складывается из лучистого теплообмена с окружающей средой и конвективного теплообмена с наружным воздухом.

Приходная часть лучистого теплового баланса поверхности состоит из поглощенного в коротковолновой части спектра тепла солнечной радиации, расходная формируется за счет длинноволнового излучения поверхности в сторону окружающей среды, имеющей результирующую радиационную температуру $t_{R,н}$. Величина радиационной температуры наружной среды может быть определена из уравнения лучистого теплообмена в виде:

для горизонтальных поверхностей

$$t_{R,н} = 100 \sqrt[4]{\varepsilon_{гр} \left(\frac{t_{гр} + 273}{100} \right)^4 - \frac{E}{4,9}} - 273, \quad (1)$$

для вертикальных поверхностей

$$t_{R,н} = 100 \sqrt[4]{\left[\varepsilon_{гр} \left(\frac{t_{гр} + 273}{100} \right)^4 - \frac{E}{9,8} \right] \frac{2}{1 + \varepsilon_{гр}}} - 273, \quad (1)$$

где $t_{гр}$ и $\varepsilon_{гр}$ — температура и коэффициент излучения поверхности грунта соответственно; E — эффективное излучение поверхности грунта (ккал/м²·ч).

Коэффициент лучистого теплообмена на наружной поверхности определяется по формуле

$$\alpha_{н,л} = \varepsilon_{н} \cdot 4,9 \cdot \varphi_{н-о} b, \quad (2)$$

где $\varepsilon_{н}$ — коэффициент излучения поверхности ограждения; $\varphi_{н-о}$ — коэффициент облученности поверхности ограждения окружающей средой, равный

$$\varphi_{н-о} = \varphi_{н-неб} + \varepsilon_{гр} \varphi_{н-гр}. \quad (3)$$

Здесь $\varphi_{н-неб}$ и $\varphi_{н-гр}$ — коэффициенты облученности поверхности небосводом и грунтом соответственно.

Множитель b определяется по формуле [1]

$$b = 0,82 + 0,005(\tau_{н} + t_{R,н}), \quad (4)$$

где $\tau_{н}$ — температура поверхности.

Теплообмен между поверхностью ограждения и наружным воздухом протекает в условиях вынужденной конвекции. Коэффициенты конвективного теплообмена при этом могут быть определены по известным формулам [2]:

для горизонтальной поверхности

$$\alpha_{н,к}^r = 2,5v^{0,8}, \quad (5a)$$

для вертикальной поверхности

$$\alpha_{н,к}^B = 10\sqrt{v}, \quad (5b)$$

где v — скорость ветра (м/с).

На величину $\alpha_{н,к}^r$ вводится температурная поправка [2].

Уравнение теплового баланса на наружной поверхности ограждения с учетом изложенного имеет вид

$$\frac{\tau_{в} - \tau_{н}}{R} + pq = \alpha_{н,л}(\tau_{н} - t_{R,н}) + \alpha_{н,к}(\tau_{н} - t_{н}), \quad (6a)$$

где $\tau_{в}$ — температура на внутренней поверхности ограждения; $\tau_{н}$ — температура наружного воздуха; R — термическое сопротивление ограждения; p — коэффициент поглощения солнечной радиации поверхностью ограждения; q — интенсивность суммарной солнечной радиации, падающей на поверхность.

Для практического использования уравнение (6а) удобнее записать, введя в него условную температуру наружной среды t_y :

$$\frac{\tau_{в} - \tau_{н}}{R} = \alpha_{н}(\tau_{н} - t_y), \quad (6б)$$

ричем:

$$\alpha_{н} = \alpha_{н, л} + \alpha_{н, к}, \quad (7)$$

$$t_y = t_{н} - \underbrace{\frac{\alpha_{н, л}}{\alpha_{н}} (t_{п} - t_{R, н})}_{t_{нар}} + p \underbrace{\frac{q}{\alpha_{н}}}_{\Delta t_{рад}}, \quad (8)$$

где $t_{нар}$ — результирующая температура наружной среды; $\Delta t_{рад}$ — эквивалентная температурная надбавка, учитывающая воздействие солнечной радиации.

2. Теплоотдача через ограждающие конструкции

По способу передачи тепла ограждающие конструкции разделяются на два типа: I — массивные непрозрачные (стены, перегородки), и II — немассивные лучепрозрачные (окна).

Поток тепла, проходящий через ограждения типа I, обусловлен разностью условной температуры наружной среды и температуры помещения:

$$Q_I = K_I F_I (t_y, I - t_{п}), \quad (9)$$

где K_I — коэффициент для поверхности ограждения типа I; F_I — площадь поверхности ограждения типа I; $t_{п}$ — температура помещения (средняя между температурами воздуха и внутренних поверхностей).

Тепловой поток, проходящий через ограждения типа II, складывается из трех частей:

$$Q_{II} = Q_{II, тр} + Q_{II, рад} + Q_{II, инф}. \quad (10)$$

Величина теплового потока за счет разности температур $Q_{II, тр}$ определяется аналогично (9).¹

Поступление тепла от солнечной радиации определяется по формуле

$$Q_{II, рад} = F_{II} (S \beta_1 \beta_2 + 0,74D) \beta_3, \quad (11)$$

где S и D — интенсивность прямой и диффузной солнечной радиа-

¹ При этом вместо t_y, II пользуются величиной $t_{нар}$, так как поглощение солнечной радиации остеклением учитывается в потоке тепла $Q_{II, рад}$.

ции, падающей на поверхность ограждения; β_1 и β_2 — коэффициенты затенения конструктивными элементами и пропускания заполнением светового проема; β_3 — коэффициент солнцезащиты [3].

Тепловой поток, обусловленный фильтрацией через ограждение наружного воздуха, определяется по формуле [3]

$$Q_{II, \text{инф}} = F_{II} G_{\text{инф}} c A (t_n - t_b), \quad (1)$$

где $G_{\text{инф}}$ — расход фильтрующего воздуха [3] (кг/ч); c — удельная теплоемкость воздуха; A — коэффициент, учитывающий подгрев фильтрующегося воздуха в конструкции [3].

3. Средние суточные значения составляющих теплового баланса помещения

Средние суточные значения параметров наружного климата могут быть получены осреднением часовых (срочных) значений. При этом необходимо учитывать нелинейность суточного хода тех параметров, которые непосредственно не наблюдаются, а получаются путем пересчета других параметров. Так, интенсивность прямой солнечной радиации на вертикальную поверхность S_i рассчитывают по величине измеренной интенсивности на нормальную к лучам поверхность S_n :

$$S_i = S_n \cos \theta, \quad (13)$$

где θ — угол между нормалью к поверхности и лучом Солнца.

Так как величина $\cos \theta$ изменяется в течение суток, для определения среднего суточного значения S_i по среднему суточному значению S_n необходимо пользоваться средним интегральным значением величины $\cos \theta$.

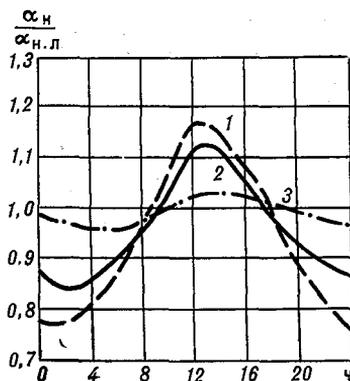
Нами были получены такие значения коэффициентов для широт 40—65° путем расчета на ЭВМ по формуле

$$\cos \theta_{\Sigma} = \frac{\sum_{\Delta z_i} (S_n \cos \theta)}{\sum_{\Delta z_n} S_n}, \quad (14)$$

Таблица 1
Средние интегральные значения коэффициента $\cos \theta_{\Sigma}$

Ориентация	XII	I, XI	II, X	III, IX	IV, VIII	V, VII	VI
Ю	0,904	0,884	0,762	0,612	0,426	0,289	0,258
С	0	0	0	0	0,012	0,051	0,074
В, З	0,161	0,173	0,23	0,271	0,298	0,305	0,305
ЮВ, ЮЗ	0,639	0,625	0,56	0,496	0,413	0,333	0,305
СВ, СЗ	0	0	0,021	0,046	0,12	0,166	0,181

Рис. 1. Относительное суточное изменение коэффициентов теплообмена на наружных поверхностях ограждений в Москве. 1 — на горизонтальной поверхности в июле, 2 — на вертикальной поверхности в июле, 3 — на горизонтальной поверхности в январе.



де Δz_i и Δz_n — продолжительность облучения вертикальной и нормальной к лучам поверхности соответственно.

Средние интегральные значения коэффициентов $\alpha_{00} \theta_{\Sigma}$ для широты 5° приведены в табл. 1.

Изменение условий теплообмена на наружных поверхностях приводит к нелинейной зависимости условной температуры наружной среды от определяющих ее параметров. Суточное изменение коэффициентов теплообмена относительно среднего за сутки значения для условий Москвы показано на рис. 1.

Расчеты для трех зон территории СССР (Москва, Ташкент, Якутск) показывают, что с небольшой погрешностью величину $t_{нар}$ можно определять по средним суточным значениям определяющих ее параметров, а при расчете $\Delta t_{рад}$ следует вводить поправку, примерно равную $0,95$.

Средние суточные значения тепловых потоков, проходящих через ограждения, определяются по средним за сутки значениям параметров климата. Изменение в течение суток коэффициентов затенения и пропускания может

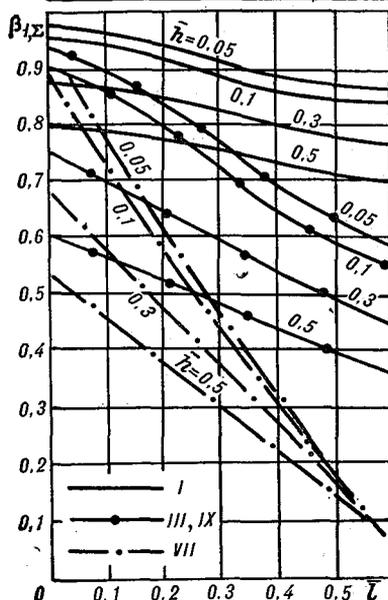
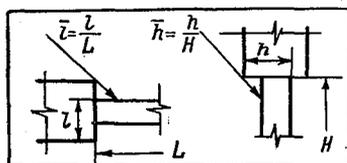


Рис. 2. Зависимость коэффициента пропускания прямой солнечной радиации от относительных размеров затеняющего выступа (южная ориентация, 55° с. ш.).

быть учтено, если пользоваться при расчете среднего суточного теплового потока $Q_{II \text{ рад}}$ средними интегральными значениями коэффициентов. Расчеты, проведенные по формулам

$$\beta_{1, \Sigma} = \frac{\sum_{\Delta z \beta_1} (S_i \beta_1)}{\sum_{\Delta z_i} S_i}, \quad (1)$$

$$\beta_{2, \Sigma} = \frac{\sum_{\Delta z \beta_2} (S_i \beta_1 \beta_2)}{\sum_{\Delta z \beta_1} (S_i \beta_1)}, \quad (2)$$

где $\Delta z \beta_1$, $\Delta z \beta_2$ — продолжительность поступления потока тепла с учетом затенения и пропуска света световым проемом, позволяющие определить значения коэффициентов $\beta_{1, \Sigma}$, $\beta_{2, \Sigma}$ для широт 40—60°. Для широты 55° значения коэффициента $\beta_{2, \Sigma}$ приведены в табл. 2, а зависимость коэффициента $\beta_{1, \Sigma}$ от относительных размеров затеняющих выступов в плане (\bar{l}) и по высоте (\bar{h}) — на рис. 2.

Таблица 2

Величина коэффициента $\beta_{2, \Sigma}$

Ориентация	II	I, XI	II, X	III, IX	IV, VIII	V, VII	VI
Ю	0,88	0,88	0,87	0,85	0,82	0,75	0,7
С	0	0	0	0	0,6	0,56	0,5
В, С	0,76	0,76	0,8	0,82	0,83	0,84	0,8
ЮВ, ЮЗ	0,83	0,84	0,83	0,87	0,85	0,79	0,7
СВ, СЗ	0	0,33	0,52	0,77	0,84	0,85	0,8

4. Изменение составляющих теплового баланса помещения в течение года

Годовой ход параметров наружного климата. При выборе характеристик годового хода параметров наружного климата важное значение имеет вид климатической информации, принятый к рассмотрению. Нами были приняты осредненные за месяц средние суточные данные в среднем за многолетний период и в отдельные годы. Использование таких климатических данных объясняется желанием аналитически описать изменение в течение года параметров климата. Возможность аналитического описания появляется в связи с тем, что в процессе осреднения взаимно исключаются причины несистематического характера, вызывающие изменение параметров во времени, и отчетливо обозначается общее направление годового хода.

Изменение в течение года температуры наружного воздуха и интенсивности суммарной солнечной радиации на вертикальные

поверхности и скорости ветра в условиях Москвы представлено на рис. 3.

Годовое изменение параметров наружного климата вызывает изменение условий теплообмена на наружных поверхностях ограждений, что необходимо учитывать при расчете годового хода результирующих температур наружной среды. Годовой ход коэффициентов теплообмена на наружных поверхностях в Москве изображен на рис. 4. Как видно из рисунка, изменение α_n следует в основном за изменением в течение года скорости ветра, что объясняется преобладающей долей конвективного теплообмена в общем.

Несмотря на существенную неправильность годового хода коэффициентов теплообмена на наружных поверхностях и их значительную амплитуду [так, в Якутске α_n изменяется от 12 ккал/(м²·ч·°С) в январе до 23 ккал/(м²·ч·°С) в мае], годовой ход результирующих температур повторяет в основном изменение температуры наружного воздуха. Это подтверждается данными, представленными на рис. 5 для условий Москвы, где изображено годовое колебание $t_{R, n}$, $t_{нар}$ и t_y (для южной ориентации при $P=1$).

Желание иметь аналитическое описание годового хода составляющих теплового баланса предопределяет необходимость аппроксимации годового цикла климатических параметров. Учитывая периодический характер изменения параметров, искомого аппроксимацию можно представить в виде тригонометрического ряда

$$y = y_r + \sum_1^6 a_i \cos i \frac{2\pi}{T} z + \sum_1^5 b_i \sin i \frac{2\pi}{T} z, \quad (17)$$

где z — время в сутках в исчислении от 1 января; T — период колебания (365 суток); y_r — среднее годовое значение параметра; a_i , b_i — амплитуды i -той гармоники ряда.

Значения y_r , a_i , b_i определяются численным интегрированием месячных данных:

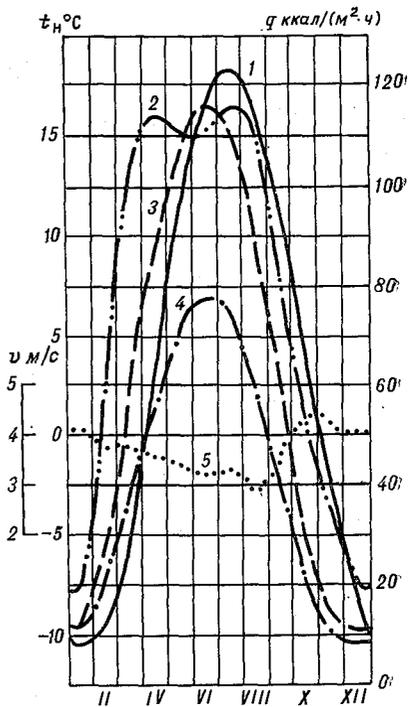


Рис. 3. Годовой ход параметров наружного климата в Москве.

1 — температура наружного воздуха, 2, 3, 4 — интенсивность суммарной солнечной радиации на поверхности южной, восточной и северной ориентации соответственно, 5 — скорость ветра.

$$y_r = \frac{1}{12} \sum_1^{12} y_n, \quad (18a)$$

$$a_i = \frac{1}{6} \sum_1^{12} y_n \cos \frac{2\pi}{12} i_n, \quad (18б)$$

$$b_i = \frac{1}{6} \sum_1^{12} y_n \sin \frac{2\pi}{12} i_n, \quad (18в)$$

где n — порядковый номер месяца.

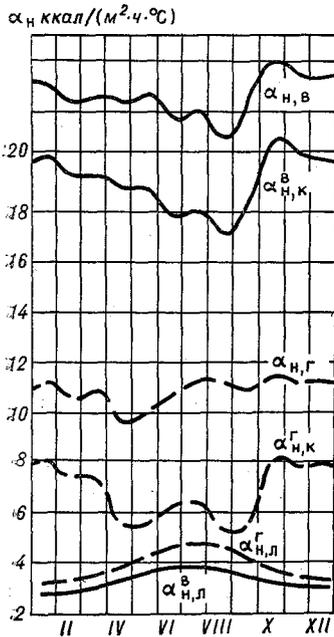


Рис. 4. Годовой ход коэффициентов теплообмена на наружных поверхностях ограждений в Москве.

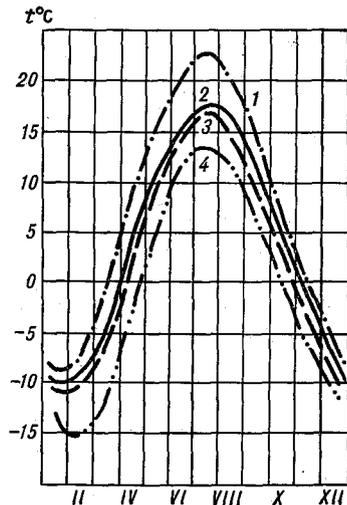


Рис. 5. Годовой ход результирующих температур наружной среды в сравнении с температурой наружного воздуха в Москве.

1 — условная температура ограждения южной ориентации, 2 — температура наружного воздуха, 3 — наружная температура, 4 — радиационная температура.

Точное описание годового хода параметра требует шесть четных и пять нечетных гармоник. При допущении некоторой погрешности для описания годового хода параметров достаточно двух-трех гармоник.

Годовой ход составляющих теплового баланса помещения обусловлен изменением параметров наружного климата.

В табл. 3 приведены результаты расчета месячных значений составляющих и суммарного теплового баланса помещения в 16-этажном здании в условиях Москвы; наружные ограждения ($F_I = 11,25 \text{ м}^2$; $F_{II} = 5,25 \text{ м}^2$) ориентированы на юг и восток.

Таблица 3
Величина теплового баланса и его составляющих (ккал/ч)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
$t, ^\circ\text{C}$	18	18	18	18	20	22	22	22	20	18	18	18
Q_I	-317	-302	-236	-134	-68,5	-42,7	-16,9	-42,7	-90	-146	-224	-290
$Q_{II, \text{тр}}$	-415	-383	-318	-189	-104	-63	-49,4	-61	-124	-195	-294	-374
$Q_{II, \text{инф}}$	-187	-176	-135	-75,5	-37,4	-25,8	-23,2	-27,1	-35,5	-65,5	-118	-160
$Q_{II}^{\text{ю}}, \text{рад}$	117	294	570	518	460	437	441	491	480	348	255	118
$Q_{II}^{\text{в}}, \text{рад}$	51,5	135	315	446	556	583	532	431	289	137	67,5	41
$Q_{II}^{\text{ю}}, \text{рад}$	-783	-558	-151	109	239	293	338	345	215	-61	-375	-691
$Q_{II}^{\text{в}}, \text{рад}$	-845	-712	-369	41	333	433	427	387	35	-265	-556	-765

Аналитическое описание годового хода составляющих и суммарного теплового баланса помещения возможно на основе ряда (17). Практическое использование при ручном счете ряда (17) и формул (18) затруднительно. Оказывается, для достаточно точного описания годового хода теплового баланса помещения достаточно двух первых гармоник, а для определения их амплитуд — данных по четырем месяцам года:

$$Q_{II} = Q_{II, \text{г}} + A_{Q_1} \cos \frac{2\pi}{T} (z - \varepsilon_1) + A_{Q_2} \cos \frac{4\pi}{T} (z - \varepsilon_2), \quad (19)$$

где $Q_{II, \text{г}}$ — среднее годовое значение теплового баланса; A_Q, ε — амплитуда и запаздывание гармоник. Значения A_Q и ε определяются по правилу сложения гармоник:

$$\left. \begin{aligned} A_Q &= \sqrt{a_Q^2 + b_Q^2}, \\ \varepsilon &= \frac{T}{2\pi} \arctg \frac{b_Q}{a_Q}, \end{aligned} \right\} \quad (20)$$

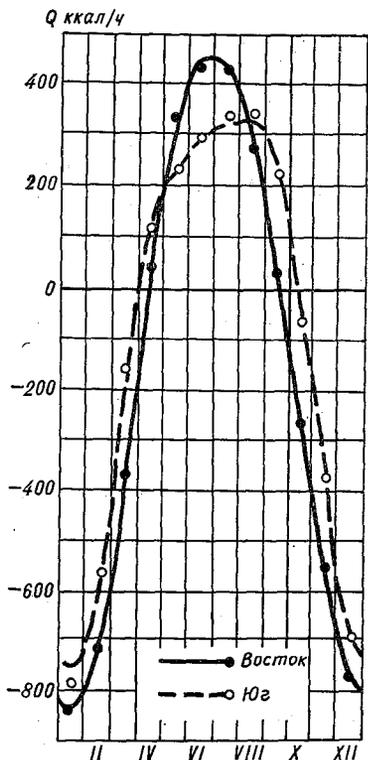
причем

$$\left. \begin{aligned} a_{Q_1} &= 0,56(Q_I - Q_{VII}) + 0,15(Q_{IX} - Q_{III}); \\ b_{Q_1} &= 0,15(Q_{VII} - Q_I) + 0,56(Q_{III} - Q_{IX}); \\ a_{Q_2} &= 0,29(Q_I + Q_{VII} - Q_{III} - Q_{IX}), \\ b_{Q_2} &= 0,5(Q_I + Q_{VII} + Q_{III} + Q_{IX}) - 2Q_{II}. \end{aligned} \right\} \quad (21)$$

Римские цифры — порядковые номера месяцев.

Величина $Q_{п,г}$ определяется по средним годовым значениям параметров наружного климата с введением в ряде случаев поправок на нелинейность. Поправка при определении среднего годового значения инфильтрационной составляющей не зависит от размеров здания (для Москвы такая поправка равна 1,1, для Ташкента 1,2, для Якутска 1,25). Среднее годовое значение теплопоступления через светопроемы от прямой солнечной радиации обычно определяют по формуле

$$Q_{S,г} = k_S \frac{Q_{S, I} + Q_{S, III} + Q_{S, VII} + Q_{S, IX}}{4}, \quad (22)$$



причем поправка k_S для южной, юго-восточной и юго-западной ориентации равна 0,94, для восточной и западной 1,0, для северной, северо-восточной и северо-западной 1,1. Для остальных составляющих теплового баланса помещения поправка равна единице.

На рис. 6 показаны кривые годового хода суммарного теплового баланса помещений, построенные по формуле (19) с учетом (21) по данным табл. 3. Точками показаны действительные месячные значения. Расхождение между кривыми и точками на рис. 6 составляет в среднем 5% (абсолютная погрешность, вычисленная относительно разностей максимального и минимального значений $Q_{п}$, не превышает 2,5%, а средняя 1,5%), что говорит о хорошей точности аппроксимации (19).

Рис. 6. Аппроксимация годового хода теплового баланса помещений в Москве.

5. Обеспеченность годового хода теплового баланса помещения

Обеспеченность годового хода параметров наружного климата.

Годовой ход параметров наружного климата в отдельные годы отличается от рассмотренного выше многолетнего среднего, однако его общие закономерности сохраняются. Оценку отклонения

значений параметров в различные годы удобно проводить на основе понятия обеспеченности. Численной характеристикой обеспеченности является коэффициент обеспеченности $K_{об}$ [1], который поазывает число случаев n отклонения параметра от заданного значения относительно общего числа случаев N , принятого к рассмотрению:

$$K_{об} = \frac{n}{N}. \quad (23)$$

При рассмотрении обеспеченности годового хода параметров наружного климата в качестве случая принимается один год. Зависимость значений параметров от коэффициента обеспеченности различные месяцы и в целом за год может быть представлена графически в виде функции распределения параметра. На рис. 7 представлены функции распределения температуры наружного воздуха (рис. 7 а) и интенсивности суммарной солнечной радиации на горизонтальную поверхность (рис. 7 б) в Москве. Годовой ход параметров различной обеспеченности может быть построен с помощью функций распределения. Данные, приведенные на рис. 7, получены по результатам наблюдений в течение 12-летнего периода.

Обеспеченность теплового баланса помещения определяется обеспеченностью параметров наружного климата. Тепловой баланс помещения формируется за счет комплексного воздействия параметров наружной среды. Поэтому при рассмотрении обеспеченности теплового баланса появляется необходимость отыскания характеристик обеспеченности сочетаний параметров климата, что является трудной задачей.

Для ее решения необходимо прежде всего сократить до минимума число параметров климата, для которых отыскиваются характеристики совместной обеспеченности. Примем к дальнейшему рассмотрению только два параметра — температуру наружного воздуха t_n и интенсивность солнечной радиации q . Очевидно, это справедливо, так как именно эти параметры вносят главный вклад в формирование теплового баланса помещения и в основном определяют его годовой ход.

Для расчета обеспеченности теплового баланса необходимо иметь характеристики обеспеченности каждого из принятых параметров, но с учетом их совместного действия. Путем преобразования исходных формул с вынесением в левую часть констант можно показать, что характеристикой комплексного воздействия t_n и q на тепловой баланс является сумма

$$\frac{Q}{K} = t_n + aq. \quad (24)$$

С учетом (24) может быть сформулировано следующее условие:

$$\frac{Q_K}{K} \Big|_{K_{об}(Q)} = t_H \Big|_{K_{об}(t_H)} + aq \Big|_{K_{об}(q)}. \quad (25)$$

В условии (25) величина $K_{об}(Q)$ является известной, а $K_{об}(t_H)$ и $K_{об}(q)$ — искомыми. Для нахождения связи $K_{об}(Q) \rightarrow K_{об}(t_H) - K_{об}(q)$ воспользуемся известной теоремой умножения вероятностей

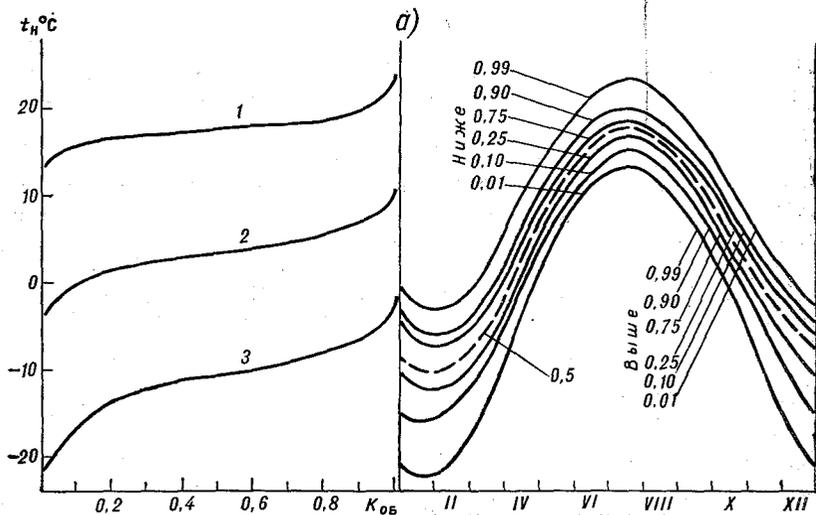


Рис. 7. Функции распределения и годового хода различной обеспеченности суммарной солнечной радиации на горах
1 — июль, 2 — в среднем за год, 3 — январь

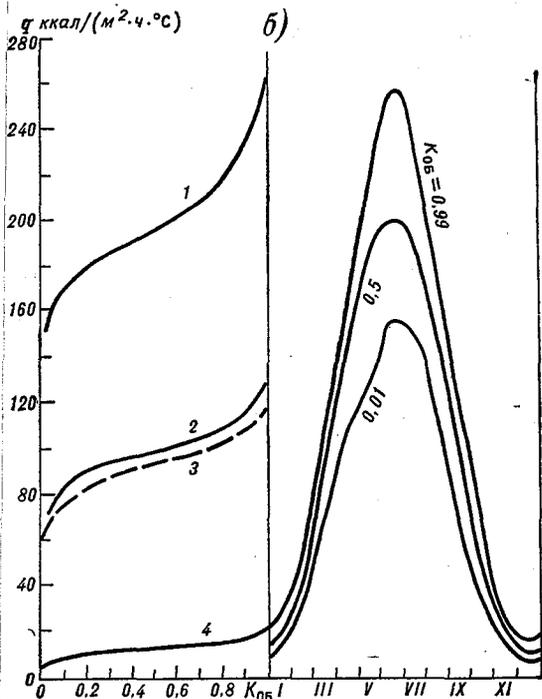
стей [5], применив ее к умножению обеспеченностей [1]. В соответствии с теоремой

$$K_{об}(Q) = K_{об}(t_H) K_{об}(q/t_H), \quad (26)$$

т. е. обеспеченность совместного появления двух событий (t_H и q) (в виде одного события $\frac{Q}{K}$) равна произведению обеспеченности одного события (t_H) на основную обеспеченность другого (q) (при условии осуществления первого).

Положив $K_{об}(q/t_H) = 1$ и тем самым $K_{об}(t_H) = K_{об}(Q)$, будем отыскивать такие значения q' , чтобы при $t_H/K_{об}(Q)$ удовлетворялось условие (25). Практически это можно сделать, применив прием вычитания функций распределения. Так, если построить по данным за отдельные годы функцию распределения $F(\frac{Q}{K})$, а затем вычесть из нее $F(t_H)$, то по полученной функции распределения

(aq') могут быть определены значения q' , удовлетворяющие поставленному условию. Как показывают расчеты (по данным для Москвы, Ташкента и Якутска), полученные значения q' не зависят



ности температуры наружного воздуха (а) и горизонтальную поверхность (б) в Москве. год, 3 — октябрь, 4 — январь.

от величины a в широких пределах ее изменения и, следовательно, носят обобщенный характер.

В табл. 4 сопоставлены величины теплового баланса помещения (южная ориентация, $F_I = 11,25 \text{ м}^2$, $F_{II} = 5,25 \text{ м}^2$) в январе в условиях Ташкента, рассчитанные по данным за отдельные годы (строка А) и по сочетаниям t_H и q' , полученным по изложенному методу (строка Б).

Таблица 4.

Сравнение величин теплового баланса Q (ккал/ч), рассчитанных различными методами

	$K_{об}$								
	0,99	0,95	0,9	0,7	0,5	0,3	0,1	0,05	0,01
А	149	125	102	-12	-65	-76	-259	-291	-324
Б	149	119	89	-11,5	-65	-73	-278	-300	-324

ЛИТЕРАТУРА

1. Богословский В. Н. Строительная теплофизика. М., «Высшая школа», 1970. 375 с.
2. Шкловер А. М., Васильев Б. Ф., Ушков Ф. В. Основы строительной теплотехники. М., Стройиздат, 1956. 350 с.
3. Титов В. П. Расчет теплотерь от инфильтрации в промышленных зданиях.—Информ. реф. сб. ЦИНИС, 1970, № 1, с. 22—23.
4. Гнеденко Б. В. Курс теории вероятностей. М., Гостехиздат, 1954. 412 с.

МЕТОДЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ МИКРОКЛИМАТА ЖИЛИЩА В ЛЕТНИХ УСЛОВИЯХ СРЕДНЕЙ АЗИИ

В современных многоэтажных жилых домах Средней Азии микроклиматические условия в летний период выходят из зоны комфорта. Более того, при несоблюдении мероприятий по регулированию микроклимата в квартирах формируется перегревный режим с неблагоприятными воздействиями на организм человека.

Каковы причины сложившегося положения? Секционная многоквартирная структура современных зданий с небольшим набором помещений исключила некоторые формы организации летнего быта, типичные для традиционного народного жилища юга; переход к многоэтажному дому, отрыв от земли большинства квартир лишили их благоприятного влияния грунта, озеленения, обводнения; появились противоречия, связанные с ориентацией жилого дома в целом. Сборные облегченные конструкции наружных ограждений, обладающие малыми инерционными качествами, стали активным посредником между внешней средой и внутренним микроклиматом, а микроклимат жилища — более чутким к изменению климатических характеристик наружных условий, более капризным в регулировании, более требовательным к качественному выполнению всех защитных мероприятий против перегрева. Современное строительство утратило и ряд традиционных прогрессивных приемов борьбы с перегревом, накопленных народным опытом. Это замечание относится в первую очередь к солнцезащитным мероприятиям, имеющим на юге важнейшее значение. Намечился и определенный разрыв между уровнем научных знаний в области архитектурной климатологии и практическим внедрением основных результатов исследований.

Вместе с тем повышение материального благосостояния советского народа создает экономические предпосылки значительного улучшения комфортности жилища в ближайшие годы. Складываются объективные условия для внедрения в практику новых технических приемов и средств и инженерного оборудования.

В настоящей статье излагаются основные результаты десятилетних исследований отдела архитектурной климатологии ТашЗНИИЭП, выполненных под руководством и при участии автора, в результате которых были разработаны современные методы расчета климатических воздействий на здания и регулирования микроклимата жилища в летних условиях Средней Азии.

Уточнения теоретических методов учета внешних воздействий на здания коснулись трех направлений: методов геометрически инсоляционных построений, расчета тепловых нагрузок на здания за счет солнечной радиации, математического моделирования микроклиматического режима квартир.

Для выполнения очень популярных в архитектурной климатологии инсоляционных построений зон светотени, с помощью которых решается много научных задач (разрывы между домами, ориентация помещений, выбор и расчет солнцезащиты и пр.), предложено большое количество инсоляционных графиков, климограмм и инсоляционных приборов (графики Б. А. Дунаева, И. С. Суханова, климограммы В. М. Пивкина, инсоляционные приборы Д. С. Масленникова, Н. В. Оболенского, Л. Г. Беридзе). Более удобно, на наш взгляд, использование для инсоляционных построений двух инсоляционных углов: вертикального теневого (или профильного), представляющего собой угол между нормалью к данной плоскости и профильной проекцией солнечного луча, и горизонтального теневого, представляющего собой угол между нормалью к плоскости и горизонтальной проекцией солнечного луча. Использование упомянутых углов носит универсальный характер так как, кроме построений светотени, они применяются для расчетов прихода прямой солнечной радиации к вертикальной поверхности, для нахождения габаритов солнцезащитных устройств, подсчетов отраженной радиации и т. п. [1].

В теорию расчетов солнечного облучения поверхностей зданий внесено существенное дополнение: предложен инженерный метод расчета отраженной солнечной радиации, что имеет огромное значение на юге с типичной светлой отделкой зданий.

Этот метод позволяет подсчитать теплопоступления к поверхности стен за счет радиации, отраженной от земли и стен соседних зданий, а также теплообмен этих взаимооблучаемых поверхностей. Правильность предполагаемого метода проверена нашими натурными исследованиями в Ташкенте в 1963—1964 гг., а также исследованиями К. Ширдатова в Ашхабаде в 1965—1966 гг. Согласно этому методу, в основу которого положены некоторые закономерности лучистого теплообмена, отраженная радиация, поступающая на одну поверхность от другой, пропорциональному солнечному облучению отражающей поверхности, альбедо этой поверхности и коэффициенту облученности [2].

Большое внимание уделялось инженерным методам расчета теплопоступлений через проем с солнцезащитой. Впервые разработан метод расчета теплопоступлений при наружной солнцезащите экранного (шторы, жалюзи, ставни) и стационарного структур-

ого типа (козырьки, лоджии и т. п.). Эти методы учитывают более точно сквозное прохождение радиации через солнцезащитную светопроем с учетом радиации, отраженной плоскостями солнцезащитных конструкций, а также теплоотдачу конвекцией и теплым излучением при различном положении солнцезащиты и двойного остекления [3, 4].

Многолетние натурные микроклиматические наблюдения дали большой статистический материал, отражающий взаимосвязь внешнего метеорологического режима и внутреннего микроклимата квартир в эксплуатационных условиях. Этот материал позволил установить аналитические зависимости между температурой наружного и внутреннего воздуха с учетом амплитуды температурных изменений, ветрового режима и видов проветривания для квартир в современных многоэтажных и малоэтажных домах, где использован комплекс естественных средств борьбы с перегревом [5]. Полученные зависимости дают возможность строить типичные модели температурного режима квартир разной планировочной структуры для различных городов при последовательном повышении температуры в начале лета, в период термических депрессий в середине лета и на спаде температур осенью и решать ряд типологических задач (определение термического комфорта, длительности летнего перегрева и т. п.).

Одним из наиболее действенных методов регулирования летнего микроклимата жилых домов на юге является солнцезащита проемов. Микроклиматическая эффективность солнцезащитных устройств зависит не только от типа и положения по отношению к остеклению, но и от ориентации затеняемого проема. При южной ориентации проема и козырьке и современной удельной площади окон максимальная температура внутреннего воздуха снижается на 1°C , а при западной ориентации и наружных регулируемых жалюзи можно рассчитывать на снижение максимальной внутренней температуры на $3,5\text{--}5,0^{\circ}\text{C}$. Для промежуточных румбов и оптимальной солнцезащиты микроклиматический эффект I и $3,5\text{--}5,0^{\circ}\text{C}$ соответственно.

В последние годы применение солнцезащиты на юге резко возросло, но вместе с тем увеличилось и число ошибок. В большинстве случаев эксплуатируются привлекательные эстетические достоинства затеняющих устройств в ущерб их функциональным качествам (6). Проектирование солнцезащиты должно опираться на определенные закономерности и содержит ряд приемов, вытекающих из требований к солнцезащите для данного типа здания. Основной принцип проектирования солнцезащиты — учет климатических условий местности, ориентации светопроемов и функционального назначения затеняемых помещений и режима их эксплуатации.

Типологические требования, которые предъявляются к солнцезащите жилого дома, следующие: обеспечение максимальной теплозащиты летом и создание благоприятных условий инсоляции в прохладное время года, регулирование по мере надобности освеще-

ценности комнат, полное освобождение проемов летом в ночные часы, хороший обзор внешнего пространства при должной зрительной изоляции внутренних помещений квартиры. Этим требованиям удовлетворяет ограниченный набор наружных регулируемых устройств: ставни с регулируемыми жалюзийными планками (распашные или раздвижные), венецианские шторы и жалюзи и итальянские откидные шторы [7].

Солнцезащитными регулируемыми конструкциями должны оборудоваться не только окна комнат, но и проемы летних помещений, что существенным образом улучшает их эксплуатационные качества и микроклимат жилых квартир.

При использовании средств солнцезащиты создается практически одинаковый температурно-влажностный режим в квартирах различной ориентации. Мы проводили наблюдения в Ташкенте в 1960 г. в односторонних квартирах южной и западо-юго-западной ориентации, защищенных наружными ставнями-жалюзи. Различия максимальных температур на объектах по средним данным за период исследований не превышали 1°C , а средние дневные температуры различались на $0,2-0,8^{\circ}\text{C}$. Эти исследования позволили по-новому сформулировать требования к ориентации окон жилых комнат: оптимальной считается южная сторона горизонта: недопустима северная ориентация, лишаящая комнаты благотворного влияния солнечного света; остальные румбы допустимы при обязательной солнцезащите проемов [8, 9].

Воздействие солнечной радиации на наружные поверхности не-светопрозрачных ограждений — решающий фактор их прогрева в летний период. Поэтому одним из первейших средств солнцезащиты стен и покрытий домов должно быть использование отражающих свойств (альbedo) строительных материалов. В южных районах рекомендуется применять отделочные материалы или покраски светлого цвета с альbedo не менее 65%.

Увеличение альbedo ограждений повысит уровень отраженной радиации на территории застройки. Однако, как показали исследования, дополнительное воздействие за счет отраженной радиации от одного здания на противостоящие при типичных разрывах между домами в две высоты и более невелико. Что касается воздействия отраженной радиации на людей, находящихся на территории, то оно может быть снято соответствующим расположением, а также проектированием солнцезащиты и озеленения пешеходных дорожек и площадок отдыха. Радиусы неблагоприятного действия на людей отраженной радиации составляют при южной и юго-восточной ориентации светлых фасадов 4—5 м, северо-западной 6—7 м, юго-западной 8—9 м и западной 10—11 м. Нами разработаны приемы экранирования с помощью зеленых насаждений и средства солнцезащиты пешеходных дорожек и площадок в случае их расположения в пределах неблагоприятного воздействия отраженной радиации.

Исследования теплоустойчивости современных типов ограждающих конструкций крупноблочных и крупнопанельных зданий,

грящихся в Средней Азии (стены из силикальцита, керамзитобетона, трехслойные панели с минераловатным и пенобетонным теплителем, совмещенные невентилируемые покрытия), показали, то эти конструкции не только достаточно теплоустойчивы в климатических условиях Средней Азии, но и обладают определенным запасом теплофизических свойств. Так, например, исследованиями показано, что крупноблочные стены из силикальцита и крупнопанельные стены из керамзитобетона, которые в настоящее время имеют толщину 30 см, можно выполнять толщиной 25 см практически на всей территории Средней Азии при условии обеспечения объемного веса материала 1000—1100 кг/м³.

Однако существующие теплоустойчивые ограждения, на наш взгляд, бесперспективны с теплофизической точки зрения, так как играют пассивную роль по отношению к внешним тепловым воздействиям. Они гасят лишь амплитуду температурных колебаний, но не снижают средней суточной температуры внутреннего воздуха.

Намечаются следующие пути совершенствования теплофизических качеств несветопрозрачных ограждений: 1) применение облегченных конструкций с использованием эффективных легких материалов, замкнутых воздушных прослоек и отражательной теплоизоляции; 2) использование конструкций с солнцезащитными экранами и вентилируемыми воздушными прослойками.

В последние годы проведены большие исследования с вентилируемыми конструкциями покрытий и стен зданий [10, 11]. Экспериментально обоснована принципиальная возможность применения таких типов ограждений; показана их теплофизическая и микроклиматическая эффективность как конструкций, снижающих среднюю суточную температуру внутреннего воздуха. Были исследованы условия обеспечения надлежащей вентиляции радиационного тепла в прослойках. Для покрытий с вентиляционными каналами сечением 20×70 см эти условия обеспечиваются при скорости движения воздуха в воздушной прослойке около 1 м/с. Для стен зданий требуемое удаление радиационной тепловой нагрузки обеспечивается при расположении солнцезащитного экрана на расстоянии 5—10 см от теплозащитной части ограждающей конструкции.

Создана теория расчета вентилируемых ограждений с солнцезащитными экранами на теплоустойчивость [12].

Одним из важнейших средств смягчения летнего перегрева является ночное проветривание домов. Интенсивность аэрации помещений зависит от вида проветривания и соответственно от планировочной структуры квартиры. Нами была исследована интенсивность аэрации при различных видах проветривания в реальных условиях квартиры [13]. Наибольшая интенсивность проветривания отмечается при сквозной схеме, а наиболее неблагоприятной схемой является боковое проветривание. Угловое проветривание зависит от ориентации квартиры по отношению к ветру: оно приближается к сквозному при размещении проемов с наветренной

стороны и не дает нужного воздухообмена при расположении квартиры с подветренной стороны. Доказано, что проветривание односторонних квартир через лестничную клетку по интенсивности аэрации не отличается от сквозного.

Микроклиматическая оценка проветривания и планировочной структуры квартиры связана с режимом аэрации. При режиме ночного проветривания температурно-влажностные и аэрационные условия днем и в односторонних и двухсторонних квартирах различались незначительно, хотя некоторые преимущества оставались за сквозной схемой; при круглосуточном проветривании микроклиматические преимущества двухсторонних квартир проявлялись наиболее полно за счет более интенсивного проветривания. Однако при круглосуточном проветривании имеет место значительный нагрев помещений (максимальная температура внутреннего воздуха возрастала на 3—4°C по сравнению с режимом ночного проветривания) и при достижении температуры 29—30°C наблюдаются дискомфортные микроклиматические условия. Таким образом, круглосуточное проветривание, а соответственно и обязательность планировки квартир по принципу сквозного проветривания наиболее целесообразны в районах, где максимальная расчетная температура наружного воздуха не превышает 33—34°C.

Режим ночного проветривания обязателен в тех климатических условиях, где уменьшение перегрева жилых зданий может быть достигнуто за счет естественных средств регулирования микроклимата. В этом случае рекомендуется использование планировочной структуры квартир со сквозным проветриванием, так как важнее даже небольшой микроклиматический эффект.

Во всех иных условиях допустимы односторонние квартиры с боковым проветриванием. Для улучшения аэрационных качеств односторонних квартир в ночное время необходимо предусмотреть их проветривание через лестничную клетку. Для этого рекомендуется устройство над лестничной клеткой вытяжных аэрационных фонарей, максимальное раскрытие проемов лестницы в летнее время, применение полуоткрытых и открытых лестниц.

Рассмотрен вопрос о проветривании кухни и санитарного узла в квартире. Санитарный узел и кухня являются источниками загрязнения воздушной среды в жилище и источником дополнительных тепlopотуплений. Из данных натурных исследований делается вывод о том, что планировочная структура жилых секций должна предусматривать обеспечение самостоятельного проветривания этих ячеек вне воздушных потоков, проходящих через жилые комнаты.

В течение многих лет остаются спорными вопросы о высоте комнат и этажности южного жилища.

Выполненные исследования теплового режима квартир свидетельствуют, что изменение высоты помещений не оказывает существенного влияния на их перегрев в летний период. Увеличение высоты помещений с 2,5 до 3,6 м эквивалентно снижению температуры внутреннего воздуха на 0,6—0,8°C в периоды ночного про-

тривания и на $0,2-0,3^{\circ}\text{C}$ в периоды круглосуточного проветривания [14]. Изменение высоты помещений, таким образом, нельзя рассматривать как действенное средство в борьбе с летним перепадом. Определение оптимальной высоты помещений следует рассматривать в дальнейшем с психогигиенической точки зрения.

Исследования вопроса этажности показали, что наблюдаемые действительности температурные различия между этажами многоэтажном жилом доме объясняются охлаждающим влиянием подполья и грунта, с одной стороны, и прогревом недостаточного утепленных покрытий — с другой. Исследованиями доказано, что дополнительное перегрев верхних этажей при надлежащем выполнении покрытий не наблюдается. Отмечая микроклиматические преимущества одноэтажного жилища (и первых этажей многоэтажном здании), которые эквивалентны снижению температуры летом в среднем на $1,5-2^{\circ}\text{C}$, мы пришли к выводу, что нет никаких ограничений в строительстве многоэтажных домов Средней Азии, которые могли бы вытекать из климатической специфики. Более того, на верхних этажах многоэтажных зданий имеет место более благоприятный аэрационный режим.

Из климатических условий вытекают лишь ограничения в проектировании зданий без лифтов. Как показали физиологические измерения тепловых нагрузок на организм при подъеме по лестнице, без лифта можно строить только 3—4-этажные жилые дома (в зависимости от климатических условий).

Специальными исследованиями, выполненными в 1967—1969 гг., показано, что, используя комплекс средств естественного регулирования микроклимата (ориентация и солнцезащита, проветривание, высота помещений, теплоустойчивые конструкции, обводнение и озеленение участка), можно добиться летом температурного перепада между внешней и внутренней средами в $8-12^{\circ}\text{C}$ в зависимости от величины последовательно повышающейся наружной температуры [15]. Если ориентироваться на гигиенические нормативы микроклимата жилища, принимая за верхнюю границу комфорта температуру $26-27^{\circ}\text{C}$, получим, что при достижении максимальной температуры наружного воздуха $34-36^{\circ}\text{C}$ естественных средств регулирования микроклимата недостаточно для теплового комфорта летом и требуется искусственное охлаждение помещений.

Из различных систем регулирования микроклимата наиболее целесообразной и экономичной для жилых зданий, на наш взгляд, является система радиационного отопления — охлаждения. Исследованиями подтверждена практическая возможность создания комфортных микроклиматических условий при применении радиационной системы искусственного охлаждения помещений. Уточнены гигиенические нормативы микроклимата охлажденных помещений и условия комфортности. Верхняя граница теплового комфорта в закрытых помещениях при скорости движения воздуха менее $0,10$ м/с, относительной влажности $35-50\%$, температуре потолка $13,5-19,5^{\circ}\text{C}$ равна $26-27^{\circ}\text{C}$ (комфортная точка при равенстве

температуры воздуха и среднерадационной температуры составляет 25°C). В пустынных районах Средней Азии комфортная точка может быть равна 26°C .

Сформулировано первое условие комфортности, устанавливающее взаимосвязь между температурой воздуха и среднерадационной температурой в помещении, и второе условие комфортности устанавливающее допустимую температуру поверхности потолка при радиационном охлаждении [16].

Исследовалось оптимальное сочетание средств естественно и искусственного охлаждения помещений, а также рациональные эксплуатационные режимы работы этих систем и суточные режимы проветривания помещений. Исследования показали, что при искусственном охлаждении может быть допущено одностороннее проветривание помещений. Опровергнуто распространенное мнение о целесообразности в условиях Средней Азии круглосуточного проветривания помещений при радиационном охлаждении [17]. Исследовалась теплоустойчивость наружных ограждений при искусственном охлаждении. Показано, что при применении систем климатизации основную роль играет не теплоустойчивость ограждений, а их теплозащитные качества.

Были изучены основные архитектурно-строительные требования к охлаждаемому жилищу, которые должны обеспечить:

а) сокращение охлаждаемого объема за счет назначения оптимальной высоты помещений, рациональной планировки жилища с ограничением площадей, особенно вспомогательных, функциональными требованиями;

б) ограничение внутренних тепло- и влагопоступлений за счет планировочной локализации таких помещений, как кухня, санитарный узел, изоляции их от жилых комнат и обеспечения надлежащей вентиляции;

в) уменьшение внешних тепловых нагрузок применением рациональной ориентации и солнцезащиты зданий, обеспечением требуемого термического сопротивления ограждающих конструкций, уменьшением воздухопроницаемости стыков, ограничением площади внешних проемов светотехническими требованиями, компактной планировкой зданий с увеличением ширины корпуса.

Многолетняя работа по климатическому районированию территории Средней Азии для целей жилищного строительства завершилась выделением на данной территории трех строительско-климатических районов (за исключением высокогорной области).

Район I объединяет территории, в пределах которых борьба с летним перегревом вполне возможна за счет естественных средств регулирования микроклимата. Архитектурно-планировочная организация жилища должна способствовать максимальному эффекту каждого мелиоративного мероприятия.

Район II представляет территорию, в пределах которой для борьбы с перегревом уже необходимо введение холода в помещения. Однако перегрев здесь еще непродолжителен, а в ночные часы в помещениях, как правило, комфортно. Это позволяет в дан-

ом районе также ориентироваться на естественные средства, требованию к которым возрастают, а искусственное охлаждение рассматривать как дополнительное средство частичного и кратковременного использования.

Район III характеризуется наиболее жесткими климатическими условиями. Перегрев длителен (он отмечается 90 дней в году более), ночи жаркие; в районе распространены пыльные бури. Отличительная типологическая особенность жилищ заключается в том, что основная роль в создании внутреннего теплового комфорта отводится системам кондиционирования микроклимата, естественные средства призваны снизить тепловые нагрузки на системы, обеспечив их экономичность. Это достигается компактной планировкой дома с широким корпусом, солнцезащитой светопроемов при всех ориентациях, тепловой изоляцией кухонного блока, увеличением термического сопротивления наружных ограждений, сокращением размеров светопроемов. Кондиционирование микроклимата полное, круглосуточного использования. Допустима односторонняя планировка квартир. Открытые летние помещения нецелесообразны, рекомендуется трансформация в открытые жилые или вспомогательных помещений квартиры.

Основные результаты научно-исследовательских работ внедрены в ряде экспериментальных объектов, типовых проектах и нормативных и инструктивных документах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ершов А. В., Корбут Г. О. Построение теней солнцезащитных конструкций сложной формы.—«Строительство и архитектура Узбекистана», 1967, № 8, с. 20—29.
2. Ершов А. В., Гольдштейн Г. К. Методика расчета отражений солнечной радиации в застройке.—«Гелиотехника», 1970, № 6, с. 48—59.
3. Ершов А. В. Метод расчета тепlopоступлений через светопроем при стационарной солнцезащите. Информ. письмо, вып. 19, Ташкент, изд. Госстроя УзССР, 1968, с. 3—13.
4. Ершов А. В., Гулькаров Е. С., Ципенюк А. Л. Расчет теплоотдачи конвекцией и длиноволновым излучением от окна с солнцезащитой экранного типа.—«Гелиотехника», 1971, № 2, с. 48—54.
5. Ершов А. В., Вавилова З. А. Летний тепловой режим южного жилища в естественных условиях эксплуатации.—«Строительство и архитектура Узбекистана», 1969, № 8, с. 9—13.
6. Ершов А. В., Корбут Г. О. О функциональных и эстетических качествах солнцезащитных устройств.—«Строительство и архитектура Узбекистана», 1970, № 6, с. 45.
7. Ершов А. В., Корбут Г. О. Особенности применения солнцезащиты в многоэтажных жилых домах.—«Сб. научно-техн. информации ТашЗНИИЭП», 1965, № 7, с. 3—18.
8. Временная инструкция по расчету инсоляции и солнцезащите жилых зданий в условиях Узбекистана. Ташкент, изд. Госстроя УзССР, 1967, 46 с.
9. Временная инструкция по расчету инсоляции и солнцезащите жилых зданий школ и детских учреждений в условиях Таджикистана. Душанбе, изд. Госстроя ТаджССР, 1969, 49 с.
10. Ершов А. В., Солдатов Е. А., Кузанов А. Б. Летний температурный режим принудительно-вентилируемой крыши.—«Строительство и архитектура Узбекистана», 1965, № 7, с. 30—32.

11. Ершов А. В., Солдатов Е. А., Угрюмов Е. И. Натурные исследования теплоустойчивости экранированных стен с вентилируемой воздушной прослойкой.—«Строительство и архитектура Узбекистана», 1968, № 1, с. 38—41.
12. Угрюмов Е. И. Расчет теплоустойчивости вертикальных экранированных ограждений.—«Строительство и архитектура Узбекистана», 1970, № 1, с. 38—40.
13. Ершов А. В. Система проветривания и планировочная структура жилого дома в Узбекистане.— В кн.: Исследования по микроклимату населенных мест и зданий и по строительной физике. Сб. 2. М., Госстройиздат, 1967, с. 48—52.
14. Мерпорт И. А., Ершов А. В. Влияние проветривания на микроклимат помещений разной высоты.—«Сб. научно-техн. информации», Душанба, 1962, № 8, с. 22—27.
15. Ершов А. В. Уточнение строительного-климатического районирования территории Средней Азии.—«Жилищное строительство», 1967, № 4, с. 12—14.
16. Ершов А. В., Минчук В. И. Расчетные комфортные условия в жилых зданиях с потолочной системой радиационного отопления — охлаждения.—«Строительство и архитектура Узбекистана», 1970, № 5, с. 31—35.
17. Ершов А. В., Насонов Е. А. Методы совместного использования искусственного охлаждения и естественных средств улучшения микроклимата жилища.—«Строительство и архитектура Узбекистана», 1968, № 1, с. 35—38.

Я. Д. ПЕКЕР, А. М. АЙЗЕН, М. Д. РАБИНОВИЧ

КЛИМАТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАСЧЕТА ГОДОВЫХ РАСХОДОВ ЭНЕРГИИ СИСТЕМАМИ ОТОПЛЕНИЯ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА

Сложность расчетов годовых расходов объясняется разнообразием реально возможных комбинаций климатических факторов, влияющих на мгновенные расходы тепла и холода.

Для расчета суммарного годового потребления энергии необходимо знать продолжительность воздействия климатических параметров, определяющих текущие режимы работы оборудования. Суммарное потребление вычисляется по формуле

$$W^{\text{год}} = \int_{z_0}^{z_1} Q(z) dz, \quad (1)$$

где $Q(z)$ — нагрузка как функция времени.

Таким образом, годовые расходы энергии, связанные с наружными климатическими воздействиями, равны сумме произведений продолжительности периодов на расход энергии, соответствующий воздействию климатических параметров за эти периоды.

Продолжительности периодов потребления энергии определяются в настоящее время числом суток со средними температурами наружного воздуха выше (период охлаждения) или ниже (период отопления) определенного уровня.

Общепринятая методика определения годового расхода тепла на отопление построена с учетом продолжительности отопительного периода и средней за этот период температуры наружного воздуха, величины которых приведены в СНиП П-А.6-62. Продолжительность отопительного периода по СНиП П-А.6-62 определяется по числу дней с устойчивой средней суточной температурой наружного воздуха 8°C и ниже. Отсутствие должной климатологической основы иллюстрируется изменением значений критических температур наружного воздуха, характеризующих продолжительность отопительного периода (например, в отечественных нормативах с $4,5$ до 8°C). В ГДР, ФРГ, Швеции, США, Канаде и ряде

других стран длительность отопительного периода определяется средними суточными температурами 12°C и ниже.

Для систем кондиционирования воздуха (КВ) период охлаждения определяется числом месяцев, для которых средние энтальпии наружного воздуха больше энтальпии воздуха в камере охлаждения [7].

Очевидно, продолжительность периода отопления и охлаждения зависит от теплового баланса помещений. Чем меньше период осреднения климатических параметров, тем выше точность расчета. В разработанных в КиевЗНИИЭП методах расчета годовых затрат энергии осреднение климатических параметров производится по средним месячным данным [формула (2)], по периодам суток (1-й период—0,8 ч, 2-й период—8—16 ч, 3-й период—16—24 ч) и по часам суток.

Так как при определении годового расхода тепла на отопление для основной территории СССР можно пренебречь влиянием инфильтрационных теплопотерь от ветра [2], то для зданий с приточной вентиляцией или зданий до девяти этажей без вентиляции формула для расчета годовых трансмиссионных теплопотерь [в ккал/(м²·год)] через каждое вертикальное ограждение с учетом теплопотока от солнечной радиации имеет вид

$$W_T^{\text{год}} = \sum_1^z \left\{ n_m \left[(1 - \varphi) R_{\text{ст}}^{-1} (t_{\text{в}} - t_{\text{ср. м}}) 24 + \varphi R_{\text{ост}}^{-1} (t_{\text{в}} - t_{\text{ср. м}}) 24 - \varphi I_{\text{ср}}^{\text{п}} \tau_{\text{ср}}^{\text{п}} \right] - \frac{\varphi}{2} \left(I_{\text{Г}}^{\text{п}} + I_{\text{Г}}^{\text{сум}} \frac{A_0 - 15}{100} \right) \tau_{\text{д}} \right\}, \quad (2)$$

где z — период отопления в месяцах; n_m — число дней в месяце; φ — коэффициент остекления (отношение площади остекления к площади фасада); $R_{\text{ст}}$ и $R_{\text{ост}}$ — сопротивление теплопередаче стены и остекления (м²·ч·°C/ккал); $t_{\text{в}}$ и $t_{\text{ср. м}}$ — температура воздуха помещения и средняя месячная температура наружного воздуха (°C); $I_{\text{ср}}^{\text{п}}$ и $\tau_{\text{ср}}^{\text{п}}$ — суточная интенсивность прямой солнечной радиации и средний за сутки коэффициент пропускания солнечной радиации двойным остеклением; $I_{\text{Г}}^{\text{п}}$ и $I_{\text{Г}}^{\text{сум}}$ — месячные величины рассеянной солнечной радиации и суммарной радиации падающей на горизонтальную поверхность [ккал/(м²·ч)]; A_0 — альbedo подстилающей поверхности (%); $\tau_{\text{д}}$ — коэффициент пропускания остеклением диффузной радиации.

В табл. 1 приведены удельные годовые расходы тепла на отопление с учетом теплопритока от солнечной радиации, определенные по формуле (2), методике ГГО [2] и по общепринятой методике без учета влияния ветра для жилого здания ($t_{\text{в}}=18^\circ\text{C}$). Исходные данные: $R_{\text{ст}}=0,915$, $R_{\text{ост}}=2,5$ м²·ч·°C/ккал, $\varphi=0,3$. В соответствии с формулой (2) расчет произведен посуточно по средним месячным данным.

При расчете отраженной и рассеянной радиации яркость неба во всех направлениях считается равномерной. Для учета фактической облачности приходится принимать, что величина входя-

й на вертикальную поверхность рассеянной радиации равна половине величины рассеянной радиации на горизонтальную поверхность. Аналогично считается, что величина отраженной радиации равна половине суммы отраженной от горизонтальной поверхности прямой и рассеянной радиации. При определении годового расхода тепла выполнялось следующее условие: суточный

Таблица 1

Сравнение удельных расходов тепла на отопление

Этаж	Ориентация	Продолжительность (сут) отопительного периода по данным		Годовой расход тепла на отопление (ккал/м ²)			
		СНиП	ГГО	ГГО	формула (2) ¹	формула (2) ²	по общепринятой методике
Шкент	Юг	131	0	0	8 813(16)	0	54 977(100)
	Восток		111	17 265(31)	26 120(48)	24 109(44)	
Касса	Юг	160	117	18 672(23)	20 796(26)	18 402(23)	80 157(100)
	Восток		149	35 707(44)	37 591(47)	37 059(46)	
Сев	Юг	191	133	30 105(31)	37 424(39)	32 714(34)	96 187(100)
	Восток		167	48 391(50)	52 615(55)	52 386(54)	

Примечание. В скобках приведены проценты от сумм тепла по общепринятой методике.

¹ Продолжительность отопительного периода по СНиП II-A-6-62.

² То же по данным ГГО (по тепловому балансу).

Расход тепла от солнечной радиации не должен быть больше теплопотерь, т. е. учитывался только полезно используемый теплоприток от солнечной радиации. Этим объясняется увеличение расходов тепла на отопление по нашему расчету по сравнению с данными ГГО (от 0 до 4%, максимум 13%) при одинаковой продолжительности отопительного периода.

Полезное использование тепла солнечной радиации достигается при наличии в системе отопления автоматических терморегуляторов, прекращающих подачу теплоносителя при повышении температуры воздуха в помещении.

Уточненный метод определения количества прямой солнечной радиации, поступающей на вертикальные ограждения при безоблачном небе, основанный на использовании данных многолетних наблюдений за прямой солнечной радиацией, падающей на перпендикулярную поверхность, разработан А. И. Кругловой [9]. Ею же получены расчетные почасовые величины для всех месяцев для различных ориентаций при температуре от 38 до 62°C. З. И. Пиваровой [14] для ряда географических пунктов получены суточные суммы прямой солнечной радиации на вертикальной поверх-

ности за весь год при действительных условиях облачности. Д непосредственного получения суммы прямой радиации на вертикальной поверхности Пивоварова [14] приводит множитель к сумме прямой радиации на горизонтальную поверхность для основных ориентаций, всех месяцев года и различных широт для Европейской территории СССР, Западной Сибири и Средней Азии (упрощенный метод).

К КиевЗНИИЭП [13] составлены программы для ЭВМ для определения почасовых значений интенсивности прямой солнечной радиации, поступающей на вертикальную поверхность.

В табл. 2 приведены величины интенсивности прямой солнечной радиации на вертикальные поверхности при действительных условиях облачности для Одессы и Киева по данным расчетов КиевЗНИИЭП [21, 13, 16], ГГО при упрощенном пересчете [1] и НИИСФ [9]. В последнем случае для получения сопоставимых данных величины интенсивности прямой солнечной радиации для безоблачного неба умножались на отношение фактически наблюдавшегося числа часов солнечного сияния в данный месяц к возможному (по данным «Справочника по климату СССР»).

Очевидно, что величины интенсивности прямой солнечной радиации для безоблачного неба нельзя использовать при вычислении годовых расходов энергии, так как их превышение над таковыми при фактических условиях облачности может достигать 600%. За 100% принимались данные ГГО [14]. Величины, рассчитанные по данным КиевЗНИИЭП и упрощенному методу ГГО, расходятся с данными ГГО на 29%. Наименее точными оказались данные расчетов для безоблачного неба с введением коэффициента (отличие от данных ГГО до 93%).

Значения средней суточной интенсивности прямой солнечной радиации, поступающей на вертикальную поверхность за каждый месяц, при фактических условиях облачности определены нами для ряда городов путем осреднения почасовых данных.

Расчет по периодам суток дает возможность учесть расходную часть радиационного баланса — эффективное длинноволновое излучение в ночное время. Запаздывание теплопритока от солнечной радиации вследствие аккумуляции его ограждениями помещений и мебелью принято равным 2 ч. По часовым значениям климатических параметров для каждого месяца определяются осредненные почасовые значения суммарной радиации на вертикальную поверхность ограждений зданий по периодам суток:

$$I_1^{\text{сум}} = 0,625 \sum_0^{23} \bar{B}, \quad (3)$$

$$I_2^{\text{сум}} = 1,25 \left[\sum_1^{14} I^{\text{п}} + \frac{\sum_1^{14} I^{\text{р}} + \frac{A_0}{100} \sum_1^{14} I^{\text{р}}}{2} \right], \quad (4)$$

Сравнение значений прихода прямой солнечной радиации на вертикальную поверхность (в числителе — ккал/(м²·сут), в знаменателе — проценты)

Месяц	Киев												Одесса			
	Юг				Восток				Юг				Восток			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Январь	465	631	725	616	83	103	116	145	837	809	782	820	175	154	146	206
Февраль	74	100	115	98	81	100	113	141	103	100	97	101	114	100	95	134
Март	966	1050	967	1014	251	246	959	292	928	952	913	1142	264	263	246	362
Апрель	92	100	92	97	102	100	105	119	97	100	96	120	100	100	94	138
Май	1383	1317	1135	1307	603	560	558	613	1289	1281	1209	1506	581	541	586	733
Июнь	105	100	96	89	108	100	100	109	101	100	94	118	107	100	108	135
Июль	1115	1128	1096	1372	834	841	805	1011	1357	1382	1349	1553	971	958	1063	1220
Август	99	100	97	122	99	100	96	120	98	100	98	112	101	100	111	127
Сентябрь	1070	1027	984	1428	1155	1132	971	1551	1165	1139	1154	1280	1305	1252	1306	1587
Октябрь	104	100	91	139	102	100	86	137	102	100	101	142	104	100	104	127
Ноябрь	970	1011	997	1225	1416	1424	1201	1647	1073	991	1127	1058	1593	1406	1542	1654
Декабрь	96	100	99	121	99	100	84	116	108	100	114	107	113	100	110	118
	1103	1064	812	1322	1406	1356	1122	1652	1227	1266	1139	1210	1751	1602	1639	1764
	104	100	16	124	104	100	83	122	97	100	90	95	103	100	97	104
	1230	1370	1285	1615	1000	1146	1067	1420	1758	1733	1624	1661	1625	1528	1473	1666
	90	100	94	110	92	100	93	124	101	100	94	96	106	100	96	110
	1545	1655	2128	1899	904	880	830	1098	2196	2132	2545	2188	1263	1172	1217	1349
	1407	1493	1238	1639	474	480	488	622	1798	1771	1501	1883	638	591	639	777
	94	100	83	110	99	100	102	130	102	100	85	106	108	100	108	131
	479	553	525	833	93	111	123	207	743	726	836	1136	171	162	207	313
	87	100	95	151	84	100	111	186	102	100	115	156	106	100	128	193
	442	495	518	460	85	86	98	94	706	672	788	629	137	122	142	139
	89	100	111	193	99	100	114	109	105	100	117	94	112	100	116	114

Примечание. Здесь 1—КиевЗНИИЭП (Е. Ф. Токарева); 2—ГГО (З. И. Пивоварова); 3—ГГО (З. И. Пивоварова); 4—НИИСФ (А. И. Круглова, с учетом облачности), упрощенный метод).

$$I_3^{\text{сум}} = 0,625 \left[\left(1 - \frac{A_0}{100} \right) \sum_{15}^{22} I_{\Gamma}^{\text{п}} - \sum_{15}^{22} \bar{B} \right] + \\ + 1,25 \left(\sum_{15}^{22} I_{\Gamma}^{\text{п}} + \frac{\sum_{15}^{22} I_{\Gamma}^{\text{р}} + \frac{A_0}{100} \sum_{15}^{22} I_{\Gamma}^{\text{п}}}{2} \right),$$

где $I^{\text{п}}$ — интенсивность прямой солнечной радиации на вертикальную поверхность, ккал/(см²·ч); B — радиационный баланс, ккал/(см²·ч); $I_{\Gamma}^{\text{р}}$ — интенсивность рассеянной радиации на горизонтальную поверхность, ккал/(см²·ч); $I_{\Gamma}^{\text{п}}$ — интенсивность прямой солнечной радиации на горизонтальную поверхность при действительных условиях облачности, ккал/(см²·ч). Единицы измерения $I_1^{\text{сум}}$, $I_2^{\text{сум}}$ и $I_3^{\text{сум}}$ — ккал/(см²·ч).

Нами рассчитаны для ряда городов средние для периодов суток и почасовые значения интенсивности прямой и диффузной солнечной радиации на вертикальную поверхность.

На расчет годовых расходов энергии значительное влияние оказывают способ обработки, количество учитываемых параметров и периоды их осреднения. Различаются две основные группы методов по способу осреднения параметров: по климатическим характеристикам и по времени осреднения.

Методы осреднения по климатическим характеристикам базируются на данных о распределении и вероятной продолжительности воздействия климатических параметров. Эти методы не учитывают внутренних тепловыделений в помещениях, теплопритока от солнечной радиации. При вычислении по частоте повторения энтальпии расчетные данные о температуре наружного воздуха и интенсивности солнечной радиации оказываются весьма осредненными. Если прирост энтальпии, учитывающий постоянные внутренние теплоизбытки, можно найти опытным или расчетным путем, то в отношении переменной солнечной радиации это весьма затруднительно.

Осреднение климатических параметров во времени дает возможность увязать их между собой, т. е. принимать осредненные параметры (температуру, энтальпию, прямую и рассеянную солнечную радиацию, коэффициенты теплопропускания солнечной радиации) за один и тот же промежуток времени. Основной характеристикой возможных колебаний климатических характеристик за многолетний период является закон распределения вероятностей их появления, выражаемый в виде кривой обеспеченности.

В работе [15] годовые расходы холода рекомендуется определять с помощью таблиц числа часов дискомфорта (среднее число часов за год с энтальпией наружного воздуха выше заданной). Такие таблицы составлены для 97 географических пунктов Советского Союза по срочным (4 раза в сутки) наблюдениям метеорологических станций с 1945 по 1954 г. Таблицы числа часов дискомфорта построены на основе статистической обработки энтальпии

ружного воздуха. Таблицы повторяемости температур по часам ток каждого месяца в Киеве за период с 1953 по 1963 г. составлены в результате обработки наблюдений за температурой наружного воздуха на метеорологической станции. По этим таблицам определяются годовые и месячные расходы холода (при сухом охлаждении воздуха) и тепла на отопление, а также расходы для всего периода суток.

В работе [13] предложены формулы для определения вероятной продолжительности воздействия температуры наружного воздуха выше любой произвольной выбранной за каждые сутки при известных средней суточной температуре и амплитуде ее изменения. Для определения этой продолжительности за весь расчетный период надо знать вероятность числа суток с определенными значениями средней суточной температуры и ее амплитуды.

Более высокой степенью является вероятностная обработка нескольких метеорологических факторов. Такую обработку для определения расчетных параметров произвели А. Е. Анапольская, Л. С. Гандин (для сочетания температура — скорость ветра), Н. Богословский и Е. Г. Гречушникова (температура и солнечная радиация), Л. Б. Успенская и А. Я. Креслин (температура относительная влажность).

Вероятностная обработка нескольких параметров для определения годовых расходов чрезвычайно сложна и становится перспективной лишь при использовании ЭВМ. Однако и для применения ЭВМ необходимо иметь информацию о режиме совокупности влияющих на годовые расходы энергии метеорологических элементов, т. е. надо иметь сведения о статистических закономерностях метеорологического комплекса. Чем из большего числа элементов состоит комплекс, тем менее надежными при одном и том же объеме исходных данных являются статистические сведения о нем. Практически не удается получить достаточно надежные статистические данные уже для двухпараметрического комплекса, не говоря уже о комплексе, состоящем из трех или более метеорологических элементов. Поэтому весьма важно, чтобы расчетная схема позволяла перейти от комплексов к комплексным характеристикам — величинам, каждая из которых зависит от ряда метеорологических элементов, но определяется заданным, вытекающим из математической модели способом, и поэтому повторяемости различных значений такой комплексной характеристики могут быть оценены достаточно надежно [1].

Для определения возможных колебаний расхода топлива на отопление в работе [20] принята комплексная характеристика — количество градусо-дней. Распределение вероятностей появления тех или иных расходов тепла выражено кривой обеспеченности биномиального вида. На основе обработки климатологических данных за 50 лет получены для ряда городов кривые обеспеченности годового расхода тепла, выраженного в градусо-днях. Комплексная характеристика «градусо-день» учитывает только один климатиче-

ский параметр — температуру, осреднение по градусо-дням являясь довольно грубым.

При определении годовых расходов тепла и холода случайные колебания всех воздействующих на здание климатических факторов выражаются в тепловой нагрузке (тепловом потоке). Годовые расходы энергии характеризуются средними значениями (математическое ожидание) и отклонением (дисперсия). По часовым значениям тепловой нагрузки в период потребления энергии при заданных вероятностях рассчитываются величины годового расхода энергии или вероятности их отклонения от средних значений.

Рассмотрим одновременное воздействие на оконную часть наружного ограждения основных метеорологических параметров: температуры наружного воздуха t_n , прямой I^n и диффузной солнечной радиации, скорости ветра v . Комплексная характеристика для определения теплового потока через окна может быть получена на наружной поверхности ограждения в виде суммарной температуры наружного воздуха $t_{\text{сум}}$, которая складывается из средней часовой температуры наружного воздуха t_n , соответствующей по времени периоду облучения ограждения солнечными лучами, и температуры, полученной в результате воздействия солнечной радиации $t_{\text{экр}}$:

$$t_{\text{сум}} = t_n + t_{\text{экр}} = t_n + \frac{P(I^n + I^p)}{\alpha_n}, \quad (6)$$

где P — коэффициент отраженной солнечной радиации.

Задача об определении закона распределения теплового потока через ограждения решалась следующим образом: по данным многолетних наблюдений за изменением температуры наружного воздуха, прямой и рассеянной солнечной радиации, скорости ветра вычислялись величины математического ожидания m_x и дисперсии σ_x .

При нормальном распределении климатических параметров и плотности имеют вид

$$f(x) = \frac{1}{\sigma_x \sqrt{2\pi}} \exp \left\{ -\frac{(x - m_x)^2}{2\sigma_x^2} \right\}. \quad (7)$$

Далее находится закон распределения суммы прямой и рассеянной радиации согласно [21]:

$$f(x) = \frac{1}{P \sqrt{2\pi} \sqrt{\sigma_n^2 + \sigma_p^2}} \exp \left\{ -\frac{[x - P(m_p + m_n)]^2}{2P^2(\sigma_n^2 + \sigma_p^2)} \right\} \quad (8)$$

или

$$f(x) = \frac{1}{\sigma_x \sqrt{2\pi}} \exp \left\{ -\frac{(x - m_x)^2}{2\sigma_x^2} \right\}, \quad (9)$$

где

$$\sigma_x = P \sqrt{\sigma_n^2 + \sigma_p^2},$$

$$m_x = P(m_n + m_p).$$

Положим $\alpha_n = y = 3 + 2,5v$, где v — случайная величина, распределенная по нормальному закону типа (8). Плотность распределения вероятности запишется в виде [6]

$$f(y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma_v \cdot 2,5} \exp \left\{ -\frac{[y - (2,5m_v + 3)]^2}{2 \cdot 2,5^2 \cdot \sigma_v^2} \right\}$$

ли

$$f(y) = \frac{1}{\sigma_y \sqrt{2\pi}} \exp \left\{ -\frac{(y - m_y)^2}{2\sigma_y^2} \right\}, \quad (10)$$

де

$$\sigma_y = 2,5 \sigma_v, \quad m_y = 2,5m_v + 3.$$

Закон распределения частного [10] представляется следующим образом: если $z = \frac{x}{y}$, то

$$f(z) = \int_0^{\infty} y f_x(zy) f_y(y) dy - \int_{-\infty}^0 f_x(zy) f_y(y) dy. \quad (11)$$

Законы распределения x и y уже вычислены [формулы (9) и (10)]. Определяем $f(z)$:

$$f(z) = \int_0^{\infty} y \frac{1}{\sigma_x \sqrt{2\pi}} \exp \left\{ -\frac{(zy - m_x)^2}{2\sigma_x^2} \right\} \frac{1}{\sigma_y \sqrt{2\pi}} \exp \left\{ -\frac{(y - m_y)^2}{2\sigma_y^2} \right\} dy - \int_{-\infty}^0 \frac{1}{\sigma_x \sqrt{2\pi}} \exp \left\{ -\frac{(zy - m_x)^2}{2\sigma_x^2} \right\} \frac{1}{\sigma_y \sqrt{2\pi}} \exp \left\{ -\frac{(y - m_y)^2}{2\sigma_y^2} \right\} dy. \quad (12)$$

Интегрирование производится выделением под знаком экспоненты полного квадрата y и представлением показателей в виде суммы двух частей: $a(y - A)^2$ и части, не зависящей от y и представляющей некоторую функцию z , которая выносится за знак интеграла. Интегрирование и сложение дают в результате следующий вид плотности распределения:

$$f(z) = \frac{b}{\pi(b^2 + z^2)} \exp \left\{ -\frac{(z - m_z)^2}{a(b^2 + z^2)} \right\}, \quad (13)$$

где

$$b = \frac{\sigma_x}{\sigma_y}, \quad a = \frac{2\sigma_y^2}{m_y^2}, \quad m_z = \frac{m_x}{m_y}.$$

Для нахождения плотности распределения суммарной температуры

$$t_{\text{сум}} = t_n + z$$

используются найденные плотности распределения наружной [формула (10)] и эквивалентной температуры [формула (13)]:

$$f(t_{\text{сум}}) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t_{\text{н}} - z) f(z) dz$$

или

$$f(t_{\text{сум}}) = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{b}{\pi (b^2 + z^2)} \exp \left\{ -\frac{(z - m_z)^2}{a(b^2 + z^2)} \right\} \frac{1}{\sigma_t \sqrt{2\pi}} \exp \left\{ -\frac{(t_{\text{н}} - z - m_t)^2}{2\sigma_t^2} \right\} dz, \quad (14)$$

где m_t и σ_t — математическое ожидание и дисперсия распределения случайной величины наружной температуры.

После преобразований формула (14) имеет вид

$$f(t_{\text{сум}}) = \frac{b}{\pi \sqrt{2\pi} \sigma_t} \int_{-\infty}^{\infty} (b^2 + z^2)^{-1} \exp \left\{ -\frac{1}{a} \frac{(z - m_z)^2}{b^2 + z^2} - \frac{(t_{\text{н}} - z - m_t)^2}{2\sigma_t^2} \right\} dz. \quad (15)$$

В результате интегрирования уравнения (15) получим закон распределения суммарной температуры. Для нахождения закона распределения теплового потока q , проходящего через стенку, решим уравнение теплопроводности для стационарного случая

$$\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} = 0 \quad (16)$$

с граничными условиями

$$t|_{x=0} = t_{\text{сум}}, \quad \lambda \frac{\partial t}{\partial x} + \alpha_B (t - t_B)|_{x=\delta} = 0. \quad (17)$$

Решение (16) дает

$$t = \frac{t_B - \alpha_B t_{\text{сум}}}{\lambda + \alpha_B \delta} x + t_{\text{сум}}. \quad (18)$$

Тепловой поток определяется по формуле

$$q = -\lambda \frac{\partial t}{\partial x} \quad (19)$$

или

$$q = -p + r t_{\text{сум}}, \quad (20)$$

где

$$p = \frac{\lambda t_B}{\lambda + \alpha_B \delta}; \quad r = \frac{\alpha_B \lambda}{\lambda + \alpha_B \delta}.$$

Тогда плотность распределения теплового потока q равна

$$f(q) = \frac{b}{r \pi \sigma_t \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} (b^2 + z^2)^{-1} \exp \times \left\{ -\frac{1}{a} \frac{(z - m_z)^2}{b^2 + z^2} - \frac{\left(\frac{q + p}{2} - z - m_t \right)^2}{2\sigma_t^2} \right\} dz. \quad (21)$$

Вычисление плотности распределения по соотношению (21) является весьма сложной задачей. Тем не менее, задавая набор начений q , можно каждый раз вычислить определенный интеграл (21) численно. Таким образом, можно получить приближенную плотность вероятности изменения теплового потока.

В качестве примера применим изложенный метод для определения плотности распределения теплового потока через однослойную керамзитобетонную панель с $\delta=0,25$ м и $\lambda=0,3$ ккал/(м·ч·°С) при температуре внутреннего воздуха $t_{в}=24^{\circ}\text{C}$ и коэффициенте внутреннего теплообмена $\alpha_{в}=1,5$ ккал/(м²·ч·°С). По данным замеров климатических параметров находились математические ожидания и дисперсии по формулам:

$$m_x = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \quad \sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - m_x)^2}{n-1}}, \quad (22)$$

причем в основе обработки лежало предположение, что в течение месяца на изменение величины параметров мало влияет годовой цикл. Это дало возможность увеличить выборку.

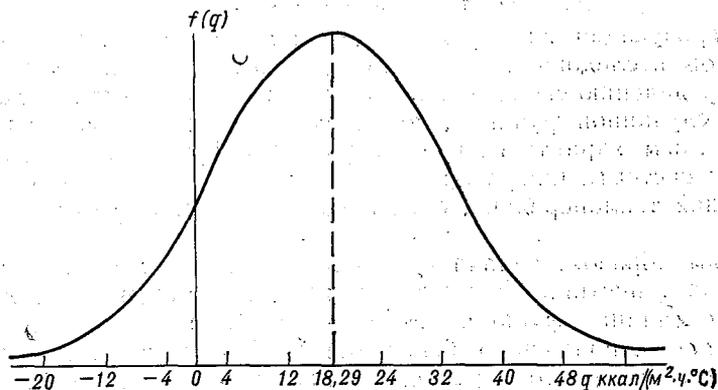


Рис. 1. График функции распределения теплового потока.

Результаты вычислений закона распределения теплового потока представлены на рис. 1. Кривая распределения позволяет оценить вероятность появления любого значения теплового потока q и вычислить значение доверительных вероятностей на доверительных интервалах. Так, например, вероятность P попадания q в интервал $18,29 \pm 14,43$ равна 68%, а для интервала $18,29 \pm 28,88$ $P=0,95$.

Построение плотности распределения теплового потока может быть использовано в тех случаях, когда расчетами не учитываются инерционные качества и внутренние условия в помещении — реакция помещения на климатические воздействия, а изменение климатических воздействий учитывается дискретно. В тех же случаях,

когда учитываются процессы нестационарной теплопередачи в помещении, получение вероятностных характеристик наружных климатических воздействий требует рассмотрения влияний отдельных параметров климата не как набора случайных величин, а в виде случайного непрерывного процесса, т. е. многолетней колебаний наружных климатических параметров следует рассматривать как совокупность случайных функций. В основу математической модели для оценки влияния метеорологических элементов на тепловой режим помещения и связанный с ним расход энергии может быть положен вероятностный аппарат теории случайных функций. При этом комплекс климатических воздействий и ответная реакция помещения могут быть представлены в виде динамической системы A , на вход которой подаются сигналы (отдельные климатические параметры) в виде случайных функций $\tilde{x}_N(\xi)$, где N — количество воздействующих климатических факторов.

Система A , т. е. рассматриваемое помещение, подвергает входные воздействия некоторым преобразованиям, в результате чего на выходе системы появляется случайная функция $y(\xi)$:

$$\tilde{y}(\xi) = A\{\tilde{x}_1(\xi), \tilde{x}_2(\xi), \dots, \tilde{x}_N(\xi)\}, \quad (23)$$

характеризующая ответную реакцию помещений (тепловой поток). При этом исследование поведения динамической системы сводится к определению свойств самой системы и вероятностных характеристик случайной функции, получаемой на выходе системы по вероятностным характеристикам случайных функций, поступающих на вход системы. Оператором системы является уравнение нестационарной теплопередачи, описывающее тепловой режим помещения.

Таким образом, задача определения повторяемости комплексной характеристики — тепловой нагрузки помещения — методами теории случайных функций сводится: 1) к обработке входных сигналов, т. е. к получению вероятностных характеристик отдельных климатических факторов; 2) описанию оператора системы, воспринимающей и преобразующей входные сигналы, т. е. к математической записи процессов теплообмена в помещении; 3) вероятностной обработке выходного сигнала (теплового потока).

На вход рассматриваемой динамической системы помещения поступает несколько случайных функций (температура, скорость ветра, интенсивность прямой и диффузной солнечной радиации). Возникает задача сложения случайных функций, точнее, задача определения характеристики суммы по характеристикам слагаемых. Эта задача решается просто, если складываемые функции независимы (точнее, не коррелированы между собой). В общем же случае для ее решения необходимо знать взаимную корреляционную функцию (корреляционную функцию связи). Из физических соображений ясно, что ветер не зависит от температуры и радиаций, т. е. их взаимная корреляционная функция равна нулю. Наличие зависимости между температурой и солнечной радиацией

между прямой и диффузной солнечной радиацией должно быть исследовано взаимными корреляционными функциями. В первом приближении все функции климатообразующих факторов считаются независимыми.

Различают стационарные и нестационарные случайные функции. Свойства стационарной случайной функции зависят не от начала отсчета аргумента ξ , а от взаимного расположения значений $\xi_1, \xi_2, \xi_3, \dots, \xi_n$. Отсюда, в частности, вытекает, что

$$\tilde{x}(\xi) = \text{const}, \quad \tilde{D}_x(\xi) = \text{const}, \quad \tilde{K}(\xi_1, \xi_2) = \tilde{K}(\xi_2 - \xi_1). \quad (24)$$

Суточные изменения основных климатических параметров — температуры и солнечной радиации — в летнее время имеют гармонический характер или близкий к нему. Поэтому случайный процесс климатических воздействий, представленный в виде суточного хода, является нестационарным, что вызывает значительные математические трудности для определения корреляционных функций случайных процессов.

Одним из способов вероятностного описания колебаний метеорологических факторов является спектральный метод. Спектр стационарной случайной функции описывает распределение дисперсий по различным частотам функции. Зная спектральную плотность, можно найти корреляционную функцию, и наоборот. Спектральные компоненты процесса, соответствующие в этом представлении отдельным участкам спектра, могут быть выделены при помощи специально подобранных фильтров-устройств, пропускающих гармонические колебания с определенным интервалом частот, но задерживающих колебания прочих частот.

Спектральная теория применяется к стационарным случайным процессам. В работе Н. З. Ариель [4] оценивается влияние периодического изменения. Если использовать преобразование Фурье корреляционной функции, умноженной на фильтр, то на спектр стационарного процесса как бы наложится спектр в виде прямоугольника. Так как влияние синусоидальной средней сказывается на основном спектре (спектре случайного процесса) в виде наложения некоторого прямоугольника, то можно предложить, что при $\sigma^2 > A^2/2$ это влияние будет малозаметным.

В работе Ф. З. Лукиной [11] рассматриваются колебания температуры наружного воздуха, а также ослабление этих колебаний при прохождении через непрозрачное ограждение. Исследование колебаний температуры наружного воздуха проводится на основе спектрального представления температуры. Показано [11], что величина, характеризующая ослабление колебаний температуры ограждающей конструкцией, зависит от частоты колебаний ω . В связи с этим имеет большой практический смысл построение спектра колебаний температуры, его изучение и анализ.

Следующим этапом после обработки входных сигналов является описание оператора системы, в рассматриваемой задаче — системы уравнений для решения нестационарного теплового режима помещений.

Выражения для математического ожидания и корреляционной функции выходного сигнала — теплового потока в помещении — находят исходя из свойств характеристик случайных функций и линейных однородных спектров, преобразующих систему [10].

Таким образом, использование теории случайных процессов для определения вероятностей продолжительности определенных тепловых нагрузок дает возможность учитывать комплексное влияние климатических факторов на годовые расходы энергии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Анапольская Л. Е., Гандин Л. С. Теоретические основы строительной климатологии.— В кн.: Современные проблемы климатологии. Л., Гидрометеиздат, с. 263—279.
2. Анапольская Л. Е., Гандин Л. С. Тепловой режим зданий в различных климатических условиях. Информ. письмо № 17. Докл. по прикладной климатологии на ВДНХ СССР. М., Гидрометеиздат, 1969, с. 3—15.
3. Айзен А. М., Ципенюк А. Л. Анализ изменчивости солнечной радиации с помощью статистической теории выбросов.— Труды ГГО, 1969, вып. 250, с. 139—147.
4. Ариель Н. З. Оценка искажений и погрешностей расчета спектров по экспериментальным данным.— Труды ГГО, 1968, вып. 226.
5. Богословский В. Н., Кувшинов Ю. Я. Годовые затраты тепла и холода системами кондиционирования микроклимата.— Информ. вып. ГПИ «Сантехпроект», 1968, № 6.
6. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. М., «Наука», 1969. 276 с.
7. Инструкция по определению экономичности проектов отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха в производственных зданиях. М., ГПИ «Сантехпроект», 1964. 30 с.
8. Креслин А. Я. Продолжительность потребления тепла и холода системами кондиционирования воздуха.— В кн.: Вентиляция и кондиционирование воздуха. Рижский политехн. ин-т, 1969, с. 58—68.
9. Круглова А. И. Климат и ограждающие конструкции. М., Стройиздат, 1970, 168 с.
10. Лифищ Н. А., Пугачев В. Н. Вероятный анализ систем автоматического управления. Т. 1. М., «Советское радио», 1963. 896 с.
11. Лукина Ф. З. Спектр колебаний температуры воздуха по данным метеорологических наблюдений.— Труды ГГО, 1969, вып. 250, с. 82—87.
12. Обработка климатологических данных по методике с учетом коэффициентов обеспеченности для расчета систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха. М., изд. Промстройпроекта, 1970. 130 с.
13. Пекер Я. Д., Шмедрик А. А., Токарева Е. Ф. Комплекс программы для расчетов теплоизоляции жилых и общественных зданий ЭВМ «Напри». Изд. КиевЗНИИЭП, 1970.
14. Пивоварова З. И. Прямая солнечная радиация, поступающая на стены зданий.— Труды ГГО, 1967, вып. 193, с. 73—118.
15. Расчетные параметры наружного воздуха для проектирования систем кондиционирования воздуха по различным городам СССР. ГПИ-1. М., изд. Минлегрпром СССР, 1966.
16. Токарева Е. Ф. Поступления солнечной радиации на наружные вертикальные поверхности и внутрь помещений.— Труды ГГО, 1969, вып. 250, с. 148—158.
17. Справочник по климату СССР. Л., Гидрометеиздат, 1966—1967.
18. Успенская Л. Б. Основные климатологические данные для расчета систем кондиционирования воздуха.— Сб. трудов ВНИИГС, 1958, № 9, с. 108—121.

Участкин Н. В. Определение годового расхода в системах кондиционирования воздуха.—«Холодильная техника», 1970, № 11, с. 29—30.

Хрилев Л. С., Иванов О. А. Статистический анализ колебаний температуры воздуха с применением ЭВМ (к методике расчета расхода тепла на отопление).—Изв. СО АН СССР, сер. техн. наук, 1965, т. 2, вып. 1, с. 104—113.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНОГО ТЕПЛООБМЕНА ОТАПЛИВАЕМЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

Решение целого ряда задач проектирования и эксплуатации отапливаемых помещений в настоящее время должно базироваться на достаточно полном математическом описании нестационарных процессов теплообмена. Независимо от характера решаемой задачи исследованию подлежит в первую очередь вопрос о влиянии тех или иных факторов на температурный режим помещения, который определяется переменными метеорологическими условиями, бытовыми тепловыделениями и переменными параметрами теплоносителя. На рис. 1 показана структурная схема отапливаемого помещения, которая охватывает все основные связи параметров ка

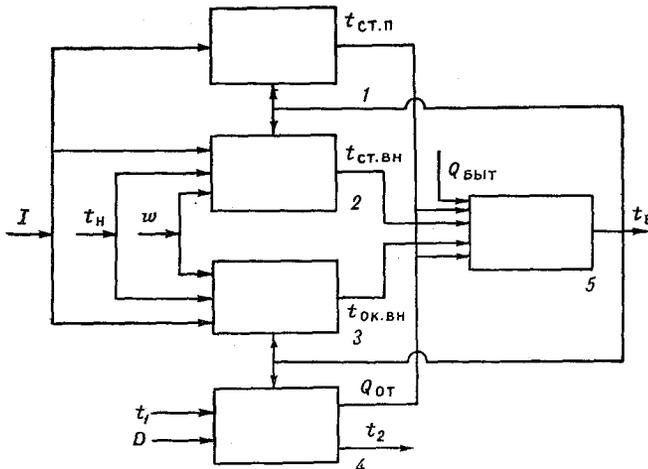


Рис. 1. Структурная схема отапливаемого помещения.
1 — внутренние ограждения, 2 — наружные теплоемкие ограждения,
3 — окна, 4 — отопительный прибор, 5 — объем воздуха помещения.

ельных элементов помещения, так и всего помещения. Входными величинами являются: температура наружного воздуха t_n ; скорость ветра ψ ; интенсивность солнечной радиации I ; бытовые тепловыделения $Q_{\text{быт}}$; температура t_1 и расход D теплоносителя. Выходным величинам относятся: температура воздуха в помещении t_v и температура теплоносителя на выходе отопительного прибора t_2 .

Скорость изменения температуры воздуха в объеме помещения пропорциональна полному количеству тепла, передаваемому тем конвекции, теплопроводности, излучения, фильтрации, тепловыделению, и зависит от конструктивных особенностей здания помещений, метеорологических условий, расчетной внутренней температуры, количества бытовых тепловыделений, места приложения возмущающего воздействия, его величины и характера.

Уравнение теплового баланса отапливаемого помещения в нестационарном режиме имеет вид

$$c_v V_v \frac{dt_v(\tau)}{d\tau} = Q_{\text{от}}(\tau) + Q_{\text{возд}}^{\text{инс}}(\tau) + Q_{\text{быт}}(\tau) - \alpha_v F_{\text{вн}}(t_v - t_{\text{ст. п}}) - \alpha_v F_{\text{н}}(t_v - t_{\text{ст. вн}}) - \alpha_v F_{\text{ок}}(t_v - t_{\text{ок. вн}}) - K_{\phi} F_{\phi}(t_v - t_n), \quad (1)$$

где t_v — температура воздуха в помещении; V_v — объем помещения; c_v — теплоемкость воздуха; $Q_{\text{от}}(\tau)$ — количество тепла, выделяемое отопительным прибором; $Q_{\text{возд}}^{\text{инс}}(\tau)$ — количество лучистой энергии, проникающей через застекленные участки ограждения, нагревающей воздух в помещении в процессе многократного отражения от внутренних поверхностей; $Q_{\text{быт}}(\tau)$ — бытовые тепловыделения; α_v — коэффициент теплоотдачи внутренних поверхностей ограждений; $F_{\text{вн}}$ — площадь внутренних ограждений; $F_{\text{н}}$ — площадь наружных теплоемких ограждений; $F_{\text{ок}}$ — площадь окон; $t_{\text{ст. п}}$, $t_{\text{ст. вн}}$, $t_{\text{ок. вн}}$ — температуры на поверхностях внутренних и наружных ограждений и окон соответственно; K_{ϕ} — эквивалентный коэффициент фильтрационного теплообмена; F_{ϕ} — эквивалентная площадь фильтрационного теплообмена; t_n — температура наружного воздуха.

Как видно из уравнения (1), скорость изменения температуры воздуха в переходном режиме зависит наряду с другими факторами от того, как изменяются температуры внутренних поверхностей наружных и внутренних ограждений ($t_{\text{ст. вн}}$, $t_{\text{ок. вн}}$, $t_{\text{ст. п}}$), на которые в свою очередь влияют изменения температуры воздуха в помещении, температуры наружного воздуха, скорости ветра, интенсивности солнечной радиации (см. рис. 1). Поэтому необходимо найти законы изменения температур поверхностей ограждений под влиянием этих возмущающих факторов.

В общем случае ограждающие конструкции представляют собой плоскую пластину, толщина которой во много раз меньше ее длины, поэтому в математической формулировке процессы теплопере-

дачи будут описываться одномерным уравнением Фурье (таб. В этой таблице $t_{0.вн}$ и $t_{0г.н}$ — температура внутреннего и наружного ограждения соответственно; остальные условные обозначения приведены выше.

Так как в современном строительстве широкое распространение находят неоднородные ограждающие конструкции, состоящие из различных слоев или сред с различными теплофизическими свойствами, возникает необходимость в решении систем дифференциальных уравнений Фурье с соответствующими граничными условиями. Число уравнений, содержащихся в системе, определяется числом слоев того или иного ограждения.

Задачи нестационарного теплообмена в ограждающих конструкциях помещений характеризуются граничными условиями второго и третьего рода, т. е. конвекцией и излучением. При этом имеют место случаи симметричного и несимметричного теплообмена на границах (см. табл. 1).

Решение дифференциальных уравнений теплопроводности Фурье (систем дифференциальных уравнений) методом интегрального преобразования Лапласа позволило получить аналитические зависимости, устанавливающие динамическую связь между температурой на поверхностях ограждающих конструкций и температурой воздуха в помещении, температурой наружного воздуха, скоростью ветра, интенсивностью солнечной радиации при самых различных условиях теплообмена на границах. Результаты решения получены в виде трансцендентных передаточных функций.

$$\frac{\Delta \psi(p)}{\Delta \varphi(p)} = \frac{F_1 \left(\operatorname{sh} \sqrt{\frac{p}{a}}, \operatorname{ch} \sqrt{\frac{p}{a}} \right)}{F \left(\operatorname{sh} \sqrt{\frac{p}{a}}, \operatorname{ch} \sqrt{\frac{p}{a}} \right)}, \quad (1)$$

где $\Delta \psi$ — изменение выходного параметра; $\Delta \varphi$ — изменение входного параметра; p — оператор Лапласа.

Аппроксимация выражений (2) методом разложения гиперболических функций $\operatorname{sh} \sqrt{\frac{p}{a}}$ и $\operatorname{ch} \sqrt{\frac{p}{a}}$ в степенные ряды позволила получить дробно-рациональные выражения

$$\frac{\Delta \psi(p)}{\Delta \varphi(p)} = \frac{b_2 p^2 + b_1 p + b_0}{a_3 p^3 + a_2 p^2 + a_1 p + a_0}, \quad (2)$$

которые могут быть использованы при решении задач с применением ЭВМ. Коэффициенты аппроксимирующих передаточных функций определяются в зависимости от конструктивных и теплофизических параметров ограждений.

Совместное решение дифференциального уравнения (1) и передаточных функций, характеризующих закон изменения температуры на поверхностях ограждений под влиянием различных возмущающих воздействий, позволяет получить аналитическое выражение, устанавливающее динамическую связь между температурой воздуха в помещении и температурой наружного воздуха, ско-

Исходные уравнения, описывающие динамику теплообмена отдельных элементов здания

Элемент помещения	Вид теплообмена	Расчетная схема	Дифференциальные уравнения	Граничные условия
Наружные ограждения (теплоемкие и нетеплоемкие)	Теплопроводность, конвекция, излучение		$\frac{\partial t_1(x, \tau)}{\partial \tau} = a_1 \frac{\partial^2 t_1(x, \tau)}{\partial x^2}$ $\frac{\partial t_2(x, \tau)}{\partial \tau} = a_2 \frac{\partial^2 t_2(x, \tau)}{\partial x^2}$ $\frac{\partial t_3(x, \tau)}{\partial \tau} = a_3 \frac{\partial^2 t_3(x, \tau)}{\partial x^2}$	$\left. \frac{\partial t_1}{\partial x} \right _{x=0} = -\frac{\alpha_B}{\lambda} (t_B - t_{ог.вн})$ $\frac{\lambda_1}{\lambda_2} \left. \frac{\partial t}{\partial x} \right _{x=\delta_1} = \frac{\partial t_2}{\partial x} \Big _{x=\delta_1}$ $\frac{\lambda_2}{\lambda_3} \left. \frac{\partial t_2}{\partial x} \right _{x=\delta_2} = \frac{\partial t_3}{\partial x} \Big _{x=\delta_2}$ $\left. \frac{\partial t_3}{\partial x} \right _{x=\delta_3} = -\frac{\alpha_H}{\lambda_3} (t_{ог.н} - t_B) + \frac{q_H}{\lambda_3}$
Внутренние ограждения				$\left. \frac{\partial t}{\partial x} \right _{x=0} = 0 \text{ (условие симметричного теплообмена)}$

ростью ветра, интенсивностью солнечной радиации, бытовыми
ловыделениями и тепловыделениями отопительных приборов:

$$\Delta t_{\text{в}}(p) = W_0(p) \left\{ \Delta Q_{\text{от}}(p) + \Delta Q_{\text{быт}}(p) + \right. \\ \left. + \left[\sum_{j=1}^m \alpha_{\text{в}j} F_{\text{н}j} W_{1j}(p) + K_{\text{ф}} F_{\text{ф}} + F_{\text{ф}}(t_{\text{в}} - t_{\text{н}})_0 \left(\frac{\partial K_{\text{ф}}}{\partial t_{\text{н}}} \right)_0 \right] \Delta t_{\text{н}}(p) + \right. \\ \left. + \left[\sum_{j=1}^m \alpha_{\text{в}j} F_{\text{н}j} W_{2j}(p) + K_{\text{ф}} F_{\text{ф}} + F_{\text{ф}}(t_{\text{в}} - t_{\text{н}})_0 \left(\frac{\partial K_{\text{ф}}}{\partial w} \right)_0 \right] \Delta w(p) + \right. \\ \left. + \left[\sum_{j=1}^m \alpha_{\text{в}j} F_{\text{н}j} W_{3j}(p) + (1 - \rho_{\text{вн}}) \varepsilon F_{\text{ок}} + \sum_{i=1}^n \alpha_{\text{в}i} F_{\text{вн}i}^{\text{вн}} W_{4i}(p) \right] \Delta I(p), \right.$$

где

$$W_0(p) = \frac{1}{\mu T_{\text{в}} p + \mu - \sum_{i=1}^n \alpha_{\text{в}i} F_{\text{вн}i} W_{5i}(p) - \sum_{j=1}^m \alpha_{\text{в}j} F_{\text{н}j} W_{6j}(p)},$$

$$\mu = \sum_{i=1}^n \alpha_{\text{в}i} F_{\text{вн}i} + \sum_{j=1}^m \alpha_{\text{в}j} F_{\text{н}j} + K_{\text{ф}} F_{\text{ф}},$$

$$T_{\text{в}} = \frac{c_{\text{в}} V_{\text{в}}}{\mu},$$

$Q_{\text{вн}}$ — коэффициент поглощения солнечных лучей ограждающими конструкциями; ε — коэффициент задержки тепла остекленной поверхностью; $W_1(p)$, $W_2(p)$, $W_3(p)$ — передаточные функции, характеризующие закон изменения температуры внутренних поверхностей наружных ограждений при возмущениях по температуре наружного воздуха, скорости ветра и интенсивности солнечной радиации; $W_4(p)$ характеризует закон изменения температуры на поверхности внутренних ограждений, подверженных солнечному облучению; $W_5(p)$, $W_6(p)$ характеризуют закон изменения температуры на поверхностях внутренних и наружных ограждений под влиянием изменяющейся температуры воздуха в помещении; $W_0(p)$ характеризует закон изменения температуры воздуха в помещении в зависимости от количества поступающего (теряемого) тепла; m , n — количество разнотипных наружных и внутренних ограждений в данном помещении.

Так как все передаточные функции, входящие в уравнение (4) имеют вид дробно-рациональных выражений, то оно может быть использовано для определения температурного режима отапливаемых помещений при произвольных законах изменения входных параметров с использованием ЭВМ.

Для использования ЦВМ при решении практических задач наиболее рациональным является получение решения во временно

ласти. Такое решение может быть получено в результате применения обратного преобразования Лапласа к дробно-рациональным выражениям вида (3). В этом случае изменение выходных параметров под влиянием различного рода возмущающих воздействий будет определяться выражениями вида

$$\Delta \psi(\tau) = \xi(K \exp \alpha \tau + L \exp \beta \tau + M \exp \gamma \tau) \Delta \varphi(\tau), \quad (5)$$

коэффициенты которых определяются в зависимости от конструктивных и теплофизических параметров помещений и их ограждающих конструкций.

Таким образом, аналитическое решение дифференциальных уравнений, характеризующих нестационарные процессы теплообмена в отапливаемых помещениях, позволило получить три вида математических моделей, описываемых соответственно уравнениями вида (2), (3) и (5), которые могут быть использованы при решении практических задач.

Д. М. СОРОЧКИН

ОСОБЕННОСТИ ЦЕНТРАЛЬНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ РЕЖИМА ОТПУСКА ТЕПЛА С УЧЕТОМ СКОРОСТИ ВЕТРА

В настоящее время регулирование отпуска тепла производится по отопительному графику в зависимости от температуры наружного воздуха. Но в современных крупнопанельных домах теплопотери, возникающие под действием ветра, составляют значительную часть общих теплопотерь здания. Поэтому необходимо регулировать режим отопления с учетом скорости ветра. Такое регулирование имеет ряд особенностей, зависящих как от технологических свойств источника тепла, так и от характера суточного хода скорости ветра. Кроме того, необходимо учесть, что количество топлива на отопительный период планируется только по температуре наружного воздуха и регулирование по двум параметрам необходимо производить без дополнительного расхода топлива.

В данной статье рассматривается вопрос о возможности осуществления центрального регулирования режима отопления с учетом скорости ветра и приводится пример такого регулирования.

Режим отпуска тепла на теплостанциях (ТЭЦ) имеет особенности, обусловленные, во-первых, технологическими свойствами источника тепла, во-вторых, большой протяженностью тепловых сетей и, в-третьих, разнохарактерностью нагрузок.

Задание на поддержание электронагрузки ТЭЦ получает одно диспетчера, на поддержание тепловой нагрузки — от другого, т. е. существует несколько взаимосвязанных регулируемых процессов. Кроме того, плавное регулирование температуры горячей воды возможно только в диапазоне регулирования одного котла или турбины. Переход на следующий режим может быть связан уже с регулированием следующего котла или турбины.

Резкое изменение температуры горячей воды ведет к резкому линейному расширению трубопроводов, которое может повлечь за собой их повреждение. По правилам технической эксплуатации скорость изменения температуры горячей воды в теплосети не должна превышать $30^{\circ}\text{C}/\text{ч}$.

Из изложенного следует, что непрерывное регулирование отска тепла с ТЭЦ ограничивается, во-первых, узостью рабочего апазона котла, во-вторых, взаимосвязанным регулированием нельких процессов, в-третьих, скоростью изменения температуры оячей воды. Поэтому частое регулирование недопустимо. В лнградской теплосети, например, период регулирования составлет 12 ч: режим регулирования назначается в 9 и 21 ч, при необдмости производится корректировка в 12 и 24 ч.

Рассмотрим, как изменяется скорость ветра за период регуливания.

Хотя скорость ветра в каждый момент — очень изменчивая величина, ее суточный ход, полученный при многолетнем осреднении, оло изменчив. Рассмотрение его по ежечасным данным для городов Мурманска, Ленинграда, Иркутска, Москвы, Одессы, Свердловска и Омска показало, что амплитуда суточного хода скорости тра в декабре — марте не превышает 1 м/с, а в сентябре — ноябни и апреле — мае она увеличивается до 2,2 м/с. Распределение ороятности скорости ветра по грациям в различные часы суток ково, что в декабре — марте амплитуда колебаний скорости вета между моментами назначения режима (9 и 21 ч) не превышает 6 м/с. В апреле — мае и сентябре — октябре для дневного времени характерно увеличение амплитуды скорости ветра до 2 м/с [1].

Анализ материалов, приведенных в климатологических справочниках, показал, что за многолетний период осреднения колебания средней суточной скорости ветра меньше колебаний средней точной температуры.

Из изложенного выше следует, что при центральном регулировании скорость ветра может быть учтена так же, как и температура наружного воздуха. Но при этом необходимо иметь в виду ледующее. Температура наружного воздуха действует на помещеня различных ориентаций одинаково, скорость ветра — по-разному. Так как направление ветра при центральном регулировании е может быть учтено, режим отопления назначается для самых олодных помещений (так, как это принято обычно), т. е. для наетренных.

Большая протяженность тепловых сетей и соответствующее ольшее время транспорта тепла определяют ведение режима регулирования с учетом прогноза погоды. С целью повышения точности регулирования сотрудники Главной геофизической обсерватории им. А. И. Воейкова Л. С. Гандин, Л. Е. Анапольская и Д. Г. Мандель совместно с сотрудниками ЛНИИ АКХ им. К. Д. Памфилова С. А. Чистовичем и Д. М. Сорочкиной разработали «Требования к специализированному прогнозу для целей регулирования», основанные на учете заблаговременности, точности и месте измерения температуры воздуха, скорости ветра и облачности.

Рассмотрим возможность учета скорости ветра при центральном регулировании без получения дополнительного топлива.

При расчете теплотеря здания дважды учитывается расчетная скорость ветра; при выборе коэффициента теплоотдачи и в процентных надбавках к расчетным теплотерям [2]. Следовательно, учет скоростей ветра меньше расчетной даст экономию топлива, больше расчетной — перерасход топлива.

Из анализа климатологических данных следует, что повторяемость скоростей ветра меньше расчетных, приведенных в Строительных нормах и правилах, на значительной части территории СССР во время отопительного сезона составляет от 40 до 65%.

При регулировании по двум параметрам — температуре наружного воздуха и скорости ветра — экономия (перерасход) тепла определяется сочетанием этих двух метеорологических элементов. Корреляция их в зимнее время слабоположительна, так как обычно максимальные скорости ветра наблюдаются, во всяком случае не при наиболее низких температурах [3]. Поэтому перерасход тепла, возникающий в периоды со скоростями ветра больше расчетной, можно частично или полностью компенсировать за счет экономии тепла, достигаемой в периоды со скоростями ветра меньше расчетной, имея в виду, что повторяемость таких скоростей в течение отопительного периода значительна [6]. Следовательно, можно предположить, что в целом за отопительный сезон перерасхода топлива не будет. Но этот вопрос требует еще дальнейшей разработки.

В качестве примера рассмотрим период регулирования режима отопления Васильевского острова в Ленинграде с 26 марта по 6 апреля 1972 г.

С 16 ч 24 марта до 10 ч 26 марта 1972 г. режим центрального регулирования осуществлялся по температуре наружного воздуха, а с 10 ч 26 марта до 10 ч 6 апреля 1972 г. — по приведенной температуре, учитывающей совместное действие температуры наружного воздуха и скорости ветра [4, 5].

Контроль воздушного режима производился в крупнопанельном керамзитобетонном девятиэтажном четырехсекционном здании типа «пластина», меридиональной ориентации, расположенном в прибрежной части и открытом действию ветров (Ленинград, Напичная улица, дом 34).

За время эксперимента жалоб от жителей Васильевского острова на низкую температуру воздуха в помещениях не поступало.

Для задания температуры горячей воды в теплосети по приведенной температуре диспетчер пользовался отопительным графиком, построенным не по температуре наружного воздуха, а по приведенной температуре.

Как известно, цель регулирования заключается в поддержании стабильной температуры воздуха в помещении. Поэтому сравнение качества регулирования по старому и новому способам производилось путем сравнения коэффициентов корреляции между температурой воздуха в помещении и температурой наружного воздуха, с одной стороны, и между температурой воздуха в помещении с приведенной температурой — с другой. За время эксперимен-

а первый из них был равен $-0,28$, второй $+0,01$. Следовательно, новый способ регулирования обеспечивает более стабильную температуру воздуха в здании и лучшее качество регулирования.

Расчет затрат на отопление производился по средним суточным значениям температуры наружного воздуха и приведенной температуры. Экономия (перерасход) тепла определялась как разность между тепловыми нагрузками при регулировании по приведенной температуре ($t_{пр}$) и температуре наружного воздуха (t_n). Результаты эксперимента приведены в табл. 1. За период эксперимента — 12 сут — экономия тепла составила 2849 Гкал. Одна

Таблица 1

Расчет экономии (перерасхода) тепла

Дата	Средняя температура за сутки ($^{\circ}\text{C}$)		Тепловая нагрузка (Гкал)		Экономия (перерасход) тепла по Васильевскому острову	
	$t_{пр}$	t_n	по $t_{пр}$	по t_n	Гкал	руб
М а р т						
26	+0,18	+1,3	3920	3853	67	26,8
27	-2,2	-0,8	4220	4232	-12	-4,8
28	+4,4	-3,3	3272	3473	-201	-80,4
29	+3,6	+2,6	3416	3606	-190	-76,0
30	+4,1	+2,5	3323	3625	-302	-120,8
31	+2,9	+0,7	3549	3971	-422	-168,8
А п р е л ь						
1	+1,6	-0,9	3796	4251	-455	-182,0
2	+2,3	+0,2	3663	4046	-383	-153,2
3	+2,2	+0,6	3692	3978	-296	-118,4
4	+3,1	+1,6	3511	3796	-285	-114,0
5	+4,5	+3,2	3255	3492	-237	-94,8
6	+3,7	+3,0	3397	3530	-133	253,2
Итого					-2849	-1139,6

гигакалория тепла стоит 0,4 коп., следовательно, экономия денежных средств составляет 1139,6 руб.

Результаты исследований показали:

1) принципиальную возможность регулирования отпуска тепла с ТЭЦ по приведенной температуре, учитывающей совместное действие температуры наружного воздуха и скорости ветра;

2) улучшение температурного режима в здании при регулировании по приведенной температуре по сравнению с регулированием по температуре наружного воздуха;

3) возможность регулирования по приведенной температуре без дополнительного расхода топлива.

ЛИТЕРАТУРА

1. Справочник по климату СССР. Ч. 3. Л., Гидрометеиздат, 1968.
2. Мелентьев Л. А., Мищурина К. И. О выборе режимов теплоснабжения жилых зданий.—Труды Ленинградского инж.-экон. ин-та, 1957, вып. 12, с. 48—72.
3. Анапольская Л. Е. О расчетных параметрах максимальной теплоотдачи зданий.—Труды ГГО, 1970, вып. 268, с. 64—75.
4. Чистович С. А. Автоматизация установок и систем теплоснабжения и отопления. М., Стройиздат, 1964. 180 с.
5. Сорочкина Д. М. Новое измерительное устройство для систем автоматического управления подачей тепла в здания.—В кн.: Автоматизация отопительных котельных. Вып. 6. Л., «Недра», 1971, с. 56—62.
6. Сорочкина Д. М. Мандель Д. Г. К вопросу об учете скорости ветра при центральном регулировании режима отпуска тепла. Краткие тезисы докладов к конференции аспирантов и молодых специалистов. Л., ОНТИ ЛНИИ АКХ, 1972, с. 74—82.

ВЫБОР РАСЧЕТНЫХ СУММ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ С УЧЕТОМ КОЭФФИЦИЕНТА ОБЕСПЕЧЕННОСТИ МИКРОКЛИМАТА ПОМЕЩЕНИЯ

В настоящее время поставлен вопрос о расчете теплового режима помещения с учетом обеспеченности внутреннего микроклимата [1, 2]. Под обеспеченностью понимается отношение числа случаев, при которых выдерживаются расчетные условия, к общему числу случаев, принятых к рассмотрению. Коэффициенты обеспеченности определяются в зависимости от назначения и режима эксплуатации здания [2]. При этом необходимо решать задачу о выборе соответствующих заданным внутренним условиям расчетных значений наружных климатических параметров.

В настоящей работе сделана попытка применить теорию случайных функций для учета одного из климатических параметров — солнечной радиации.

Задача формулируется следующим образом: выбрать расчетные суммы прямой и рассеянной солнечной радиации в соответствии с заданными коэффициентами обеспеченности внутреннего микроклимата, что дает возможность исследовать взаимосвязь между наружными климатическими воздействиями и внутренним микроклиматом помещения.

Комплекс климатических воздействий и ответная реакция помещения могут быть представлены в виде динамической системы, на вход которой подаются сигналы (отдельные климатические параметры) в виде случайных функций $x_1(t)$, $x_2(t)$, ..., $x_n(t)$, где t имеет смысл времени, а количество значений n зависит от количества исследуемых климатических факторов.

Входные воздействия подвергаются в системе некоторым преобразованиям, в результате чего на выходе появляется случайная функция $Y(t)$, характеризующая ответную реакцию помещения:

$$Y(t) = A\{x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t)\}. \quad (1)$$

При этом исследование поведения динамической системы сводится к определению вероятностных характеристик случайной

функции, полученной на выходе системы по вероятностным характеристикам случайных функций, поступающих на вход системы и динамическим свойствам самой системы.

Сформулированная задача решается по следующему плану:

1) изучение и обработка входного сигнала, т. е. получение вероятностных характеристик прямой и рассеянной солнечной радиации, приходящей на горизонтальную поверхность, на основе чего строятся кривые обеспеченности солнечной радиации;

2) описание оператора системы, воспринимающего и преобразующего сигнал, т. е. математическая запись процесса теплопередачи;

3) вероятностная обработка выходного сигнала — теплового потока в помещение, построение кривых обеспеченности теплового потока.

Наиболее полное решение задачи может быть достигнуто если в качестве преобразующего элемента динамической системы принять все помещение в целом. Тогда оператором такой системы должны быть уравнения теплопередачи, описывающие тепловой режим помещения.

В настоящей работе рассматривается один из частных вопросов расчета теплового режима помещения, когда в качестве оператора динамической системы принимаются уравнения теплопередачи, описывающие тепловые процессы в ограждающей конструкции помещения — светопроеме.

В дальнейшем делаются упрощающие допущения, которые позволяют решить поставленную задачу в наиболее простом виде с использованием уже имеющихся математических разработок.

Для решения задачи необходимо получить кривые обеспеченности параметров наружного и внутреннего климата, которые рассчитываются на основании значений вероятности появления прямой и рассеянной солнечной радиации.

Вероятностная обработка проводится для каждого часа суток заданного месяца за многолетний период, что дает возможность в дальнейшем получить картину осредненных суток.

Обработка данных о солнечной радиации в таком разрезе принята для удобства выбора расчетных часовых сумм солнечной радиации, а также из тех соображений, что представленный в таком виде случайный процесс по своей физической сущности больше приближается к стационарному, что объясняется менее значительными изменениями солнечной радиации по дням месяца для одного и того же часа.

Допущение о стационарности процесса в дальнейшем приводит к более простым решениям, уже разработанным к настоящему времени в теории случайных функций [3].

Рассматриваемые случайные функции описывают процессы с дискретными значениями времени, т. е. случайные последовательности.

Определение математического ожидания, дисперсии и корреля-

ционной функции входного сигнала на примере данных актинометрических измерений в Киеве приведено в работе [4].

Повторяемость интересующих нас сумм прямой и рассеянной солнечной радиации определяется путем решения задачи о выбросах, которая решается для случайной последовательности.

1. Пусть значение элемента случайной последовательности прямой или рассеянной солнечной радиации) в j -тый день будет x_j ; тогда вероятность выброса за уровень a' в j -тый день определится равенством.

$$P_j(a') = P\{x_j \leq a'; a' < x_{j+1}\}. \quad (2)$$

Вводим в рассмотрение двумерную плотность распределения координат случайной последовательности $f(x'_j, x'_{j+1})$.

Тогда искомая вероятность выразится равенством

$$P_j(a) = \int_{-\infty}^a \int_a^{\infty} f(x'_j, x'_{j+1}) dx_{j+1} dx_j. \quad (3)$$

В случае стационарной последовательности, допущение о которой принято выше, вероятность $P_j(a)$ будет иметь неизменное значение для любого момента времени j .

Для решения задачи о выбросах принимаем упрощающее допущение о нормальном законе распределения. Рассмотрим вспомогательную случайную последовательность, отличающуюся от рассмотренной на величину математического ожидания m_x , т. е. обозначим

$$x_j = x'_j - \tilde{m}_x, \quad x_{j+1} = x'_{j+1} - \tilde{m}_x. \quad (4)$$

Тогда мы получим нормальную случайную последовательность с математическим ожиданием, равным нулю:

$$\tilde{m}_{x_j} = \tilde{m}_{x'_j} - \tilde{m}_x = 0, \quad (5)$$

$$\tilde{m}_{x_{j+1}} = \tilde{m}_{x'_{j+1}} - \tilde{m}_x = 0. \quad (6)$$

С учетом (4) задача о выбросах формулируется следующим образом: необходимо определить вероятность выброса случайной функции x за предел $a = a' - \tilde{m}_x$, т. е. отыскивается вероятность

$$P(a) = P(x_j \leq a, x_{j+1} > x_j).$$

Тогда двумерная плотность распределения случайной функции при математическом ожидании, равном нулю, будет иметь вид [3]

$$f(x_1, x_2 | t, t+\tau) = \frac{1}{2\pi \tilde{\sigma}_x^2 \sqrt{1 - k_1^2(\tau)}} \exp \left\{ -\frac{x_1^2 + x_2^2 - 2k_1 x_1 x_2}{2\tilde{\sigma}_x^2 [1 - k^2(\tau)]} \right\}. \quad (7)$$

Здесь $\tilde{\sigma}_x^2$ — дисперсия случайной последовательности, а k_1 — коэффициент при корреляционной функции.

Запишем выражение для корреляционной функции в виде

$$\tilde{K}_x(\tau) = \tilde{\sigma}_x^2 k_1, \quad (8)$$

где $k_1 = e^{-\alpha(\cos\beta + \frac{\alpha}{\beta} \sin\beta)}$ на основании изложенного в [4].

Подставляя (7) и (8) в формулу (3), получаем окончательно

$$P(a) = \frac{1}{2\sqrt{2\pi\sigma}} \int_{-\infty}^a e^{\frac{-y^2}{2\tilde{\sigma}_x^2}} \left[1 - \Phi\left(\frac{a - k_1 y}{\tilde{\sigma}\sqrt{1 - k_1^2}}\right) \right] dy. \quad (9)$$

Для получения результата одним из численных методов с помощью ЭВМ вычисляется определенный интеграл для каждого значения a' и, следовательно, a .

Полученные таким образом по формуле (9) вероятности появления прямой и рассеянной солнечной радиации представлены на рис. 1. На основании найденных значений вероятности построены кривые обеспеченности (рис. 2).

2. Для определения обеспеченности внутренних условий задается оператором системы, которым в данном случае служит уравнение стационарной теплопередачи через светопроем, состоящий из двойного остекления и межстекольной солнцезащиты:

$$q = I_p^r A_p \tau_p + I_p^r 0,5 \tau_d + K \left[\frac{I_p^r A_p (\alpha_{п1} + \alpha_{п2} + \alpha_{п.сз})}{\alpha_p} + \frac{I_p^r 0,5(\alpha_{д1} + \alpha_{д2} + \alpha_{д.сз})}{\alpha_n} + \frac{2I_p^r A_p (\alpha_{п2} + 2\alpha_{п.сз})}{\alpha_{вн}} \right] \quad (10)$$

где q — теплоприток через светопроем за счет солнечной радиации, ккал/(м²·ч); I_p^r , I_p^r — суммы прямой и рассеянной солнечной радиации, приходящей на горизонтальную поверхность, ккал/(м²·ч); $\alpha_{п1}$, $\alpha_{п2}$, $\alpha_{п.сз}$ — коэффициенты теплопоглощения прямой солнечной радиации первым и вторым стеклом и солнцезащитой соответственно; $\alpha_{д1}$, $\alpha_{д2}$, $\alpha_{д.сз}$ — то же для диффузной радиации; τ_p , τ_d — коэффициенты теплопропускания прямой и диффузной солнечной радиации соответственно; A_p — коэффициент пересчета сумм солнечной радиации на вертикальную поверхность.

После подстановки постоянных величин получаем следующее выражение:

$$q = I_p^r A_p [\tau_p + 0,0735(\alpha_{п1} + \alpha_{п2} + \alpha_{п.сз}) + 0,34(\alpha_{п2} + 2\alpha_{п.сз})] + I_p^r 0,19035. \quad (11)$$

В формуле (11) суммы прямой и рассеянной солнечной радиации представляют собой случайные функции. Подставляя

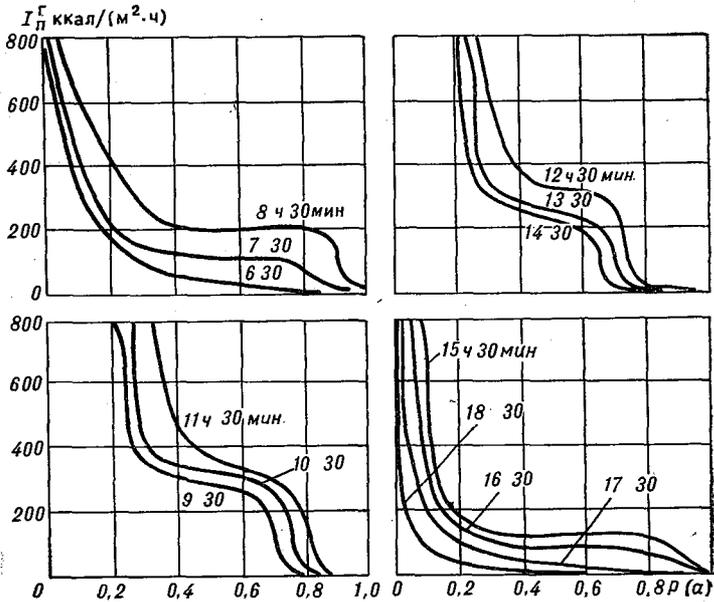


Рис. 1. Повторяемость сумм прямой солнечной радиации, приходящей на горизонтальную поверхность в различные часы суток.

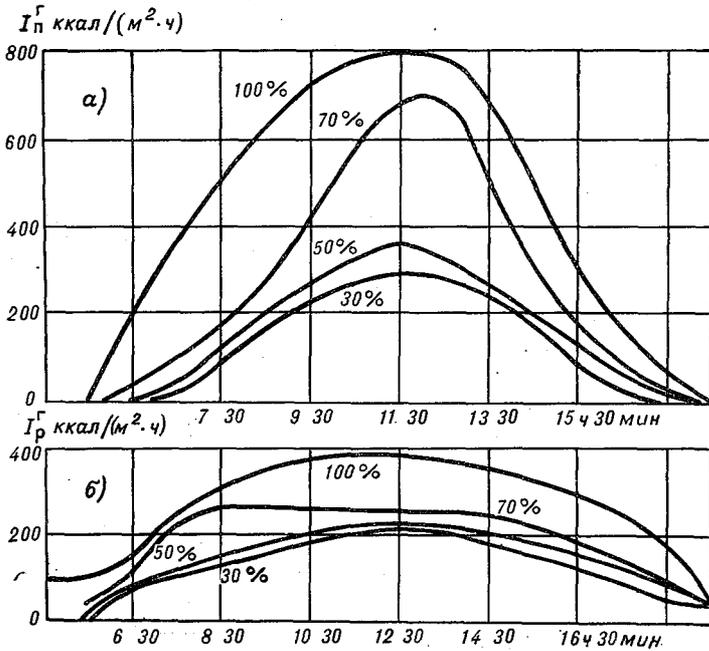


Рис. 2. Кривые обеспеченности прямой солнечной радиации на горизонтальную поверхность (а) и рассеянной солнечной радиации на горизонтальную поверхность (б). Киев, июль.

в формулу (11) все зависящие от времени параметры, получая значения теплового потока, поступающего через светопроел. В дальнейшем на основании этих данных определяются уровни, которые рассчитываются выбросы значений теплового потока.

3. Определяем вероятностные характеристики теплового потока, или выходной случайной функции.

Выражения для математического ожидания и корреляционной функции находим на основании свойств характеристик случайных функций и линейных однородных операторов, преобразующих систему [5].

Так как случайная функция представлена в виде алгебраической суммы с постоянными коэффициентами, то математическое ожидание выходного сигнала должно быть равно сумме математических ожиданий случайных функций слагаемых; постоянные коэффициенты при случайных функциях выносятся за знаки математических ожиданий:

$$\tilde{M}_y(\tau) = C_n \tilde{M}_x(\tau) + C_p \tilde{M}_z(\tau). \quad (12)$$

Здесь и ниже индекс y относится к выходному сигналу — тепловому потоку, индексы x и z — к выходным сигналам — прямой и рассеянной солнечной радиации.

Формула для дисперсии выходного сигнала будет иметь вид

$$\tilde{D}_y = C_n^2 \tilde{D}_x + C_p^2 \tilde{D}_z, \quad (13)$$

где C_n , C_p — постоянные коэффициенты при значениях прямой и рассеянной солнечной радиации соответственно.

Корреляционная функция суммы равна сумме корреляционных функций слагаемых. При этом постоянные коэффициенты при случайных функциях возводятся в квадрат. Принимая случайные функции (12) за независимые случайные процессы, получаем взаимную корреляционную функцию равной нулю. Тогда выражение для корреляционной функции примет вид:

$$\tilde{K}_y(\tau) = C_n^2 \tilde{K}_x(\tau) + C_p^2 \tilde{K}_z(\tau). \quad (14)$$

Используя методику, изложенную при решении задачи о выбросах выходного сигнала, можно получить формулы для решения задачи о выбросах входного сигнала — теплового потока.

Вероятность выброса определяется по формуле, аналогичной формуле (9):

$$P(b) = \frac{1}{2\sqrt{2\pi\tilde{\sigma}^2}} \int_0^b e^{-\frac{y^2}{2\tilde{\sigma}^2}} \left[1 - \Phi\left(\frac{b - k_2 y}{\tilde{\sigma}\sqrt{1 - k_2^2}}\right) \right] dy, \quad (15)$$

где b — заданный уровень величины теплового потока; k_2 — коэф-

коэффициент, зависящий от вида корреляционной функции выходного сигнала, для отыскания которого необходимо произвести следующее преобразование.

Вводим вместо случайной последовательности Y последовательность Y' :

$$Y' = Y - \tilde{m}_y;$$

где

$$\tilde{m}_{y'} = 0.$$

Отсюда запишем:

$$\tilde{K}_y(\tau) = \tilde{K}_{y'}(\tau), \quad (16)$$

$$K_{y'}(0) = C_n^2 \tilde{\sigma}_x^2 + C_p^2 \tilde{\sigma}_z^2; \quad (17)$$

$$\begin{aligned} \tilde{K}_{y'}(\tau) = & C_n^2 \tilde{\sigma}_x^2 e^{-\alpha_1} \left(\cos \beta_1 + \frac{\alpha_1}{\beta_1} \sin \beta_1 \right) + \\ & + C_p^2 \tilde{\sigma}_z^2 e^{-\alpha_2} \left(\cos \beta_2 + \frac{\alpha_2}{\beta_2} \sin \beta_2 \right). \end{aligned} \quad (18)$$

Представим соотношение (18) в виде

$$K_{y'}(1) = \tilde{\sigma}_{y'}^2 k_2, \quad (19)$$

где

$$\tilde{\sigma}_{y'}^2 = K_{y'}(0).$$

тогда

$$k_2 = \frac{C_n^2 \tilde{\sigma}_x^2 e^{-\alpha_1} \left(\cos \beta_1 + \frac{\alpha_1}{\beta_1} \cos \beta_1 \right) + C_p^2 e^{-\alpha_2} \left(\cos \beta_2 + \frac{\alpha_2}{\beta_2} \sin \beta_2 \right)}{C_n^2 \tilde{\sigma}_x^2 + C_p^2 \tilde{\sigma}_z^2}. \quad (20)$$

Результаты расчетов для заданных уровней теплового потока приведены на рис. 3 и 4 в виде кривых повторяемости и обеспеченности теплового потока для осредненных суток.

Для решения задачи выбора величин солнечной радиации с учетом обеспеченности внутренних условий составляем таблицу рассчитанных ранее значений обеспеченности прямой и рассеянной солнечной радиации и теплового потока в помещении. Задаемся коэффициентом обеспеченности (табл. 1).

Затем в таблице находим характеристики наружных условий (суммы прямой и рассеянной солнечной радиации), соответствующие найденным значениям теплового потока заданной обеспеченности. При этом оказывается, что значения обеспеченности наружных и внутренних условий не всегда совпадают.

Таблица

Время (ч мин)	I_{II}	$P_{I_{II}}$	q	P_q	q	P_q	q	P_q	q	P_q
6 30	I_p		160		120		90		75	
	P_{I_p}		100		70		50		30	
	370	100	81	100	72	89	66	60	63	50
	100	70	45	25	38	21	30	16	27	10
	40	50	37	22	28	17	22	15	19	15
15	30	34	18	22	15	19	12	16	10	
7 30	I_p		250		225		115		110	
	P_{I_p}		100		70		50		30	
	500	100	415	100	403	97	387	96	386	96
	170	70	174	80	167	78	146	68	145	68
	115	50	139	65	131	59	106	49	105	47
100	30	123	55	116	53	96	36	96	37	
8 30	I_p		290		275		160		130	
	P_{I_p}		100		70		50		30	
	630	100	500	100	497	98	475	97	465	95
	280	70	262	78	259	77	237	74	232	73
	200	50	203	72	196	71	178	60	173	58
170	30	181	62	178	60	156	50	145	45	
9 30	I_p		300		270		185		180	
	P_{I_p}		100		70		50		30	
	720	100	437	100	485	98	465	84	460	83
	420	70	309	76	304	75	287	71	282	70
	230	50	275	68	210	38	203	37	198	35
220	30	215	42	196	32	186	30	176	29	
10 30	I_p		300		260		210		190	
	P_{I_p}		100		70		50		30	
	780	100	419	100	412	88	402	80	388	77
	585	70	327	73	320	72	310	71	306	70
	320	50	266	60	200	40	189	36	185	34
280	30	187	35	180	32	170	28	166	27	
11 30	I_p		300		260		240		210	
	P_{I_p}		100		70		50		30	
	800	100	289	100	282	90	278	88	272	86
	690	70	257	72	250	70	246	68	240	66
	360	50	236	65	174	55	150	38	144	30
300	30	134	28	127	27	123	26	117	20	

ЗМЯ (мм)	I_{Π}	$P I_{\Pi}$	q	$P q$						
30	I_p		300		255		240		220	
	$P I_p$		100		70		50		30	
	800	100	153	100	145	87	142	86	126	68
	700	70	141	86	133	73	130	69	126	68
	320	50	126	68	88	40	85	38	81	36
	300	30	93	48	85	38	82	37	69	30
30	I_p		290		260		220		210	
	$P I_p$		100		70		50		30	
	670	100	74	100	69	90	65	85	59	75
	500	70	65	85	64	84	56	70	54	68
	270	50	63	80	58	74	50	60	48	58
	250	30	62	78	57	72	49	58	47	56

Примечание. В таблице I_{Π} и I_p — суммы прямой и рассеянной солнечной радиации соответственно, ккал/(м²·ч); $P I_{\Pi}$ и $P I_p$ — обеспеченность суммой прямой и рассеянной радиации соответственно, %; q — тепловой поток в помещении через двойное остекление и межстекольные солнцезащитные жалюзи, ал/(м²·ч); $P q$ — обеспеченность теплового потока, %.

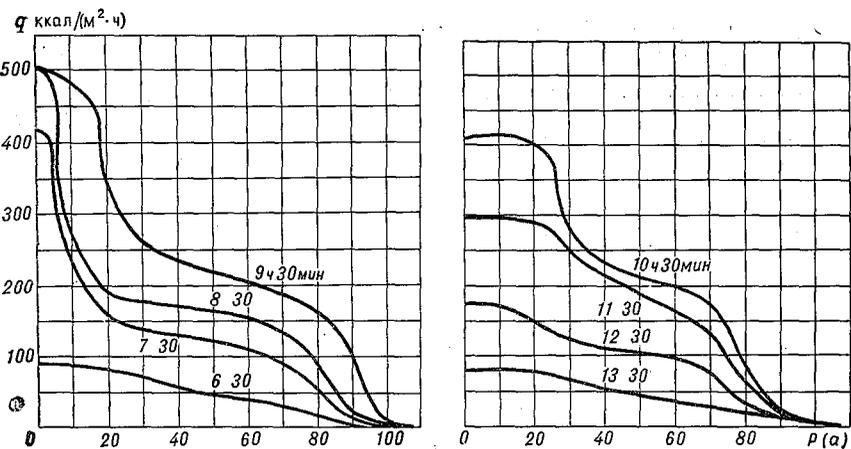


Рис. 3. Повторяемость величин теплового потока через двойное остекление и межстекольные солнцезащитные жалюзи. Киев, июль, восток.

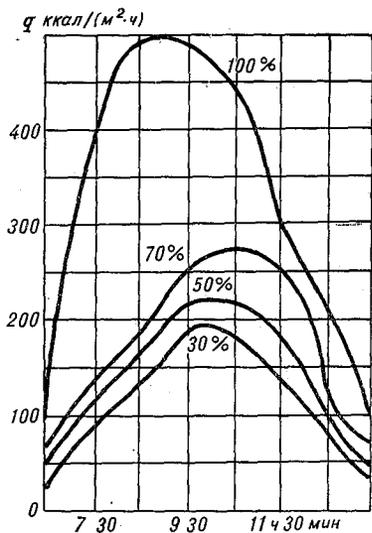


Рис. 4. Кривые обеспеченности теплопритока через двойное остекление и межстекольные солнцезащитные жалюзи. Киев восток, июль.

ЛИТЕРАТУРА

1. Богословский В. Н., Гречушникова Е. И. Связь коэффициента обеспеченности с продолжительностью отклонения наружных параметров от расчетных.— В кн.: Теплогазоснабжение и вентиляция. Киев, 1968 с. 33—36.
2. Богословский В. Н., Титов В. П. Выбор расчетных характеристик наружных климатических условий по коэффициенту обеспеченности заданного теплового режима помещения.— «Водоснабжение и санитарная техника» 1969, № 11, с. 19—24.
3. Свешников А. А. Прикладные методы теории случайных функций. М. Судпромгиз, 1961. 252 с.
4. Айзен А. М., Ципенюк А. Л. Анализ изменчивости солнечной радиации с помощью статистической теории выбросов.— Труды ГГО, 1969 вып. 250, с. 139—147.
5. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. М., Физматгиз, 1962. 564 с.

ВКЛАДАХ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ В ИЗМЕНЧИВОСТЬ ЭФФЕКТИВНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ТЕПЛОПOTЕРЬ ЗДАНИЙ

В настоящее время проблема расчета теплотерь зданий, продолжительности отопительного периода, дат его начала и конца, следовательно, и затрат топлива является весьма актуальной. Особенно важно знать, как правильно планировать запасы топлива во время отопительного периода. Из-за большой изменчивости метеорологических условий, которые оказывают непосредственное влияние на тепловой режим зданий, характеристики отопительного периода также могут варьировать в широких пределах. Одной из характеристик, позволяющих полнее учитывать характер и степень комплексного воздействия внешней среды на отопительные системы является эффективная температура. Зная изменчивость этой характеристики теплового режима зданий, можно решить вопрос о распределении топлива в период отопительного сезона. В работе Л. С. Гандина [1] была выведена формула, позволяющая рассчитать изменчивость эффективной температуры теплотерь зданий косвенным путем, по данным об изменчивости температуры наружного воздуха, скорости ветра и лучистых потоков тепла и о коэффициентах корреляции между этими метеорологическими элементами. Эта формула имеет вид

$$\begin{aligned}
 \sigma_{T_{\text{эф}}}^2 = & \left\{ 1 + \frac{\tau R}{R_{\text{ок}}} [A(\gamma \bar{v}) - 1] \right\}^2 \sigma_{T_{\text{н}}}^2 + \\
 & + \left[\gamma \frac{\tau R}{R_{\text{ок}}} A'(\gamma \bar{v}) (T_{\text{в}} - \bar{T}_{\text{н}}) \right]^2 \sigma_v^2 + (R \tau \varepsilon)^2 \sigma_l^2 - \\
 & - 2 \gamma \frac{\tau^2 R^2 \varepsilon}{R_{\text{ок}}} A'(\gamma \bar{v}) (\bar{T}_{\text{в}} - \bar{T}_{\text{н}}) \sigma_v \sigma_l r_{v, l} + \\
 & + 2 R \tau \varepsilon \left\{ 1 + \frac{\tau R}{R_{\text{ок}}} [A(\gamma \bar{v}) - 1] \right\} \sigma_l \sigma_{T_{\text{н}}} r_{l, T_{\text{н}}} - \\
 & - 2 \left\{ 1 + \frac{\tau R}{R_{\text{ок}}} [A(\gamma \bar{v}) - 1] \right\} \gamma \frac{\tau R}{R_{\text{ок}}} A'(\gamma \bar{v}) (T_{\text{в}} - \bar{T}_{\text{н}}) \sigma_{T_{\text{н}}} \sigma_v r_{T_{\text{н}}, v}, \quad (1)
 \end{aligned}$$

где T_v , τ , R , $R_{ок}$, γ и ϵ — заданные параметры здания; $T_{н}$ — температура наружного воздуха; v — скорость ветра; I — поток суммарной радиации, падающей на остекленные части ограждения здания. В формулу входят значения функции $A(\gamma\bar{v})$ и ее первая производная $A'(\gamma\bar{v})$. Эта функция выражается интегралом

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

не сводящимся к элементарным функциям, поэтому производные от этой функции получают численно на ЭВМ.

В формулу (1) входят различные статистические характеристики метеорологических параметров, такие, как средние величины, средние квадратические отклонения, а также различные коэффициенты корреляции. Что касается статистических характеристик температуры и скорости ветра, то анализ их можно найти в ряде работ. Вопросы же взаимосвязанностей потоков коротковолновой радиации как с ветром, так и с температурой практически еще не рассматривались.

В настоящее время, когда получено достаточно сведений о потоках солнечной радиации, поступающей на вертикальные поверхности, можно получить различные статистические характеристики этого элемента, а также рассмотреть взаимосвязи потоков радиации как с температурой воздуха, так и со скоростью ветра. В настоящей работе получены характеристики совместных распределений температуры воздуха, скорости ветра и потоков коротковолновой солнечной радиации. Поставленная задача была реализована на ЭВМ М-220. Вычисление статистических характеристик осуществлялось по обычным формулам:

$$\begin{aligned} \bar{f} &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N f_i; \\ D_f &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (f_i^2 - \bar{f}^2); \\ \sigma_f &= \sqrt{D_f}; \\ r_{f,\varphi} &= \frac{\bar{f}\varphi - \bar{f}\bar{\varphi}}{\sigma_f\sigma_\varphi}. \end{aligned}$$

Так как задача решается для времени, относящегося к отопительному сезону, то в основу выполненных расчетов был положен материал 4-летних (с 1966 по 1969 г.) январских наблюдений за температурой воздуха, скоростью ветра и потоками коротковолновой радиации в сроки 9 и 15 ч местного времени на шести станциях Советского Союза. Для упрощения алгоритмов и программы расчета статистических характеристик проводилось восстановление информации в те дни, когда она отсутствовала или

ла забракована. Отсутствующие элементы внутри месяца вос-
 анавливались путем линейной интерполяции между двумя бли-
 айшими значениями элементов за предыдущие и последующие
 и.

Срочных данных о потоках суммарной радиации, поступающей
 вертикальные поверхности, не имеется, поэтому предварительно
 оведен пересчет коротковолновой радиации по формулам, при-
 денным в работе [2].

Таблица 1 содержит сведения о средних квадратических откло-
 нениях метеорологических параметров, определяющих тепловой
 режим зданий. Результаты показывают, что изменчивость темпе-
 ратуры воздуха в различные сроки на каждой отдельной станции
 е превышает 1°C, но несколько выше в утренние сроки, что впол-
 е объяснимо изменением температуры воздуха в утренние часы.

Таблица 1

Средние квадратические отклонения метеорологических величин¹

Пункт	Срок (ч)	σ_{T_n}	σ_V	σ_{I_S}	σ_{I_E}	σ_{I_W}
Ташкент	9	7,43	1,62	20,60	19,40	3,89
	15	7,98	1,98	18,00	3,48	17,00
Омск	9	9,36	2,66	10,20	9,23	1,50
	15	8,59	2,76	11,00	1,36	9,98
Владивосток	9	5,12	3,68	15,42	14,50	3,24
	15	4,91	4,12	14,00	3,20	13,12
Куйбышев	9	7,90	2,24	11,69	10,44	1,90
	15	6,86	2,52	11,38	2,00	10,26
Тбилиси	9	4,49	3,01	13,91	13,14	2,69
	15	5,30	3,35	16,08	3,28	15,26
Иркутск	9	7,86	1,71	9,88	8,96	1,34
	15	7,02	1,90	11,88	1,35	10,82

¹ Обозначения метеорологических параметров см. в экспликации к фор-
 муле (1).

Что касается изменчивости скорости ветра, то можно отметить
 небольшое возрастание ее в 15 ч, когда наблюдается максимум
 скорости ветра. В основном изменчивость ветра от срока к сроку
 мала, а в пунктах с небольшими скоростями ветра, таких, как
 Ташкент и Иркутск, изменчивость скорости ветра близка к величи-
 не нормы.

Говоря об изменчивости потоков коротковолновой солнечной
 радиации, поступающей на вертикальные поверхности трех основ-
 ных ориентаций (S, W, E), необходимо подчеркнуть ее значитель-

ные колебания на каждой станции как от срока к сроку, так и зависимости от ориентации. В приведенном примере (см. табл. наименьшее $\sigma_1 = 1,34$ кал/(см²·ч) отмечается в Иркутске в 9 местного времени для западной ориентации, т. е. когда вертикальная поверхность получает только диффузную радиацию. Наибольшее значение $\sigma_1 = 20,6$ кал/(см²·ч) наблюдается в Ташкенте в 9 для южной ориентации, когда стена получает всю коротковолновую радиацию, как прямую, так и рассеянную. Такая большая разница объясняется тем, что прямая солнечная радиация, зависящая от условий облачности, — величина очень изменчивая, поэтому там, где в суммарную радиацию входит с большим весом прямая солнечная радиация, разброс оказывается очень велик. Например, в 9 ч, когда солнцем освещены южная и восточная стены зданий, σ_1 имеет значения порядка 10—20 кал/(см²·ч) при западной ориентации в этот срок $\sigma_1 = 2 \div 4$ кал/(см²·ч).

В 15 ч солнцем освещены южная и западная стены зданий, по этому $\sigma = 10 \div 20$ кал/(см²·ч), в то время как поступающая на восточную стену диффузная радиация имеет разброс $\sigma_1 = 2 \div 4$ кал/(см²·ч).

Рассматривая взаимосвязанность основных метеорологических элементов, определяющих тепловой режим зданий, можно отметить, что коэффициенты корреляции вообще по величине невелики. Взаимосвязанность между скоростью ветра и радиацией, а также между температурой воздуха и потоками солнечной радиации часто лежит в пределах точности нахождения коэффициента корреляции. Однако, анализируя результаты, можно сделать ряд выводов. Как видно из табл. 2, взаимосвязь между температурой воздуха и скоростью ветра существует во всех рассматриваемых пунктах в оба срока, исключая Тбилиси и Ташкент соответственно в 9 и 15 ч, когда связь между элементами практически отсутствует. Наибольший по величине коэффициент корреляции $r_{T^{\text{в}}}$ наблюдается в Омске: от 0,57 утром до 0,50 после полудня. В других городах, исключая Владивосток, эта связь также положительна и $r_{T^{\text{в}}}$ меняется от 0,13 (Куйбышев, 9 ч) до 0,43 (Ташкент 9 ч).

Такая положительная связь между температурой воздуха и ветром объясняется тем, что зимой над Азиатской территорией устанавливается мощный антициклон с вытянутым на запад гребнем. Этот антициклон характеризуется слабыми ветрами, ясным небом, а следовательно, сильным выхолаживанием. Как правило, в таком антициклоне низкие температуры. Поэтому, например, в Омске, расположенном в области влияния западного отрога сибирского антициклона, при ослаблении ветра наблюдаются низкие температуры воздуха. Если в этом районе развивается циклоническая деятельность которая связана с усилением ветра, то происходит повышение температуры воздуха. Такие же положительные связи между температурой воздуха и скоростью ветра наблюдаются и на других станциях, где ярко выражено влияние сибирского антициклона.

Исключение составляет Владивосток, где при усилении ветра (зимой это, как правило, северные и северо-западные ветры, ко-

орые несут сухой холодный воздух сибирского антициклона) наблюдается понижение температуры воздуха.

В Тбилиси возрастание скорости ветра наблюдается при северных и северо-западных направлениях, совпадающих, по-видимому, с понижением температуры воздуха в январе ($r_{T_{н, в}} = 0,24$ 15 ч).

Связь между температурой воздуха и радиацией везде отрицательна; низкие температуры воздуха, обусловленные сильным вылаживанием, имеют место при безоблачном небе, когда потоки олученной радиации наибольшие. Эта связь сохраняется в тече-

Таблица 2

Корреляционные связи между метеорологическими параметрами¹

Пункт	Срок (ч)	$r_{T_{н, в}}$	r_{v, I_S}	$r_{T_{н, I_S}}$	r_{v, I_E}	$r_{T_{н, I_E}}$	r_{v, I_W}	$r_{T_{н, I_W}}$
Ташкент	9	0,43	-0,06	-0,16	-0,06	-0,16	-0,03	-0,56
	15	0,02	0,08	0,08	-0,07	-0,28	-0,07	0,08
Омск	9	0,57	-0,05	-0,27	-0,06	-0,28	-0,38	-0,52
	15	0,50	-0,11	-0,30	-0,17	-0,34	-0,11	-0,31
Владивосток	9	-0,24	0,04	-0,38	0,06	-0,38	0,16	-0,24
	15	-0,41	0,08	-0,14	0,13	-0,22	0,09	-0,14
Куйбышев	9	0,13	-0,19	-0,51	-0,19	-0,53	-0,16	-0,59
	15	0,27	-0,20	-0,47	-0,09	-0,53	-0,19	-0,49
Тбилиси	9	0	0,21	-0,16	0,20	-0,17	-0,01	-0,44
	15	-0,24	0,08	-0,01	0,05	-0,18	-0,08	-0,01
Иркутск	9	0,36	0,29	0,13	0,28	0,12	0,21	0,14
	15	0,24	0,21	0,03	-0,05	0,06	0,20	0,03

¹ Обозначения метеорологических параметров см. в экспликации к формуле (1).

ние суток и справедлива для различных ориентаций. Например, для Куйбышева коэффициент корреляции между температурой воздуха и потоками тепла, поступающими на южную стену, в 9 ч составляет -0,51, для стен восточной ориентации $r_{T_{н, I_E}} = -0,53$, а для западной $r_{T_{н, I_W}} = -0,59$. Исключением является Иркутск, где при безоблачном небе (т. е. большой величине радиации) чаще наблюдается повышение температуры.

Скорость ветра и радиация практически не коррелируют друг с другом, хотя на некоторых станциях в отдельные сроки получилась относительно высокая взаимосвязанность. Например, в Омске коэффициент корреляции скорости ветра с потоками тепла, поступающими на стены западной ориентации, составляет -0,38, так

как в Омске зимой при западных ветрах происходит увеличение облачности и, следовательно, уменьшение доли прямой радиации. В Куйбыщеве, например, ослабление ветра связано с усилением влияния отрога сибирского антициклона и, значит, с уменьшением облачности и увеличением солнечной радиации.

Определив изменчивость основных метеорологических параметров, а также их взаимосвязанность, можно оценить вклад каждого слагаемого в формуле (1). Для удобства анализа представим эту формулу в виде

$$\sigma_{T_{\text{эф}}}^2 = S_{T_{\text{н}}} + S_v + S_I + R_{v,I} + R_{T_{\text{н}},I} + R_{T_{\text{н}},v}. \quad (2)$$

Здесь $S_{T_{\text{н}}}$, S_v , S_I — вклады в дисперсию эффективной температуры, обусловленные соответственно изменчивостью температуры воздуха [первый член правой части формулы (1)], изменчивостью скорости ветра (второй член) и изменчивостью лучистых потоков тепла (третий член); $R_{v,I}$, $R_{T_{\text{н}},I}$, $R_{T_{\text{н}},v}$ — вклады, обусловленные корреляцией между скоростью ветра и суммарной радиацией, падающей на вертикальную поверхность (четвертый член), корреляцией между лучистым потоком тепла и температурой наружного воздуха (пятый член), корреляцией между температурой воздуха и скоростью ветра (шестой член).

Учет влияния изменчивости лучистых потоков на изменчивость эффективных температур и, следовательно, теплотерьер зданий нуждается в специальном обсуждении. Приведенные формулы базируются на стационарной теории теплообмена и, в частности, предусматривают, что поступающая сквозь окна радиация расходуется непосредственно на нагревание внутреннего воздуха. На самом деле лучистая энергия, попадающая в помещение, нагревает сначала поверхность твердых тел (перегородки, стены, мебель, оборудование), и это тепло постепенно передается внутреннему воздуху. Если осреднение проводится за большой промежуток времени, то можно пользоваться стационарной теорией. В данной работе использованы часовые суммы радиации. По оценкам, проведенным Л. С. Гандиным, влияние тепловой энергии твердых тел внутри здания приводит к уменьшению колебаний температуры внутреннего воздуха под воздействием колебаний лучистых потоков примерно втрое по сравнению с данными стационарной теории. Кроме того, примем, что в условиях городской застройки потоки I (значит, и их изменчивость σ_I) уменьшены вдвое по сравнению с потоками на отдельно расположенную вертикальную поверхность [3].

Учитывая все сказанное, мы при расчетах изменчивости эффективной температуры вводили вместо σ_I величину $\sigma_I = m\sigma_I$ (множитель m принят равным $1/6$).

При вычислении изменчивости эффективной температуры были приняты те же значения теплотехнических параметров, что и в работе [1], а именно: $T_{\text{в}} = 18^\circ\text{C}$; $\gamma = 0,2$ с/м, $\frac{\tau R}{R_{\text{ок}}} = 0,45$. Результаты вычислений представлены в табл. 3. Анализируя совместно табл. 1,

Изменчивость эффективной температуры в зависимости от изменчивости температуры воздуха, скорости ветра, радиации и степень корреляции между ними¹

Пункт	Срок (ч)	Для всех ориентаций			Юг			Восток			Запад					
		S	S _v	R _{T_нv}	S _l	R _{v, l}	R _{T_н, l}	σ _{Tэф} ²	S _l	R _{v, l}	R _{T_н, l}	σ _{Tэф} ²	S _l	R _{v, l}	R _{T_н, l}	σ _{Tэф} ²
Ташкент	9	57,52	0,42	-4,24	35,25	0,48	-14,67	75,36	31,32	0,43	-13,83	71,62	1,25	0,03	-9,55	53,43
	15	68,71	0,79	-0,24	29,22	-0,57	8,87	106,78	1,14	0,27	-2,77	67,90	25,96	-0,50	8,48	103,20
Омск	9	99,13	13,56	-41,91	8,57	1,15	-15,69	64,78	7,08	1,27	-14,69	64,41	0,19	1,22	-4,50	67,66
	15	84,01	14,21	-34,62	9,98	2,54	-17,72	58,40	0,17	0,52	-2,50	61,79	8,25	2,40	-16,30	57,95
Владивосток	9	39,33	42,12	19,46	19,77	-2,40	-21,05	97,23	17,46	-3,04	-19,89	95,44	0,89	-1,92	-2,87	97,01
	15	39,36	43,00	34,07	16,27	-4,07	-7,04	121,59	0,86	-1,57	-2,61	113,11	14,30	-4,58	-6,93	119,22
Куйбышев	9	72,56	8,34	-6,41	11,35	3,67	-29,56	59,93	9,06	3,39	-27,20	59,73	0,31	0,52	-5,47	69,85
	15	54,96	9,47	-12,46	10,75	3,96	-23,09	43,59	0,33	0,33	-4,55	48,08	8,72	3,52	-21,34	42,87
Тбилиси	9	21,32	1,56	0,01	16,07	-2,08	-5,97	31,06	14,34	-1,93	-5,88	29,51	0,61	0,03	-3,17	20,45
	15	31,00	1,84	3,68	21,46	-1,00	-0,55	54,47	0,89	-0,03	-1,87	35,51	19,36	-0,97	-0,68	54,23
Иркутск	9	64,32	2,10	-8,42	8,12	-2,37	5,76	69,51	6,67	-2,14	5,11	67,61	0,14	-0,23	0,85	53,76
	15	51,52	2,37	-5,36	11,73	-2,19	1,68	59,75	0,14	0,07	0,35	49,09	9,73	-4,90	1,35	57,71

¹ Обозначения см. в экспликации к формуле (2).

2 и 3, можно отметить, что там, где наблюдаются наибольшие изменчивости или наибольшие взаимосвязанности элементов, вклады в изменчивость эффективной температуры наибольшие. Например по данным табл. 1 наибольшая изменчивость температуры воздуха соответствует сроку 9 ч в Омске. В этом же пункте и в это же срок наблюдается наибольший вклад в $\sigma_{T_{эф}}^2$. На станциях, где разброс температуры невелик, например в Тбилиси, значения S_I также небольшие. Необходимо отметить, что величина S_{T_H} учитывает также влияние среднего ветра в виде множителя при $\sigma_{T_H}^2$, поэтому приведенные рассуждения справедливы главным образом для пунктов с небольшими скоростями ветра. Там, где наблюдаются большие скорости ветра, например, во Владивостоке, существенную роль может играть S_v . Анализируя вклады, обусловленные изменчивостью скорости ветра, можно отметить, что значения S_I от времени почти не зависят, т. е. для каждого отдельного пункта в различные сроки значения S_v одинаковы. Вклады, обусловленные изменчивостью лучистых потоков тепла, для одного и того же пункта в один срок будут различны для разных ориентаций. Наибольшие значения S_I имеют место на освещенных солнцем поверхностях, где изменчивость лучистых потоков велика.

Соображения, аналогичные изложенным выше, можно применить и для оценки вкладов различных корреляционных взаимосвязей в дисперсию эффективной температуры.

При анализе изменчивости эффективной температуры удобно использовать диаграммы, которые были построены на основании данных табл. 3. Диаграммы строились следующим образом: положительные значения слагаемых откладывались вверх от оси абсцисс, отрицательные — вниз. Часть диаграммы, соответствующая величине $\sigma_{T_{эф}}^2$, заштрихована. Для удобства анализа на диаграммах нанесены (волнистой линией) дисперсии температуры наружного воздуха $\sigma_{T_H}^2$. Диаграммы построены для наиболее интересных случаев. Рассмотрим сначала случай, когда $\sigma_{T_{эф}}^2 \approx \sigma_{T_H}^2$ (рис. 1). Например, для Куйбышева, как, впрочем, и для других пунктов, определяющую роль в изменчивости эффективной температуры играет температура наружного воздуха. Вклад S_v и S_I также значителен, но довольно большие отрицательные значения корреляции между T_H и I , а также T_H и v снижают величину $\sigma_{T_{эф}}^2$ и приближают ее к изменчивости $\sigma_{T_H}^2$. Это наблюдается как от срока к сроку, так и от одной ориентации к другой.

Совершенно иной пример приведен на рис. 2, где также для трех ориентаций и двух сроков представлены различные вклады в $\sigma_{T_{эф}}^2$ на ст. Владивосток. Эта станция расположена в районе, где зимой в силу муссонного климата наблюдаются как сильные северные ветры, так и большие значения потоков радиации при сравнительно высоких для зимы значениях температуры воздуха.

Поэтому изменчивость самой температуры невелика, а добавка за счет ветрового множителя в S_{T_n} составляет около одной трети дисперсии $\sigma_{T_n}^2$. Вклад изменчивости скорости ветра сравним вкладом S_{T_n} , причем такое соотношение наблюдается для всех ориентаций зданий в оба срока. Достаточно велик вклад, обусловленный отрицательной корреляцией между температурой воздуха скоростью ветра. Этот вклад возрастает во второй половине дня (когда увеличиваются скорости ветра). Кроме того, в 15 ч увели-

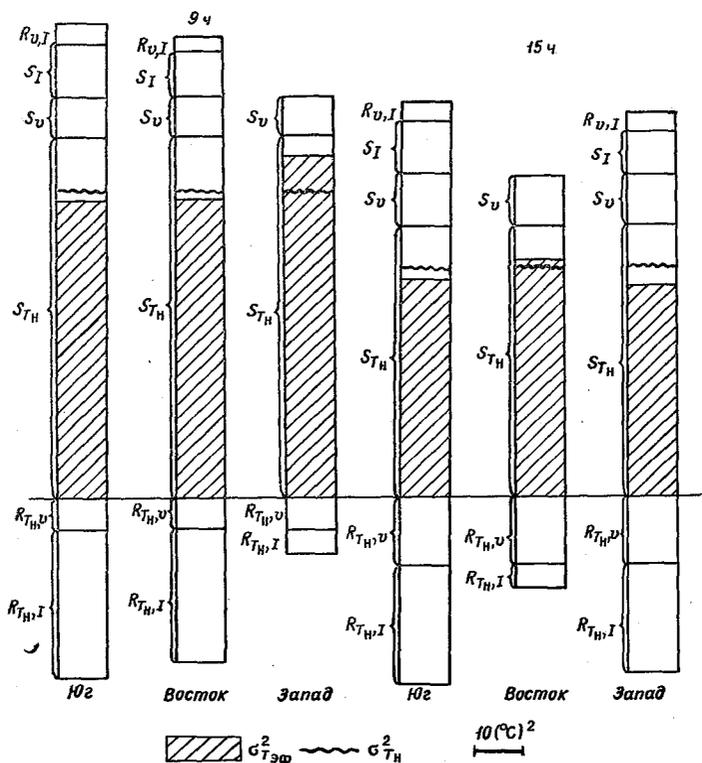


Рис. 1. Изменчивость эффективной температуры теплотеря зданий $[(^{\circ}\text{C})^2]$ и определяющие ее метеорологические факторы (S_{T_n} , S_v , S , $R_{T_n,v}$, $R_{T_n,I}$, $R_{v,I}$). Куйбышев.

чивается роль солнечной радиации. Все это приводит к тому, что при сохранении изменчивости температуры воздуха в оба срока дисперсия эффективной температуры резко возрастает и превышает $\sigma_{T_n}^2$ почти в 6 раз. Естественно, что при планировании резервных запасов топлива опираться только на изменчивость температуры воздуха нельзя, и в данном случае запасы его будут занижены.

Встречаются случаи, когда изменчивость эффективной температуры намного меньше изменчивости $\sigma_{T_H}^2$. Например, в Омске (рис. 3), где зимой наблюдается наибольшая изменчивость температуры наружного воздуха при сравнительно слабых ветрах вклад слагаемого S_{T_H} велик, но большие положительные связи между T_H и v вносят отрицательный вклад в изменчивость эффе

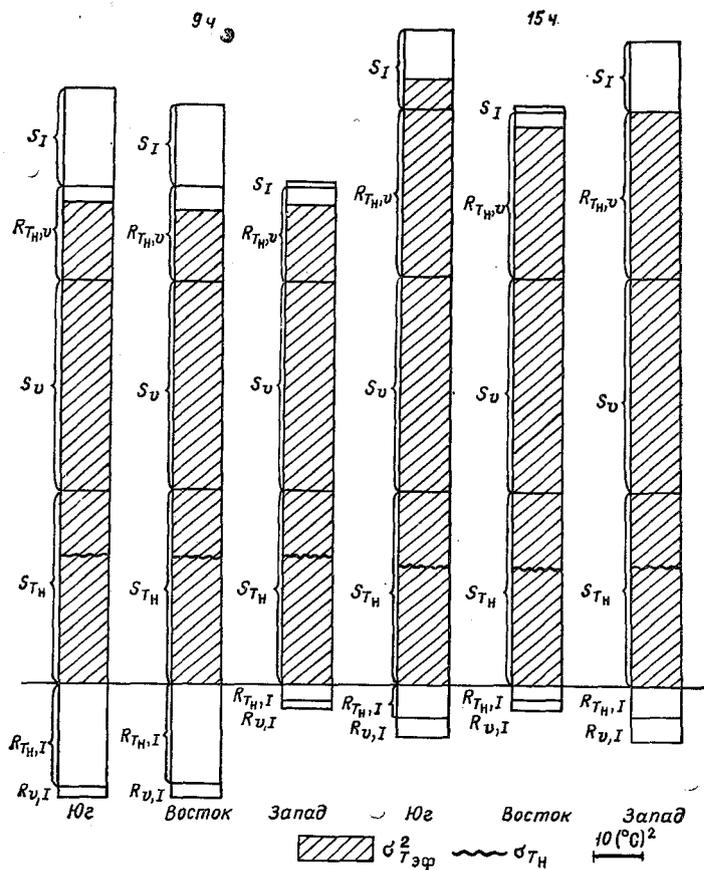


Рис. 2. Изменчивость эффективной температуры теплотерьер зданий $[(^{\circ}\text{C})^2]$ и определяющие ее метеорологические факторы (S_{T_H} , S_v , S_I , $R_{T_H, v}$, $R_{T_H, I}$, $R_{v, I}$) Владивосток.

тивной температуры. Поэтому значение $\sigma_{T_{эф}}^2$ гораздо меньше, и учет только изменчивости температуры воздуха при планировании резервных запасов топлива на отопительный сезон приведет к их завышению.

Эти примеры иллюстрируют количественно тот факт, что для рационального планирования резервных запасов топлива нельзя ориентироваться только на изменчивость температуры наружного воздуха, а необходимо учитывать изменчивость эффективной температуры, которая полнее учитывает характер и степень комплексного воздействия внешней среды на отопительные системы.

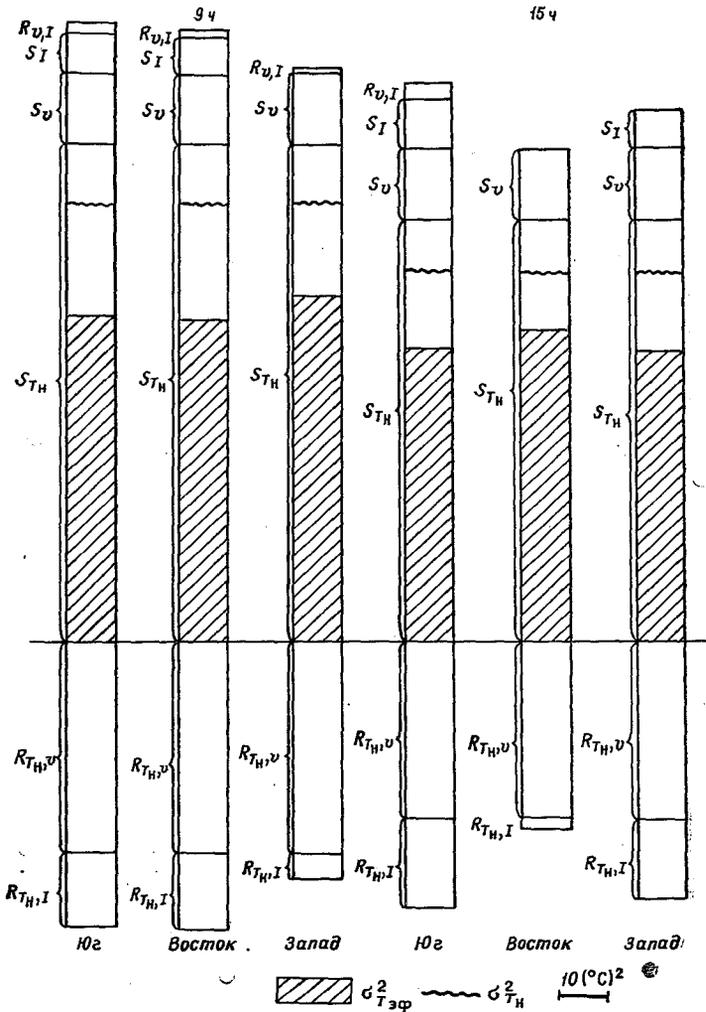


Рис. 3. Изменчивость эффективной температуры теплотерь зданий $[(°C)^2]$ и определяющие ее факторы (S_{T_n} , S_v , S_I , $R_{T_n,v}$, $R_{T_n,I}$, $R_{u,I}$). Омск.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гандин Л. С. К вопросу о расчете норм теплотерь по осредненным данным.— Труды ГГО, 1971, вып. 285, с. 17—23.
2. Кондратьев К. Я. Лучистая энергия Солнца. Л., Гидрометеиздат, 1964, 599 с.
3. Гандин Л. С., Клягина Л. П. О влиянии параметров ограждений зданий на суммарные теплотери в различных климатических условиях.— Труды ГГО, 1973, вып. 305, с. 3—13.

Д. Х. БЕЛЕНЬКИЙ, Л. С. ГАНДИН, Е. Е. ЖУКОВСКИЙ

ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ КЛИМАТОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ПРИ ПРИНЯТИИ ХОЗЯЙСТВЕННЫХ РЕШЕНИЙ

1. При решении многих хозяйственных задач приходится ориентироваться на то или иное значение метеорологического элемента x , от которого зависит поведение интересующего нас объекта или процесса. Каким в точности будет это значение, заранее неизвестно. При этом нередко встречаются ситуации, когда данными прогноза погоды невозможно воспользоваться из-за его недостаточной заблаговременности или нерационально использовать вследствие его низкой оправдываемости. В таких ситуациях единственным источником информации об элементе x являются данные климатологии. При этом решение следует принимать, всегда исходя из одного и того же значения a метеорологического элемента.

Принято считать, что в таких случаях следует полагать $a=x$, т. е. принимать хозяйственные решения, ориентируясь на среднее климатическое значение (норму) \bar{x} элемента x :

$$\bar{x} = \int_{-\infty}^{\infty} xf(x)dx, \quad (1)$$

где функция $f(x)$ описывает дифференциальный закон распределения элемента x . Можно, однако, показать, что оптимальное с экономической точки зрения значение $a=a_0$ элемента x , из которого следует исходить при принятии хозяйственного решения, вообще говоря, не равно норме \bar{x} . Рассмотрим этот вопрос подробнее.

Как уже было показано в [1, 2, 3], задача выбора оптимального значения $a=a_0$ элемента x сводится к анализу некоторой функции (или функционала) $F(x, a)$. Эта функция описывает при некоторых заданных единицах измерения и начале отсчета потери потребителя в случае, если он ориентируется на значение метеорологического элемента, равное a , а в действительности имело место значение, равное x . Тогда естественно потребовать, чтобы

величина $a = a_0$ минимизировала средние потери R , т. е. была той, чтобы средние в статистическом смысле потери

$$R(a) = \int_{-\infty}^{\infty} F(x, a) f(x) dx \quad (2)$$

были меньшими при $a = a_0$, чем при любом другом значении a . Для этого в свою очередь необходимо выполнение равенства¹

$$\left. \frac{dR}{da} \right|_{a=a_0} = 0. \quad (3)$$

Не умаляя общности, можно представить закон распределения $f(x)$ элемента x в виде

$$f(x) = \varphi(x - \bar{x}), \quad (4)$$

а функцию потерь $F(x, a)$ как

$$F(x, a) = \psi(x - a, x - \bar{x}), \quad (5)$$

так что формула (2) примет вид

$$R(a) = \int_{-\infty}^{\infty} \psi(x - a, x - \bar{x}) \varphi(x - \bar{x}) dx. \quad (6)$$

Будем называть закон распределения симметричным, если функция φ зависит только от абсолютной величины своего аргумента, т. е. если при любых l

$$\varphi(-l) = \varphi(l). \quad (7)$$

Аналогично будем называть функцию потерь симметричной, если функция ψ зависит лишь от абсолютных величин обоих аргументов, т. е. если при любых r и s

$$\psi(-r, s) = \psi(r, -s) = \psi(-r, -s) = \psi(r, s). \quad (8)$$

Кроме того, будем называть функцию потерь разностной, если она зависит только от разности $x - a$ между действительными и принятым значениями метеорологического элемента, т. е. если функция ψ не зависит от своего второго аргумента. Тогда нетрудно показать следующее:

а) если закон распределения симметричный и функция потерь симметричная, то $a_0 = \bar{x}$, т. е. оптимальна ориентация на норму;

б) если функция потерь симметричная, разностная и имеет вид

$$\psi = A(x - a)^2, \quad A = \text{const}, \quad (9)$$

то независимо от вида закона распределения $a_0 = \bar{x}$, т. е. тоже оптимальна ориентация на норму;

в) если функция потерь имеет вид

¹ Иногда это необязательно, например если минимум находится на границе области поиска экстремума.

$$\psi = A|x - a|, \quad A = \text{const}, \quad (10)$$

оптимальна ориентация на медиану закона распределения, т. е. $=x_m$, где x_m определяется уравнением

$$\int_{-\infty}^{x_m} f(x) dx = \int_{x_m}^{\infty} f(x) dx = \frac{1}{2}. \quad (11)$$

Из «а» следует, что отличие оптимального значения a_0 от нормы \bar{x} может определяться двумя факторами, а именно несимметричностью закона распределения [если только функция потерь не имеет форму (9)] и несимметричностью функции потерь. Рассмотрим примеры, иллюстрирующие количественной стороны влияние этих факторов.

2. Начнем со случая, когда отличие a_0 от \bar{x} определяется только несимметричностью закона распределения, в то время как функция потерь симметрична. Рассмотрим в качестве простейшего варианта функцию потерь вида (10), для которой $a_0 = x_m$.

Пусть закон распределения логарифмически-нормальный:

$$f(x) = \begin{cases} 0 & x \leq 0, \\ \frac{1}{\sqrt{2\pi} cx} \exp\left[-\frac{(\ln x - b)^2}{2c^2}\right] & x > 0, \end{cases} \quad (12)$$

где b и c — параметры, связанные с нормой \bar{x} и дисперсией σ^2 соотношениями

$$\bar{x} = \exp\left(b + \frac{c^2}{2}\right), \quad (13)$$

$$\sigma^2 = \exp(2b + c^2)[\exp c^2 - 1]. \quad (14)$$

Подставляя (12) и (10) в (2) и решая далее уравнение (3), получим, что

$$a_0 = x_m = \exp b \quad (15)$$

или, согласно (13) и (14),

$$a_0 = \frac{\bar{x}}{\sqrt{1 + \left(\frac{\sigma}{\bar{x}}\right)^2}}. \quad (16)$$

Отсюда видно, что в данном случае оптимальное значение a_0 всегда меньше нормы \bar{x} и различие между ними растет с увеличением коэффициента вариации $v = \frac{\sigma}{\bar{x}}$

Средние потери при оптимальной стратегии определяются при этом формулой

$$R(a_0) = A\bar{x} \operatorname{erf}\left(\frac{c}{\sqrt{2}}\right), \quad (17)$$

а средние потери при ориентации на норму — формулой

$$R(\bar{x}) = 2A\bar{x} \operatorname{erf}\left(\frac{c}{2\sqrt{2}}\right), \quad (1)$$

где

$$\operatorname{erf}(z) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^z e^{-t^2} dt \quad (1)$$

— функция Крампа.

Удобно ввести безразмерную величину [2]

$$\lambda = 1 - \frac{R(a_0)}{R(\bar{x})}, \quad (2)$$

характеризующую относительное уменьшение потерь при ориентации на оптимальное значение a_0 по сравнению с ориентацией на норму. Будем называть λ коэффициентом эффективности оптимальной стратегии. В нашем случае этот коэффициент определяется формулой

$$\lambda = 1 - \frac{\operatorname{erf}\left(\frac{c}{\sqrt{2}}\right)}{2 \operatorname{erf}\left(\frac{c}{2\sqrt{2}}\right)}. \quad (2)$$

На рис. 1 представлены величины $\frac{a_0}{x}$ и λ как функции коэффициента вариации v . Можно видеть, что при больших v оптимальное значение может быть существенно меньше нормы, а коэффициент λ при этом будет значителен. Практически, однако коэффициент вариации метеорологических элементов, распределение которых может быть аппроксимировано законом (12), обычно невелик — он редко превосходит величину $v=1$. В таких условиях a_0 мало отличается от \bar{x} и повышение эффективности от ориентации на оптимальное значение $a_0=x_m$ по сравнению с ориентацией на норму невелико.

Рассмотрим теперь формулу двумерного распределения Максвелла, которую иногда называют также формулой Рэлея:

$$f(x) = \begin{cases} 0 & x \leq 0, \\ \frac{x}{q^2} e^{-\frac{x^2}{2q^2}} & x > 0. \end{cases} \quad (22)$$

Как известно, формула (22) хорошо описывает закон распределения скоростей ветра в свободной атмосфере.

В отличие от (12), закон распределения (22) является не двухпараметрическим, а однопараметрическим, и величины $\frac{a_0}{x}$ и λ , так же как отношения $R(a_0)/A\bar{x}$ и $R(\bar{x})/A\bar{x}$ представляют собой константы.

В данном случае оптимальное значение $a=a_0$ тоже меньше нормы, но расхождение между ними весьма мало. Еще меньше различие между средними потерями при ориентации на норму и при

оптимальной стратегии, так что коэффициент эффективности оптимальной стратегии незначителен (меньше 0,01).

3. Приведенные примеры показывают, что при симметричной функции потерь отличие от нормы оптимального значения метеорологического элемента, на которое следует ориентироваться при принятии хозяйственного решения, обычно сравнительно невелико. Ответственно эффективность замены ориентации на норму оптимальной стратегией в случае симметричной функции потерь обычно будет невелика.

Практически, однако, функции потерь почти никогда не бывают симметричными. Часто хозяйственные потери вследствие принятия завышенного значения метеорологического элемента имеют совершенно другую природу по сравнению с потерями при принятии заниженного значения. Так, занижение влагозапасов почвы при планировании режима полива приведет к накоплению излишних резервов воды, в то время как завышение влагозапасов почвы будет иметь следствием понижение урожая. Аналогичным образом занижение температуры воздуха приведет к излишним запасам топлива для отопления зданий, а завышение этой температуры вызовет необходимость аварийных перевозках топлива и может привести даже к прекращению работы предприятий. Ясно, что во всех подобных случаях при одной величине разности $x-a$ между действительными значениями элемента и значением, положенным в основу хозяйственного орошения, потери будут зависеть также от знака этой разности.

Удобнее всего анализировать влияние несимметричности потерь на выбор оптимального решения, описывая функцию потерь одной и той же зависимостью от величины разности $x-a$, но с разными коэффициентами при положительных и отрицательных значениях этой разности, т. е. считая функции потерь при положительных и отрицательных ошибках подобными, например полагая

$$\psi(x-a) = \begin{cases} A_1(a-x) & x \leq a, \\ A_2(x-a) & x > a. \end{cases} \quad (23)$$

Принятие решений при функциях потерь такого рода впервые исследовалось в [2].

Рассмотрим средние потери и условия их минимизации при функции потерь (23) применительно к простейшим симметричным законам распределения.

а) Равномерное распределение

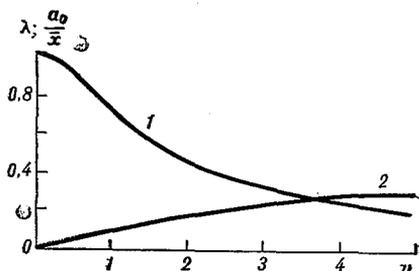


Рис. 1. Зависимость величин a_0/x (1) и λ (2) от коэффициента вариации v логарифмически-нормального закона распределения при линейной разностной симметричной функции потерь.

$$f(x) = \begin{cases} 0 & x \leq x_1, \\ \frac{1}{x_2 - x_1} & x_1 < x \leq x_2, \\ 0 & x > x_2, \end{cases} \quad (2)$$

для которого

$$\bar{x} = \frac{1}{2}(x_1 + x_2), \quad \sigma = \frac{x_2 - x_1}{2\sqrt{3}}. \quad (2)$$

Подставляя (23) и (24) в (2) и решая далее уравнение (3) с учетом (25), легко получить

$$t_0 = \frac{a_0 - \bar{x}}{\sigma} = -\frac{k-1}{k+1}\sqrt{3}, \quad (26)$$

где

$$k = \frac{A_1}{A_2}. \quad (27)$$

Используя (26), нетрудно затем найти выражение для коэффициента эффективности оптимальной стратегии, который в данном случае будет равен

$$\lambda = \frac{(k-1)^2}{(k+1)^2}. \quad (28)$$

Из (26) видно, что в случае $k > 1$, т. е. когда завышение значения метеорологического элемента приводит к большим потерям чем занижение, оптимальное значение a_0 меньше нормы. В противоположном случае (т. е. когда $k < 1$) оптимальное значение превосходит норму. При замене k на $\frac{1}{k}$ правая часть (26) меняет свой знак, а (28) остается без изменений. Поэтому достаточно рассмотреть зависимости величин t_0 и λ от k при значениях $k > 1$. Эти зависимости представлены на рис. 2. Величина t_0 характеризует собой отклонение оптимального значения a_0 элемента x от нормы \bar{x} , выраженное в долях среднего квадратического отклонения σ . Естественно, что при $k=1$ (симметричная функция потерь) t_0 обращается в нуль, т. е. в этом случае оптимальным значением является норма. С ростом $k > 1$ параметр t_0 стремится к величине $-\sqrt{3}$, что соответствует нижнему предельному значению элемента $x=x_1$.

Коэффициент эффективности оптимальной стратегии увеличивается с ростом k и стремится к единице.

Как видно из рис. 2, при значительной несимметричности функции потерь преимущество оптимальной стратегии перед ориентацией на норму оказывается весьма большим.

б) Нормальное распределение

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left[-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}\right]. \quad (29)$$

Этот случай с практической стороны интереснее предыдущего, так как распределения многих метеорологических элементов, в частности температуры, давления, плотности воздуха, обычно можно достаточной степенью точности считать подчиняющимися нормальному закону.

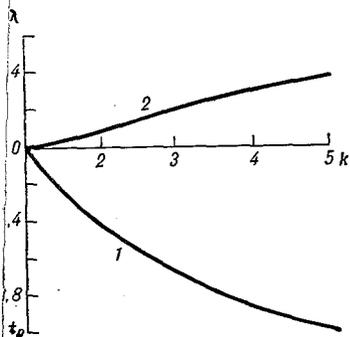


рис. 2. Зависимость величин (1) и λ (2) от коэффициента несимметричности k при линейной разностной функции потерь в случае равномерного распределения.

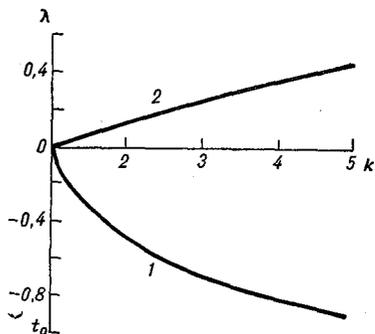


рис. 3. Зависимость величин t_0 (1) и λ (2) от коэффициента несимметричности k при линейной разностной функции потерь в случае нормального распределения.

Действуя аналогично предыдущему, получим для случая нормального закона формулы

$$\operatorname{erf}\left(\frac{t_0}{\sqrt{2}}\right) = -\frac{k-1}{k+1}, \quad (30)$$

$$\lambda = 1 - \exp\left[-\frac{t_0^2}{2}\right]. \quad (31)$$

Как видно из рис. 3, зависимость относительного отклонения t_0 от отношения весов положительных и отрицательных ошибок k для нормального закона примерно такая же, как и для равномерного распределения. Однако в случае нормального закона t_0 с ростом k не стремится к конечному пределу, а растет неограниченно. Таким образом, в принципе оптимальное значение не может в данном случае отличаться от нормы на сколь угодно большую величину. Коэффициент эффективности оптимальной стратегии λ (см. рис. 3) быстро растет с увеличением степени несимметричности функции потерь.

Аналитические формулы, аналогичные приведенным выше, могут быть получены и для ряда других вариантов рассматриваемой задачи. Например, если разностная функция потерь, подобная при

положительных и отрицательных расхождениях, является не линейной, а квадратичной

$$\psi(x-a) = \begin{cases} A_1(a-x)^2 & x \leq a, \\ A_2(x-a)^2 & x > a, \end{cases} \quad (3)$$

то применительно к нормальному закону (29) нетрудно вместе (30) и (31) получить формулы

$$t_0 = \frac{(1-k) \operatorname{erf}'\left(\frac{t_0}{\sqrt{2}}\right)}{2 - (1-k) \left[1 + \operatorname{erf}\left(\frac{t_0}{\sqrt{2}}\right)\right]}, \quad (32)$$

$$\lambda = -\frac{k-1}{k+1} \operatorname{erf}\left(\frac{t_0}{\sqrt{2}}\right). \quad (33)$$

Поведение величин t_0 и λ как функций от k в качественном отношении здесь такое же, как в предыдущем примере. Можно лишь указать, что относительная величина t_0 растет с увеличением медленнее, чем в случае линейной функции потерь. Подробный вывод соотношений (30)–(34) можно найти в [2].

В этом примере, как и в двух предыдущих, закон распределения симметричен. Как следствие при замене k на $\frac{1}{k}$ величина t_0 лишь меняет знак, в λ остается неизменным.

4. Можно показать, что если и функция потерь и закон распределения несимметричны, то последняя закономерность не имеет места. Например, в случае логарифмически-нормального закона (12) при функции потерь (23) получаем

$$\operatorname{erf}\left(\frac{t_1}{\sqrt{2}}\right) = -\frac{k-1}{k+1}, \quad (35)$$

где

$$t_1 = \frac{\ln a_0 - b}{c}, \quad (36)$$

$$\lambda = 1 + \frac{\operatorname{erf}\left(\frac{t_1 - c}{\sqrt{2}}\right) - \operatorname{erf}\left(\frac{t_1}{\sqrt{2}}\right)}{2 \operatorname{erf}\left(\frac{c}{2\sqrt{2}}\right)}. \quad (37)$$

На рис. 4 представлены графики зависимости a_0/x_m (в данном случае $x_m = e^b$) и λ , построенные согласно формулам (35) и (37) при $c=1$, причем для $k > 1$ в качестве аргумента фигурирует k , а для $k < 1$ — обратная величина $k' = \frac{1}{k}$. Все эти кривые не обладают симметрией по отношению к $k=1$. Из кривой для коэффициента λ видно, что в случае $k > k_0$ оптимальная стратегия приводит к существенно большему эффекту, чем при прочих равных условиях в случае $k < k_0$.¹ Например, при $k=5$ принятие оптималь-

¹ Значение k_0 соответствует случаю, когда величина a_0 совпадает с нормой.

ой стратегии вместо ориентации на норму уменьшает средние по-
ри на 63%, в то время как при $k = \frac{1}{5}$ уменьшение средних по-
ррь составляет всего 9%. Для сравнения укажем, что при нор-
мальном законе распределения $\lambda \approx 37\%$ как при $k = 5$, так и при
 $= \frac{1}{5}$.

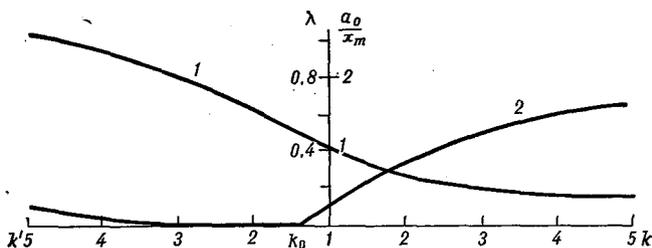


Рис. 4. Зависимость величин a_0/x_m (1) и λ (2) от коэффициента несимметричности k при линейной разностной функции потерь в случае логарифмически-нормального распределения при $c=1$.

5. В работе [4] изложены результаты использования некоторых из рассмотренных выше формул в задаче об оптимальном планировании оросительных норм. Рассмотрим другой пример, относящийся к оптимальному планированию запасов топлива для отопления зданий. В работе [5] было показано, что теплотери зданий зависят от некоторого комплексного метеорологического параметра, являющегося функцией температуры наружного воздуха, скорости ветра и солнечной радиации, — так называемого дефицита тепла. Нормы среднемесячных значений дефицита тепла были исследованы в работе [6], а в [7] была изучена межгодовая изменчивость этих среднемесячных значений и получены средние квадратические отклонения σ . Если бы была известна функция потерь для этой задачи, то указанных данных было бы достаточно как для выработки оптимальной стратегии, так и для оценки получаемых в результате ее выгод.

К сожалению, функция потерь неизвестна. С уверенностью можно утверждать лишь, что при отрицательных ошибках, т. е. при принятии слишком низкой температуры, что влечет за собой накопление излишних запасов топлива, потери меньше, чем при таких же, но положительных ошибках, приводящих к аварийным ситуациям. Мы приняли поэтому, что функция потерь имеет вид (23), и выполнили оценки для нескольких значений параметра k , считая закон распределения температуры нормальным.

Результаты таких оценок при значениях $k=2$ и $k=5$ приведены для некоторых пунктов и месяцев отопительного периода в табл. 1. Они представлены в двух формах, а именно в виде понижения

расчетной (эффективной) температуры по сравнению с нормой при оптимальной стратегии и в виде соответствующего относительно увеличения запасов топлива по сравнению с ориентацией на норму. Из этих данных видно, что даже при $k=2$ отличие оптимальной стратегии от ориентации на норму становится заметным, а при $k=5$ оно весьма значительно. При этом, как показано выше (см.

Таблица

Характеристики оптимальной стратегии при планировании отпуска тепла

Пункт	$k=2$					$k=5$				
	XI	XII	I	II	III	XI	XII	I	II	III
а) Уменьшение расчетной среднемесячной температуры по сравнению с многолетним средним значением (°С)										
Киев	1,0	1,2	1,7	1,6	1,2	2,2	2,7	3,8	3,6	2
Ленинград	1,0	1,5	1,6	1,6	1,3	2,3	3,3	3,6	3,7	2
Новосибирск	1,7	2,1	1,8	1,7	1,4	3,8	4,6	4,0	3,9	3
Якутск	1,4	1,0	1,1	0,9	0,9	3,1	2,2	2,4	2,0	1
Воркута	1,5	2,1	2,2	2,1	2,2	3,5	4,6	4,8	4,6	4
б) Относительное увеличение запасов топлива по сравнению с ориентацией на многолетнее среднее значение (%)										
Киев	6	6	7	7	8	14	13	16	16	18
Ленинград	6	6	6	6	7	13	14	14	15	16
Новосибирск	6	6	5	5	6	14	13	11	12	14
Якутск	3	2	2	2	3	7	4	4	4	6
Воркута	4	5	5	5	6	10	11	11	11	14

рис. 3) применение оптимальной стратегии позволяет снизить средние затраты по сравнению с ориентацией на норму на 9% в случае $k=2$ и на 37% в случае $k=5$.

На практике, разумеется, всегда стремятся обеспечить некоторый резерв топлива на случай неблагоприятных метеорологических условий. Однако такие резервные запасы назначаются «на глазок», без какого-либо количественного обоснования. Применяя изложенную выше методику, можно будет более обоснованно планировать запасы топлива и тем самым получить значительную экономию. Для этого, однако, необходимо сначала определить функцию потерь, проведя соответствующие экономические исследования.

В заключение необходимо подчеркнуть, что основная трудность в деле практической реализации рассмотренной методики состоит в недостаточном знании функций потерь при конкретных народнохозяйственных задачах. Именно по этой причине мы ограничились рассмотрением простых стилизаций этой функции — случаем, ког-

а потери при положительных и отрицательных ошибках подобны. Можно думать, что в действительности это свойство имеет место далеко не всегда и, вообще, что реальные функции потерь имеют достаточно сложный вид. Это, однако, не является сколько-нибудь существенным препятствием, поскольку соответствующие оценки нетрудно в случае необходимости выполнить численными методами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Монин А. С. Об использовании ненадежных прогнозов.— Изв. АН СССР, сер. геофиз., 1962, № 2, с. 218—228.
2. Жуковский Е. Е., Чудновский А. Ф. Оптимизация экстраполяции (или интерполяции) при критериях качества, отличающихся от средней квадратической погрешности, и ее применение в задачах агрометеорологии.— Сб. трудов по агрономической физике, 1969, вып. 20, с. 93—117.
3. Жуковский Е. Е. Принятие оптимальных хозяйственных решений как метод повышения эффективности агрометеорологических прогнозов.— «Метеорология и гидрология», 1973, № 1, с. 32—41.
4. Жуковский Е. Е., Чудновский А. Ф. Оптимальные решения при назначении оросительных норм.— Труды УкрНИГМИ, 1973, вып. 128, с. 50—57.
5. Гандин Л. С. Тепловой режим зданий и лучистый теплообмен.— Труды ГГО, 1970, вып. 268, с. 21—46.
6. Гандин Л. С. О расчете длительности отопительного периода и норм отопления в различных климатических условиях.— Труды ГГО, 1971, вып. 285, с. 3—16.
7. Анапольская Л. Е., Гандин Л. С., Мандель Д. Г. Климатическая изменчивость месячных теплопотерь зданий и нормы отопления.— См. настоящий сб., с. 3—18.

И. М. БЕЛЯВСКА

О ТЕМПЕРАТУРНЫХ РАЗЛИЧИЯХ НА ТЕРРИТОРИИ ЛЕНИНГРАДА ЗА ОТОПИТЕЛЬНЫЙ СЕЗОН 1967-68 г.

Для решения практических задач многим организациям города необходимы надежные и точные данные о температуре наружного воздуха непосредственно на участках производства. В таких данных нуждаются, например, предприятия Теплоэнерго Ленгорсовета осуществляющие отопление значительной части города.

В настоящей статье представлены результаты анализа распределения температуры воздуха на территории города в отопительный сезон 1967-68 г. В качестве исходных данных в работе использованы наблюдения четырех метеорологических станций (Ленинград, Информационный центр погоды — ИЦП, б. ГМО, Шоссейная, Невская устьевая и Фарфоровский пост) и восемь специальных ведомственных постов, организованных Северо-Западным управлением гидрометслужбы для наблюдений за температурой воздуха в отопительный сезон (ноябрь — апрель). Обработывались наблюдения за температурой воздуха по восьми срокам, а на постах обработаны ленты термографов. За реперную принята станция Ленинград, ИЦП. Вычислены разности между температурой на станциях и постах и температурой на реперной станции.

Таблица 1

Температура воздуха в январе и феврале 1968 г.
(*а* — многолетняя средняя, *б* — в 1968 г., *в* — разность)

Станция	Январь			Февраль		
	<i>а</i>	<i>б</i>	<i>в</i>	<i>а</i>	<i>б</i>	<i>в</i>
Ленинград, ИЦП	-7,7	-16,5	-8,8	-7,9	-5,9	2,0
Невская устьевая	-7,8	-16,3	-8,5	-8,0	-5,9	2,1
Шоссейная	-8,6	-18,2	-9,6	-8,9	-7,2	1,7
Фарфоровский пост	-8,3	-17,1	-8,8	-8,5	-6,2	2,3

Зима 1967-68 г. позволяет наглядно проследить изменчивость температуры в различных районах города, так как она была достаточно холодной. Средняя месячная температура декабря в эту зиму была на $4,1^{\circ}$ ниже нормы, а января — на $8,8^{\circ}$ ниже нормы.

Как показали наблюдения (табл. 1), температура воздуха в разных районах города Ленинграда и его окрестностей существенно различалась, что связано с особенностями застройки, характером подстилающей поверхности, различием в формах рельефа и удалением от Невской губы.

Наименьшие разности температур наблюдаются между станциями Ленинград, ИЦП и Невская устьевая (до $0,2^{\circ}\text{C}$), наибольшие — между станциями Ленинград, ИЦП и Шоссейная (до $-1,7^{\circ}\text{C}$). Наиболее низкая температура в январе 1968 г. была на ст. Шоссейная ($-18,2^{\circ}\text{C}$), и по многолетним средним данным в зимнее время здесь холоднее, чем в районе городской станции (Ленинград, ИЦП), в среднем на 1°C . Станция Невская устьевая находится в районе Морского порта, в непосредственной близости от Финского залива, а Ленинград, ИЦП — в северо-западной части города, в 4 км от Финского залива. Станция Шоссейная расположена на южной окраине города, где влияние Финского залива менее существенно.

В суточном ходе (табл. 2) наибольшая разность средних месячных температур между реперной станцией и Шоссейной составляет $2,0^{\circ}\text{C}$ и наблюдается в утренние и вечерние часы (6, 9 и 18 ч): аналогичная разность температур между реперной станцией и Фарфоровским постом достигает лишь 1°C , причем только в утренние часы (9 ч).

Еще более существенны различия в температуре наружного воздуха на станциях за отдельные сроки наблюдений (табл. 3).

В связи с наблюдающимся большим различием температуры воздуха в городе и его окрестностях в практической деятельности

Таблица 2
Разности средних месячных температур. Январь 1968 г.

Срок (ч)	Шоссейная — Ленинград, ИЦП	Фарфоровский пост — Ленинград, ИЦП	Невская устьевая — Ленинград, ИЦП
0	-1,6	-0,6	0,4
3	-1,6	-0,7	0,2
6	-1,9	-0,8	0,2
9	-2,0	-1,0	0,2
12	-1,8	-0,5	0,3
15	-1,7	-0,5	0,0
18	-2,0	-0,6	0,2
21	-1,4	-0,4	0,3
Месяц	-1,7	-0,6	0,2

Таблица 3
Наибольшая разность температур между станциями за отдельные сроки в январе — феврале 1968 г.

Месяц	Шоссейная — Ленинград, ИЦП	Фарфоровский пост — Ленинград, ИЦП	Невская устьевая — Ленинград, ИЦП
Январь	-8,7	-6,2	3,9
Февраль	-7,5	-5,0	4,0

предприятий Теплоэнерго возникла необходимость учитывать колебания температуры. С этой целью и была создана сеть постов наблюдений за температурой воздуха на территории города и его пригородов. Использование данных наблюдений постов позволяет предприятиям Теплоэнерго улучшить теплоснабжение населения

Таблица

Разности средних суточных температур между постами и станциями и реперной станцией Ленинград, ИЦП

Тип погоды	2-1	3-1	4-1	5-1	6-1	7-1	8-1	9-1	10-1	11-1	12-
18 января											
1-й	-2,6	0,3	-2,3	-1,2	-0,4	—	-1,8	-1,2	-4,9	-2,6	1,0
19 января											
	-1,9	0,0	-2,4	-2,9	-1,6	—	-2,6	-3,3	-5,2	-3,4	0,3
8 февраля											
	-0,8	-0,7	-2,0	-1,7	-1,6	-2,3	-0,3	-0,9	-4,8	-1,2	-0,3
26 января											
2-й	-0,7	-0,3	-0,3	-0,3	-0,2	-0,5	-0,2	-0,9	-0,2	-0,4	0,1
10 февраля											
	0,2	-0,2	0,3	-0,4	-0,4	-0,5	0,3	-0,9	-0,3	-0,1	0,0

Примечания. 1. Знак минус означает, что температура воздуха на реперной станции выше, чем на остальных станциях и постах.

2. В таблице приняты следующие условные обозначения: 1 — Ленинград ИЦП (реперная); посты при котельных Теплоэнерго: 2 — Выборгский, 3 — Чернореченский, 4 — Калининский, 5 — Кировский, 6 — Московский, 7 — г. Пушкин, 8 — Невский, 9 — г. Гатчина; метеорологические станции: 10 — Шоссейная, 11 — Фарфоровский пост, 12 — Невская устьевая.

Ленинграда и организовать работу так, чтобы с наименьшими затратами топливных ресурсов обеспечивать необходимую норму тепла.

Температурный режим за отопительный сезон рассматривался в зависимости от погоды. Были выделены четыре типа погоды:

1-й тип — малооблачная погода, ветер слабый или штиль (0—5 м/с);

2-й тип — пасмурная погода, скорость ветра 5 м/с и менее;

3-й тип — малооблачная погода, скорость ветра 6—12 м/с;

4-й тип — пасмурная погода, скорость ветра 6—12 м/с.

Направление ветра для всех четырех типов погоды различное.

В рассматриваемый период в Ленинграде преобладали 2-й и 4-й типы погоды. Однако в январе почти половина дней (14) была

1-м типом погоды. Для выяснения особенностей распределения температуры в городе, соответствующих разным типам погоды, были вычислены разности между температурой, наблюдаемой на станциях и постах, и температурой реперной станции — Ленинград, ИЦП.

Так как все таблицы поместить в данной статье не представляется возможным, здесь приводятся только данные за некоторые дни с определенным типом погоды. В табл. 4 представлены разности средних суточных температур воздуха при 1-м и 2-м типах погоды.

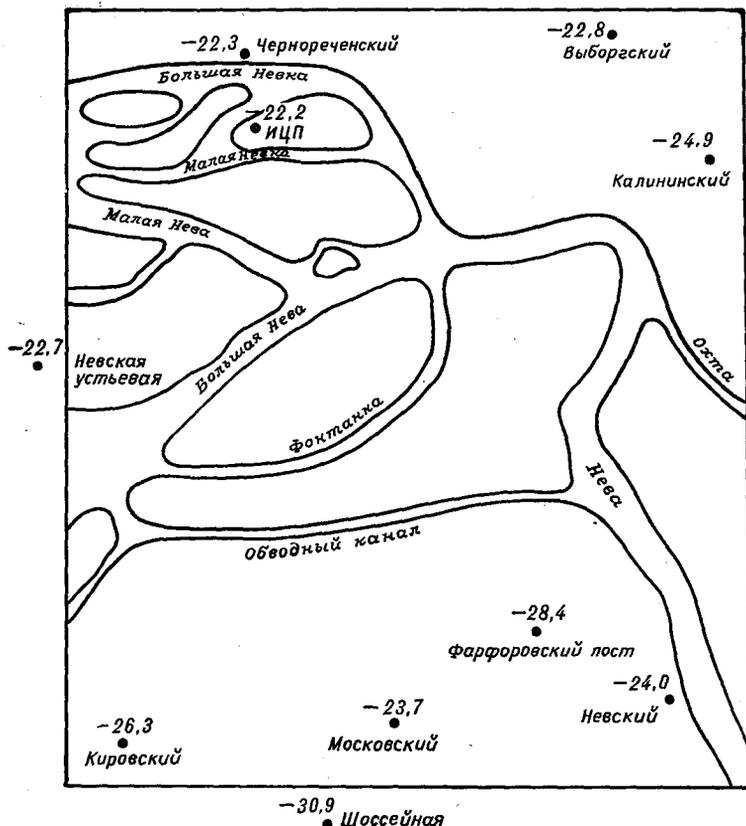


Рис. 1. Распределение температуры воздуха (°C) в Ленинграде при 1-м типе погоды. 19 января 1968 г., 6 ч.

Наибольшие средние суточные разности наблюдались при 1-м типе погоды, в Шоссейной они достигали 5,2°C. Значения температуры воздуха на ст. Невская устьевая и близко расположенном посту Чернореченский близки к температуре, наблюдавшейся на

реперной станции. Разности не превышают 1°C как при 1-м типе погоды, так и при 2-м. Разности температур для пунктов, расположенных в окрестностях города, меньше при 2-м типе погоды, если при 1-м типе погоды они составляют $3\text{--}5^{\circ}\text{C}$, то при 2-м типе 1°C .

Эти данные подтверждают вывод о том, что наибольшие разности температур зимой наблюдаются при ясной, тихой, морозной погоде, обусловленной антициклонической циркуляцией, когда с севера вторгаются холодные массы воздуха или происходит сильное выхолаживание подстилающей поверхности в малоградиентном поле давления. Наблюдения показывают, что в течение дня при таком типе погоды разности температур между различными районами города и реперной станцией могут достигать почти 9°C .

На рис. 1 и 2 приведены примеры распределения температуры на территории города при различных типах погоды. Обращает на

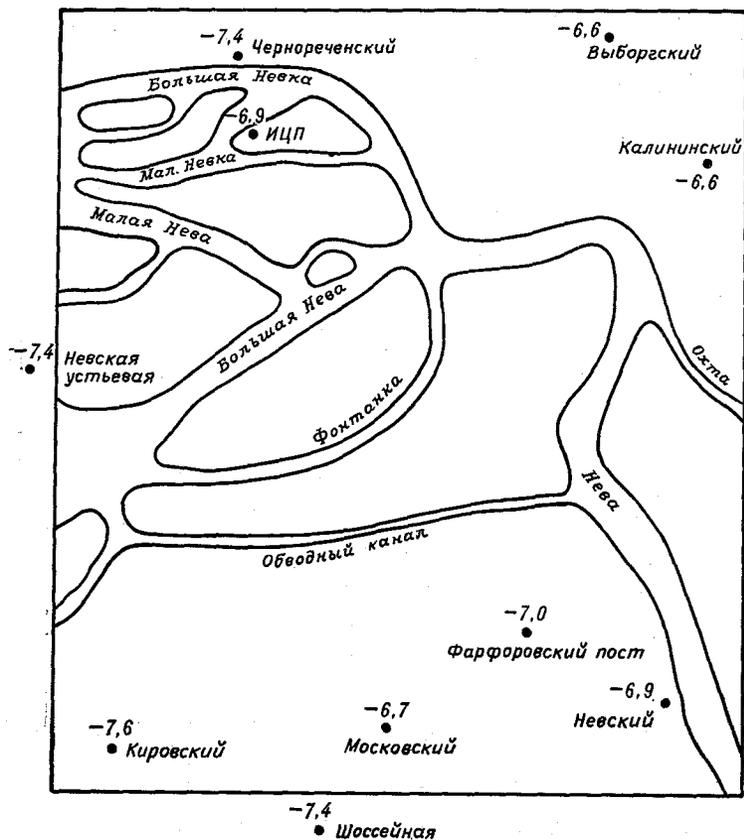


Рис. 2. Распределение температуры воздуха ($^{\circ}\text{C}$) в Ленинграде при 2-м типе погоды. 10 февраля 1968 г., 6 ч.

себя внимание уменьшение разности температур между реперной станцией и пунктами на территории города при 2-м типе погоды по сравнению с 1-м типом. Облачность уменьшает разности температур между различными районами города. Если при 1-м типе погоды разность температур достигает 7—8,7°C (рис. 1), то при 2-м типе погоды она не превышает 1°C (рис. 2).

При 3-м и 4-м типах погоды тоже наблюдается уменьшение разности температур по сравнению с 1-м типом погоды. Это можно проследить по табл. 5. Наибольшие разности, наблюдавшиеся

Таблица 5

Наибольшие разности температур из восьми сроков при 3-м и 4-м типах погоды

Тип погоды	Посты						Станции		
	Выборгский	Черно-реченский	Калининский	Кировский	Московский	Невский	Шоссе-ная	Фарфоровский пост	Невская устьевая
	3 декабря								
3-й	1,5	-0,4	-1,1	-1,1	—	—	-0,7	0,6	0,5
	16 марта								
	1,5	1,1	1,5	-0,8	1,7	-1,1	-1,2	1,0	-0,8
	6 декабря								
4-й	-0,3	-1,2	-0,4	-1,6	—	—	-0,7	-0,6	-1,2
	30 января								
	-0,8	-2,2	-0,4	-1,7	-0,5	-0,9	-0,7	-1,0	-0,4

в эти дни, достигли только 1—2°C. Но даже и такие, на первый взгляд небольшие различия между температурой в разных районах города и температурой реперной станции еще раз подтверждают вывод о неоднородности температурного режима в Ленинграде при различных типах погоды в отдельные дни и месяцы. Поэтому для более полного изучения метеорологических особенностей Ленинграда необходимо создать в черте города рациональную сеть пунктов для наблюдений за температурой воздуха и скоростью ветра с учетом запросов народнохозяйственных организаций города.

Р. И. ШУЛЬГИНСКАЯ

К ВОПРОСУ О РЕГУЛИРОВАНИИ ОТОПЛЕНИЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА

В данной статье сделана попытка оценить эффективность использования трестами Топливо-энергетического управления Ленгорисполкома (Теплоэнерго) сведений о фактической температуре воздуха в различных районах Ленинграда.

Расход тепла котельными в значительной мере зависит от погодных условий, особенно от температуры наружного воздуха.

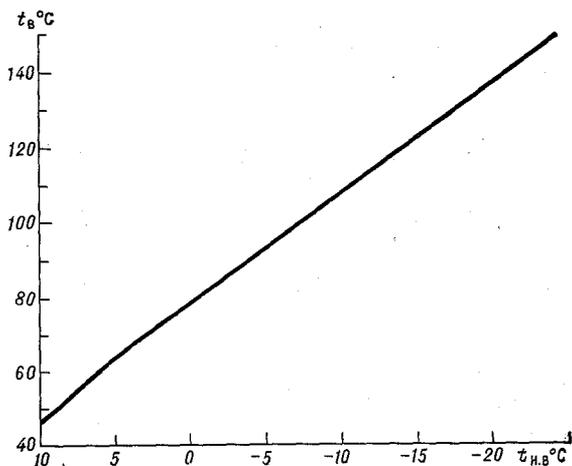


Рис. 1. Зависимость между температурой воды $t_{в}$ в сети отопления и температурой наружного воздуха $t_{н.в}$.

В Теплоэнерго используется график связи (рис. 1) температуры воды на сети отопления с температурой наружного воздуха. Чем ниже температура наружного воздуха, тем горячее должна быть вода на сети, тем больше должно быть израсходовано топлива.

При понижении температуры воздуха на 1°C температура воды в сети должна быть повышена на 2—3°C (табл. 1), для чего все котельные должны сжечь за 1 ч в среднем 5 т условного топлива.

Так, например, если режим работы котельных задается по температуре ниже фактической на 3°C , то перерасход топлива за сутки составляет 360 т условного топлива и затраты можно оценить в 7200 руб. (1 т условного топлива стоит в среднем 20 руб). Поэтому, чем точнее будет задана температура наружного воздуха, тем правильнее и экономнее может быть выбран режим работы котельных.

Таблица 1

Зависимость температуры ($^{\circ}\text{C}$) воды в сети отопления от температуры ($^{\circ}\text{C}$) наружного воздуха

Температура наружного воздуха	Температура прямой воды	Температура воды в домовой системе	Температура наружного воздуха	Температура прямой воды	Температура воды в домовой системе
10	48	38	-8	104	70
9	51	40	-9	107	71
8	54	42	-10	110	73
7	57	43	-11	113	75
6	60	44	-12	116	76
5	64	47	-13	119	78
4	67	48	-14	121	80
3	70	49	-15	124	81
2	73	51	-16	127	82
1	77	53	-17	130	84
0	80	54	-18	133	86
-1	83	57	-19	136	88
-2	86	59	-20	139	89
-3	89	61	-21	142	90
-4	92	63	-22	145	92
-5	95	65	-23	148	93
-6	98	66	-24	150	95
-7	101	68			

До 1967 г. при расчете режима работы всех котельных использовались данные о температуре воздуха, полученные городской метеостанцией, расположенной в Ждановском районе Ленинграда в старой застройке. Однако, как показали наблюдения, температура воздуха в разных районах города неодинакова. Различия особенно велики при ясной, тихой, морозной погоде, обусловленной антициклоном или малоградиентным полем повышенного давления. Наибольшие средние суточные разности температур по районам достигают $3-5^{\circ}\text{C}$, а в отдельные часы $7-9^{\circ}\text{C}$ [1]. Эти различия приводят к тому, что невозможно правильно регулировать подачу

тепла. Тресты Теплоэнерго обеспечивают теплом в основном новые районы города, значительно удаленные от центральных и отличающиеся от них типом застройки, конструктивными особенностями зданий и др.

Использование при выборе режима работы котельных температурных данных одного пункта приводило к перегреву домов и перерасходу топлива в тех районах, где фактическая температура была выше заданной; в других же районах, где фактическая температура была ниже заданной, выбранный режим не обеспечивал нормального обогрева служебных и жилых помещений. Поэтому с декабря 1966 г. в Ленинграде организована специальная сеть пунктов для наблюдений за температурой воздуха. В восьми районах города у котельных установлены психрометрические будки с ртутным термометром и суточным термографом. Измерения температуры воздуха производятся 4 раза в сутки — в 3, 9, 15, 21 ч — в период отопительного сезона. Наблюдения за температурой, смена лент самописцев, уход за будками обеспечивает персонал Теплоэнерго. Контроль за работой пунктов, инструктаж наблюдателей, поверку приборов, обработку записей термографов осуществляют сотрудники Информационного центра погоды СЗУГМС (ИЦП). На основании полученных с пунктов сведений о температуре наружного воздуха диспетчер Теплоэнерго с учетом скорости ветра (по данным городской метеостанции — метеостанции ИЦП и прогноза температуры задает режим работы каждой группы котельных на последующие 6 ч. Кроме того, результаты наблюдений за температурой воздуха по районам вместе с диаграммами работы теплоэнергетического оборудования 2 раза в неделю представляются в группу учета для контроля за правильностью расхода топлива котельными.

В Информационном центре погоды произвели оценку эффективности учета фактической температуры воздуха по районам. Эффективность определялась как разность между расходом топлива при выборе режима работы всех котельных по температуре одного пункта (метеостанция Информационного центра погоды) и расходом топлива с учетом температуры воздуха в районе расположения котельной. Расчет отпуска тепла, необходимого для поддержания в отапливаемых помещениях установленной температуры, производится по формуле [2].

$$Q = Q_{\max} \frac{t_{в. н} - t_{н. в}}{t_{в. н} - t_p} z, \quad (1)$$

где Q — фактическое количество тепла при данной температуре наружного воздуха; Q_{\max} — расчетный максимум тепловой нагрузки котельной; $t_{в. н}$ — температура воздуха в отапливаемом помещении; $t_{н. в}$ — температура наружного воздуха; t_p — расчетная температура наружного воздуха для проектирования отопления; z — продолжительность теплоотпуска (число часов отопительного периода).

Для оценки эффективности по формуле (1) определялись Q_F , Q_2 ; Q_1 — количество тепла, необходимое для обеспечения в помещениях температуры 18°C и рассчитанное для всех котельных по температуре одного пункта (метеостанция ИЦП) $t_{н.в1}$; Q_2 — практически израсходованное количество тепла, рассчитанное по температуре $t_{н.в2}$ в районе котельной.

Сравнение величин Q_1 и Q_2 позволяет оценить экономию или перерасход топлива.

В настоящей статье оценка эффективности регулирования отпуска тепла по уточненным температурам наружного воздуха произведена за отопительный сезон 1970-71 г. Котельные Теплоэнерго были разделены на восемь групп. Режим работы котельных каждой группы определялся по фактической температуре одного и того же пункта наблюдения. Для каждой группы котельных по формуле (1) был вычислен расход тепла Q_1 и Q_2 ; Q_1 рассчитано по средней месячной температуре метеостанции Информационного центра погоды $t_{н.в1}$, Q_2 — по средней месячной температуре района расположения котельных $t_{н.в2}$. Разность $\Delta Q = Q_1 - Q_2$ подсчитана (для каждой группы котельных) за каждый месяц отопительного сезона и за сезон в целом.

За Q_{\max} в формуле (1) для каждой группы принималась сумма максимальных нагрузок котельных данного района. Так, например, Q_{\max} шести котельных Выборгского района составляет 429,8 Гкал/ч; Q_{\max} трех котельных Московского района равно 34,5 Гкал/ч и т. д.

При расчете расхода тепла температуры воздуха в помещении $t_{в.н}$ принималась равной 18°C . Это предусмотрено действующими нормами (СНиП-II-Л 1-62). В качестве t_p принималась минимальная температура самой холодной пятидневки; для Ленинграда она равна -24°C (СНиП II-A-6-62).

За отопительный сезон $\Delta Q = Q_1 - Q_2$ определяет экономию или перерасход тепла при выборе режима работы по температуре наружного воздуха $t_{н.в1}$ и $t_{н.в2}$. Количество топлива B_1 и B_2 (в тоннах условного топлива) вычислялось из расчета 170—180 кг условного топлива на 1 Гкал тепла.

Результаты расчета величины $\Delta B = B_1 - B_2$ за отопительный сезон 1970-71 г. приведены в табл. 2.

Зима 1970-71 г. была умеренно теплой, преобладал циклонический характер погоды, число ясных дней составило 1—3 в месяц, поэтому различия в температурном режиме по районам были сглажены. Из табл. 2 видно, что в рассматриваемый сезон преобладали случаи, когда средняя месячная температура воздуха по районам была на $0,2$ — $0,7^\circ\text{C}$ выше, чем на основной метеостанции. Это значит, что при регулировании отпуска тепла по температуре в районе котельных, Теплоэнерго расходовало для обеспечения установленных температур в помещениях меньшее количество топлива. В результате за отопительный сезон 1970-71 г. было сэкономлено 3628 т условного топлива (см. табл. 2). Этого топлива достаточно,

чтобы обеспечить теплом в течение всего отопительного сезона четыре девятиэтажных корпуса по 500 квартир в каждом.

В тех случаях, когда температура в районе котельных ниже чем на городской метеостанции, выбор режима по уточненной температуре приводит к дополнительному расходу топлива. Однако если бы отпуск тепла всеми котельными осуществлялся по данным одного пункта (городской метеостанции), то запланированного топлива не хватило бы для обеспечения нормального обогрева зданий. Так, за рассматриваемый период население недопо

Т а б л и ц а 2

Изменение количества топлива (ΔB в тоннах условного топлива) при учете микроклиматических особенностей районов города

Район	Ноябрь 1970 г.		Январь 1971 г.		Отопительный сезон 1970-71 г. (с октября по апрель)	
	температура наружного воздуха ($^{\circ}\text{C}$)	ΔB	температура наружного воздуха ($^{\circ}\text{C}$)	ΔB	ΔB	$-\Delta B$
Ждановский (метеостанция ИЦП)	-0,9		-2,3			
Выборгский	-0,5	512	-1,8	658	2286	-146
Петроградский	-0,6	80	-2,2	48	256	0
Калининский	-0,6	170	-2,1	136	306	-170
Кировский	-0,7	118	-2,0	172	320	-148
Московский	-0,6	33	-1,8	74	316	0
Невский	-0,6	25	-2,1	34	128	-68
г. Гатчина	-1,6	-13	-3,2	-14	2	-62
г. Пушкин	—	—	-2,4	-18	14	-74
Все котельные Теплоэнерго					3628	-668

Примечание. Здесь ΔB — экономия топлива (в районе теплее, чем на городской метеостанции), $-\Delta B$ — дополнительный расход топлива для обеспечения температуры 18°C в помещениях (в районе холоднее, чем на метеостанции).

лучило бы $3930 \cdot 10^6$ ккал тепла (668 т условного топлива). За весь отопительный сезон 1970-71 г. экономия топлива превысила дополнительный расход примерно в 5 раз.

Использование в расчетах средних месячных значений температуры воздуха сглаживало температурные различия по районам, поэтому интересно было произвести расчеты по данным за отдельные дни. Расчеты по формуле (1) показали, что только за двое суток, используя уточненные температуры, Теплоэнерго получило экономию в 510 т условного топлива (табл. 3).

Таблица 3

Температура воздуха и расход топлива в различных районах Ленинграда

Район	6 января 1971 г.		12 марта 1971 г.	
	температура наружного воздуха (°С)	экономия топлива ΔB (т условного топлива)	температура наружного воздуха (°С)	экономия топлива ΔB (т условного топлива)
Ждановский (метеостанция ИЦП)	-18,2		-14,3	
Выборгский	-15,4	117	-12,1	92
Петроградский	—	—	-12,9	13
Калининский	-16,2	39	-10,7	70
Кировский	-15,3	50	-12,7	29
Московский	-13,3	23	-10,6	18
Невский	-14,0	20	-11,8	16
г. Гатчина	-15,7	1	-11,4	1
г. Пушкин	-15,5	11	-11,8	10
Все котельные Теплоэнерго		261		249

Таблица 4

Температура воздуха и потери тепла в отопительных системах в различных районах Ленинграда

Район	29 декабря 1970 г.		20 февраля 1971 г.	
	температура наружного воздуха (°С)	недогрев домовой системы (°С)	температура наружного воздуха (°С)	недогрев домовой системы (°С)
Ждановский (метеостанция ИЦП)	-12,2	0	-10,5	0
Выборгский	-12,9	-2	-10,8	-1
Петроградский	-12,0	0	-10,5	0
Калининский	-13,4	-3	-12,9	-4
Кировский	-14,3	-4	-12,6	-3
Московский	-14,8	-5	-12,1	-2
Невский	-14,5	-4	-12,9	-4
г. Гатчина	-15,9	-6	-14,4	-7
г. Пушкин	-14,9	-5	-13,4	-5

В отдельные дни температура воздуха в большинстве районов была на 2—4,5°С ниже, чем на городской метеостанции. Использование при расчете режима работы котельных данных основной метеостанции привело бы к недогреву домовой отопительной системы. В соответствии с температурным графиком (см. табл. 1)

недогрев системы в дни, указанные в табл. 4, составил бы 4—7°C что привело бы к нарушению температурного режима в помещениях.

Учет фактической температуры воздуха по районам способствует более правильному и экономному выбору режима работы котельных для обеспечения установленных температурных условий в помещениях с наименьшими затратами топлива.

Опыт использования специальных наблюдений за температурой воздуха в различных районах Ленинграда показал, что такая работа весьма полезна, полученные данные широко используются в практике работы Теплоэнерго.

Следует отметить, что в приведенных расчетах не учитывается влияние ветра по районам, которое весьма существенно при оценке потери тепла зданиями. Измерение скорости ветра в районе котельных требует поставки новых наблюдений и является дальнейшей задачей исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белявская И. М. О температурных различиях на территории Ленинграда за отопительный сезон 1967-68 г. — См. настоящий сб., с. 102—107.
2. Соколов Е. Я. Теплофикация и тепловые сети. М.—Л., Госэнергоиздат, 1963. 359 с.

Л. Е. АНАПОЛЬСКАЯ, О. Б. ПАШИНА

О МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ ДЛИТЕЛЬНОСТЬ АТМОСФЕРНОЙ КОРРОЗИИ

Известно, что основное количество металлических конструкций эксплуатируется на открытом воздухе и довольно быстро подвергается действию атмосферной коррозии. Исследованию этого вопроса и разработке мер защиты от коррозии посвящено большое количество работ. Изучен механизм возникновения коррозии, скорость протекания процесса коррозии, получены экспериментальные данные и т. д. Имеются многочисленные рекомендации по консервации и хранению изделий и защите их от коррозии. Однако до настоящего времени годовые потери от коррозии очень велики; например, в Англии они составляют до 3,8% валового национального продукта.

Весьма важно поэтому знать климатические особенности, обуславливающие или ускоряющие атмосферную коррозию. Этот вопрос до настоящего времени мало рассматривался в климатических исследованиях, и используемые различными авторами данные выбирались случайно и часто мало обоснованы. Ввиду того что основная масса технических изделий выполняется из металла, представлялось наиболее целесообразным в настоящей работе рассмотреть влияние метеорологических факторов на процесс коррозии металлов.

Под атмосферной коррозией понимают процесс разрушения металлов и сплавов в атмосфере, возникающий вследствие электрохимических и химических реакций, протекающих на их поверхности.

Атмосферную коррозию классифицируют по степени увлажнения корродирующей поверхности, так как этот фактор определяет как скорость коррозии в атмосфере, так и механизм этого процесса [1].

Различают три вида атмосферной коррозии — сухую, влажную, мокрую.

Сухая атмосферная коррозия протекает в сухой атмосфере, при отсутствии каких бы то ни было пленок электролита.

Сухая коррозия представляет собой очень медленное окисление металла с созданием тончайших окисных пленок. Если в атмосфере имеются агрессивные газы, процесс окисления значительно ускоряется.

Влажная атмосферная коррозия протекает при относительной влажности менее 100%, но при наличии на поверхности металлов тончайших пленок электролита. Скорость процесса в значительной мере определяется величиной относительной влажности, загрязненностью атмосферы, гигроскопичностью продуктов коррозии.

Мокрая атмосферная коррозия протекает в атмосфере при относительной влажности, близкой к 100%, в условиях, при которых возможна конденсация на поверхности предмета, или при осадках и брызгах воды.

Скорость коррозии в значительной степени определяется составом атмосферы и климатическими условиями. Наибольшая скорость коррозии, естественно, наблюдается в промышленных районах, отличающихся сильной загрязненностью воздуха.

Из большого количества факторов, обуславливающих скорость атмосферной коррозии металлов, наиболее важными являются влажность воздуха, температура, степень загрязненности атмосферы, длительность пребывания электролита на поверхности металла.

Как показали многочисленные исследования, нельзя установить однозначное влияние метеорологических факторов на коррозию. Например, нет прямой зависимости между коррозией и количеством выпадающих осадков. С одной стороны, осадки создают пленку электролита на поверхности металла, а, с другой стороны, смыывают с нее уже имеющиеся продукты коррозии.

Влажность воздуха является одним из важнейших факторов, определяющих начало процесса коррозии и ее скорость. При определенных сопутствующих явлениях коррозия возникает даже под воздействием не очень высокой относительной влажности. Опыты показали, что при относительной влажности 70% начинается коррозия, а при добавке в воздух незначительного количества SO_2 скорость коррозии резко возрастает даже при относительной влажности менее 70%.

Влажность, при которой наблюдается резкое возрастание скорости коррозии, называется критической влажностью. В результате исследований было установлено, что при относительной влажности 70% коррозия развивается достаточно устойчиво и эта величина может считаться критической.

Весьма важным является исследование изменений относительной влажности и перепадов температуры, вызывающих конденсацию влаги на поверхности. Необходимо также определить продолжительность пребывания металлов в атмосфере с влажностью, превышающей критическую.

Влияние температуры на процессы коррозии в атмосфере весьма сложное. С изменением температуры меняется длительность

контакта электролита с металлом. В суммарном выражении коррозионный эффект зависит как от изменения кинетики электродных реакций, так и от времени смачивания поверхности металла. Известно, что скорость атмосферной коррозии металлов в северных районах СССР, несмотря на более низкую температуру, значительно выше, чем в южных.

Зависимость скорости атмосферной коррозии от температуры определяется многими факторами, и ее трудно предсказать. Если эффект от длительного пребывания металла в контакте с электролитом превышает эффект, возникающий за счет более интенсивного протекания процесса при более высокой температуре, то коррозия в районах с более низкой температурой может быть больше, чем в районах с высокой температурой. Однако высокие температуры, сочетающиеся с длительным пребыванием металла в контакте с электролитом, способствуют усилению коррозии [2].

В реальных условиях, на открытом воздухе, скорость коррозии определяется продолжительностью смачивания металла, температурой и загрязненностью атмосферы.

В условиях хранения или транспортировки коррозия развивается в результате периодической конденсации влаги на металлических изделиях, а также под адсорбционными пленками влаги. Как показали исследования последних лет [3], конденсация влаги может происходить лишь при том условии, что температура поверхности металла ниже температуры точки росы воздуха.

Анализ результатов исследований атмосферной коррозии дает возможность выделить несколько аспектов изучения влияния метеорологических факторов на эти процессы.

Как указывалось выше, возникновение и скорость атмосферной коррозии определяются длительностью пребывания влажной пленки на поверхности металлов и увлажнением поверхности при высокой относительной влажности и соответствующих температурах без образования видимой влажной пленки. Влияние солнечной радиации на скорость атмосферной коррозии может быть учтено путем определения температуры поверхности металла, обусловленной ее воздействием. Однако определение этой температуры встречает значительные трудности (зависимость от экспозиции, цвета, размеров поверхности и т. д.). Следует также иметь в виду, что коррозии подвергается все изделие, а действию радиации — лишь часть его. Поэтому в настоящей работе влияние солнечной радиации в явном виде не учитывалось, а время ее действия было учтено при определении общей длительности увлажнения поверхности металла. Подробнее об этом сказано ниже. Рассматривая вопрос о прогнозировании коррозии металлов в атмосферных условиях, А. И. Голубев и М. Х. Кадыров [4] пришли к выводу, что необходимо оценить время, в пределах которого может протекать коррозия. Они считают, что общее время увлажнения поверхности определяется: продолжительностью дождя, продолжительностью туманов, продолжительностью высыхания поверхности после каждого дождя, продолжительностью росы и оттепели. Учтен также

и период с устойчивым снежным покровом. Время высыхания пленки влаги в данной работе определялось по испаряемости при условии, что толщина пленки влаги составляет 30 мкм. Переход от теплого периода к холодному определялся наличием оттепелей которые в работе [4] учтены в виде числа дней с температурой от 1 до -1°C .

В табл. 1 сравнивается продолжительность увлажнения, определенная по данным наблюдений на специальном приборе, с продолжительностью увлажнения, вычисленной по данным метеорологических станций.

Таблица 1

**Продолжительность (ч) смачивания поверхности металла.
По Голубеву и Кадырову**

Год	Месяц	По модели	По данным метеостанций	Год	Месяц	По модели	По данным метеостанций
Москва				Батуми			
1959	Сентябрь . . .	213	241	1960	Апрель	276	212
	Октябрь	264	284		Июль	315	282
	Ноябрь	224	312		Октябрь	311	428
1960	Июль	87	114	Сентябрь	200	362	

Нельзя согласиться с авторами [4] в том, что приведенная таблица демонстрирует хорошее согласие рассчитанных и наблюдаемых величин. Расхождения в 1,5—2 раза в основном объясняются большой продолжительностью смачивания, вычисленной по метеорологическим наблюдениям. По-видимому, можно считать, что подход авторов требует уточнения в отношении величин, входящих в суммарную продолжительность увлажнения поверхности.

Анализ исследований, выполненных разными специалистами [1—7], позволяет в качестве наиболее обобщенной характеристики условий коррозии принять величину периода увлажнения поверхности. В этот период включается время, в течение которого относительная влажность воздуха равна 70% и более, т. е. равна критической влажности или превышает ее. В этот период включается время с осадками (жидкими и смешанными), которые создают жидкую пленку на поверхности, и с росой, также создающей пленку влаги. Кроме того, как указывалось выше, на поверхности металлов возникает некоторое увлажнение, отпотевание, без наличия видимой влажной пленки.

Как показано в работе [3], поверхность металла будет увлажняться в том случае, если ее температура будет ниже температуры точки росы воздуха. Следовательно, используя сочетания температуры и влажности воздуха, полученные по синхронным изме-

нениям [5], можно оценить время, в течение которого температура поверхности металла будет ниже температуры воздуха на 2—3°C и на ней при относительной влажности 70% и более можно ожидать увлажнения. Таким образом, принимая за критическую относительную влажность 70% и более, а также вводя критерий по температуре поверхности, можно получить длительность возможного увлажнения поверхности.

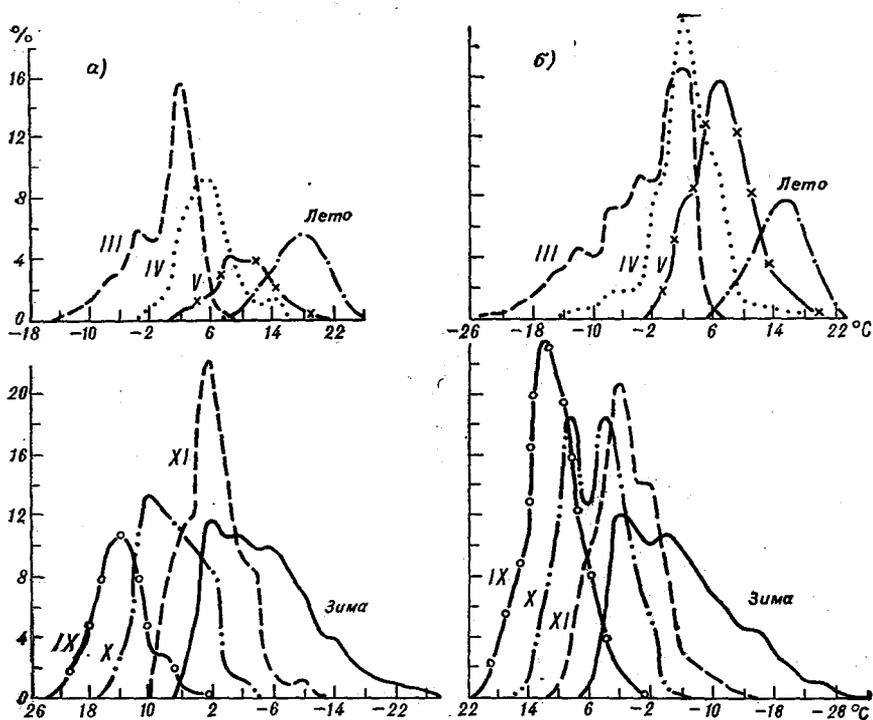


Рис. 1. Годовой ход повторяемости относительной влажности $\geq 70\%$ при различных температурах воздуха. Ленинград.

а—13 ч, б—1 ч.

Значительный интерес с точки зрения определения длительности режима увлажнения представляет характеристика годового хода температурно-влажностного режима. По материалам наблюдений были получены повторяемости температуры и влажности воздуха для различных сезонов года: зимы (декабрь—февраль), лета (июнь—август)—и для месяцев переходных сезонов в отдельности (март, апрель, май, сентябрь, октябрь, ноябрь). На рис. 1 приведен годовой ход этих сочетаний для критической относительной влажности 70% и более при различных температурах. В пределах температур воздуха от -1°C до наиболее высоких в данном сезоне и пункте можно по графикам проследить особенности периода увлажнения в различные сезоны. Так, например,

в Ленинграде летом ночью температура воздуха, как правило невысока, а повторяемость критической влажности значительна. Характерным с этой точки зрения является апрель, в течение которого очень велика повторяемость высокой относительной влажности при низких температурах. Во влажных и холодных северных районах повторяемость критической влажности очень велика, а не высокие температуры воздуха летом и в переходные сезоны естественно обуславливают большое увлажнение.

В сухих районах Средней Азии (Байрам-Али, рис. 2) относительная влажность более 70% в дневное время имеет незначительную повторяемость в весенние месяцы и зимой. Но в ночное время высокая относительная влажность наблюдается практически в течение всего года (за исключением летних месяцев) с повторяемостью до 12% при довольно широком диапазоне изменения температуры.

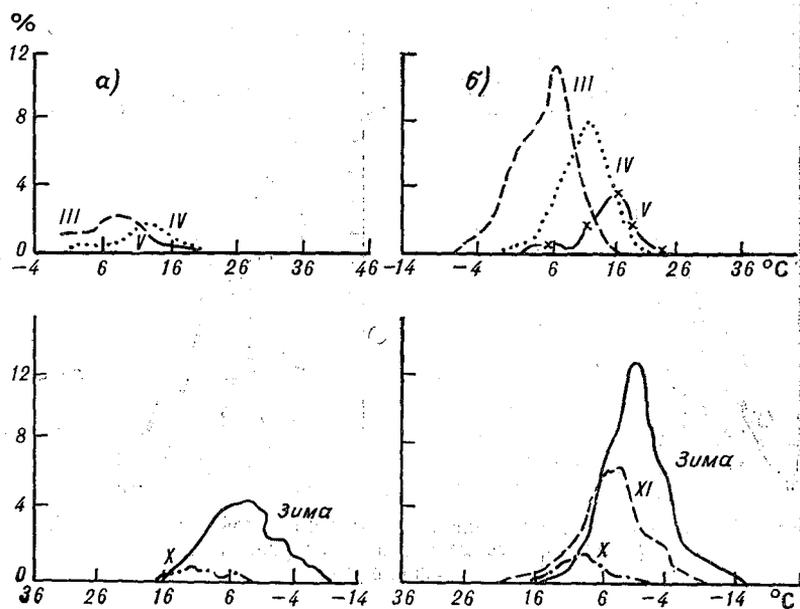


Рис. 2. Годовой ход повторяемости относительной влажности $\geq 70\%$ при различных температурах воздуха. Байрам-Али.

а—13 ч, б—1 ч.

В летние месяцы в дневные часы даже при высокой относительной влажности можно ожидать, что под действием солнечной радиации поверхности, обращенные к Солнцу, будут просыхать. Поэтому, учтя суточный ход высокой относительной влажности [6], время возможного просыхания рассчитали и вычли из общего времени возможного увлажнения поверхности. Действие ветра на скорость просыхания пока не учтено из-за неясности процесса его влияния на атмосферную коррозию при высокой относительной

влажности. В табл. 2 приведена продолжительность увлажнения (графа 2) при относительной влажности 70% и более в пределах температуры воздуха от -1°C до наиболее высоких, отмеченных в данном пункте температур. В графе 3 помещены данные о продолжительности периода с температурой, равной температуре точки росы, причем температура поверхности считалась на 2°C ниже температуры воздуха. Этот период меньше предыдущего за счет того, что исключено время возможного замерзания жидкости на поверхности металла. Для всех сочетаний температуры и относи-

Таблица 2

Продолжительность (ч) увлажнения при учете различных метеорологических факторов

Пункт	Продолжительность (ч) увлажнения		
	по высокой относительной влажности	по температуре точки росы от -1°C и выше	с учетом суточного хода относительной влажности
Архангельск	3986	3447	3447
Сыктывкар	3504	2864	2426
Мурманск	3811	3021	3021
Ленинград	4555	4012	3574
Калининград	5939	5379	4591
Киев	4520	4003	3600
Одесса	5011	4555	3767
Тобольск	2891	2549	2373
Термез	2400	2102	1576
Туой-Хая	1875	1691	1344
Владивосток	4214	4003	3303

тельной влажности воздуха определялась температура точки росы и подсчитывалась повторяемость точки росы от -1°C до максимальных наблюдаемых в данном месте положительных температур. В табл. 3 приведены значения температуры точки росы и жирной линией отделены те сочетания, при которых температура точки росы была выше -1°C .

Приведенные в графе 2 табл. 2 данные о продолжительности увлажнения свидетельствуют о том, что всюду, за исключением некоторых районов Восточной Сибири, продолжительность увлажнения достигает 2000—4000 ч в год. Иными словами, длительность периода возможного процесса коррозии достигает в некоторых районах 50% времени года. Продолжительность увлажнения поверхности по температуре точки росы меньше примерно на 15—20%, а с учетом суточного хода, т. е. при исключении времени высокой

относительной влажности в дневные часы, на 25—30%. Следует указать на то, что для сухих и жарких районов продолжительность увлажнения несколько завышена за счет неточностей при оценке времени высыхания в дневные часы. Можно предположить, что благодаря высокой температуре воздуха и значительной солнечной радиации высыхание поверхности будет на юге несколько более интенсивным, чем это удалось установить при данном расчете. Однако в том случае, если изделия находятся в помещении или изолированы от прямого воздействия солнечной радиации, время увлажнения будет соответствовать данным, приведенным в табл. 2.

В работе [4] приведена карта продолжительности увлажнения поверхности на территории СССР. Указано, что карта построена по средним данным за период от 3 до 30 лет. По сравнению с данными, полученными нами, продолжительность увлажнения в работе [4] оказалась значительно меньше практически во всех районах (табл. 4). Расхождения объясняются тем, что в работе [4] время увлажнения определялось лишь по продолжительности осадков росы и туманов, т. е. по продолжительности метеорологических факторов, дающих видимую влажную пленку. В то же время из наблюдений известно, что увлажнение поверхности может быть

Таблица 3
Значения температуры точки росы (°C)

Относительная влажность (%)	Температура воздуха (°C)					
	-3	-1	1	3	5	7
100—95	-3	-1	1	3	5	7
94—90	-4	-2	0	2	4	6
89—85	-5	-3	-1	1	3	5
84—80	-5	-4	-2	0	2	4
79—75	-6	-4	-2	0	2	3
74—70	-7	-5	-3	-1	1	2

без видимой пленки и коррозия будет развиваться за счет критической влажности. Кроме того, наблюдения за росой и исследования в этой области [7, 8] свидетельствуют о том, что наличие росы отмечается позднее, чем на поверхности предмета ощущается увлажнение; иными словами, приборы, отмечающие росу, начинают фиксировать увлажнение лишь с определенной толщины пленки (разной для разных приборов). Как показали исследования Б. Л. Кожевникова, применившего новый прибор [9], отличающийся более точными измерениями, образование росы наблюдается при разности температур воздуха и поверхности металла около 3—4°C при относительной влажности 70% и более. В районах с малыми количествами осадков и росы (например, Ашхабад, Термез, Целиноград) длительность периода с критической влаж-

остью оказывается достаточно большой, поэтому и рекомендации, высказанные ранее в работе [4], для этих районов необходимо уточнить.

Значительный интерес представляет рассмотрение периода возможного пребывания на поверхности жидкой пленки. Основными источниками ее образования являются осадки и роса. Для процесса коррозии главную роль играют жидкие и смешанные осадки, т. е. такие осадки, которые обуславливают наличие жидкой пленки. В Справочниках по климату СССР помещены данные о средней продолжительности осадков (без разделения на виды) и данные об общем числе дней с осадками (все виды осадков), а также

Таблица 4

Продолжительность (ч) увлажнения поверхности, определенная различными методами

Пункт	По Голубеву и Кадырову	Данные авторов	Пункт	По Голубеву и Кадырову	Данные авторов
Ленинград	2500	3574	Ашхабад	750	1541
Калининград	3250	4591	Термез	1000	1576
Киев	2500	3600	Жиганск	1250	1358
Одесса	2500	3767	Вилюйск	1200	1244
Владивосток	2000	3303	Туой-Хая	1500	1341
Целиноград	750	1866	Алдан	1250	1401
Кустанай	1000	1945			

сведения о числе дней с жидкими и смешанными осадками (в процентах от общего количества дней с осадками). По этим данным была определена средняя продолжительность жидких и смешанных осадков, обуславливающих коррозию (табл. 5). Как видно из приведенных данных, число дней с жидкими и смешанными осадками составляет 50—60% от общего числа дней с осадками, а продолжительность осадков в день с осадками, т. е. величина, характеризующая среднюю длительность одного дождя, составляет примерно 5—8 ч. Общая продолжительность жидких и смешанных осадков колеблется в СССР в широких пределах, достигая местами 900—1100 ч и составляя лишь 200—400 ч в сухих и жарких районах.

Наблюдения за выпадением росы на метеорологических станциях ведутся сравнительно недавно; количество выпадающей росы и особенно ее продолжительность в значительной степени определяются условиями местоположения станции. Следует также иметь в виду, что на метеорологических станциях росу отмечают по конденсации на растительном покрове; росографы имеются на ограниченном числе станций и отмечают выпадение росы лишь при определенной толщине пленки влаги.

Таблица

Число дней и средняя продолжительность всех осадков
и осадков, создающих коррозию

Пункт	Средняя продолжительность осадков (ч)	Средняя продолжительность жидких и смешанных осадков (ч)	Число дней с осадками $\geq 0,1$ мм	Число дней с жидкими и смешанными осадками
Архангельск	1684	842	201	100
Нарьян-Мар	2006	963	201	96
Сыктывкар	2248	1191	201	106
Кемь	1638	799	193	94
Мурманск	1754	877	202	100
Ленинград	1531	980	194	125
Киров	1790	949	190	101
Рига	1330	1036	180	140
Калининград	1180	988	183	138
Минск	1269	931	192	141
Киев	1089	795	163	119
Одесса	610	500	105	86
Куйбышев	1285	765	144	85
Астрахань	506	374	77	57
Ростов-на-Дону	793	690	118	103
Ашхабад	458	403	68	60
Серафимовичи	838	570	127	86
Салехард	1835	568	185	58
Омск	814	480	134	79
Кустанай	772	493	110	64
Тобольск	1344	699	168	87
Целиноград	828	412	116	59
Алма-Ата	801	617	107	82
Ташкент	573	458	83	66
Термез	221	188	40	33
Томск	1677	688	191	78
Барнаул	1368	662	180	86
Красноярск	1317	816	154	83
Минусинск	594	368	120	75
Туруханск	2602	885	203	69
Енисейск	1875	844	192	87
Хатанга	1987	616	167	51

Пункт	Средняя продолжительность осадков (ч)	Средняя продолжительность жидких и смешанных осадков (ч)	Число дней с осадками $\geq 0,1$ мм	Число дней с жидкими и смешанными осадками
Сайкит	2055	822	197	79
Иркутск	829	414	137	69
Чита	524	378	82	59
Черчинский Завод	399	239	83	50
Жиганск	1765	583	145	48
Вилуйск	1395	436	141	44
Туой-Хая	1356	498	158	58
Олёкминск	1565	532	151	51
Алдан	2430	778	200	63
Верхоянск	1111	378	106	36
Хабаровск	1015	630	113	70
Бикин	843	565	126	85
Благовещенск	644	372	105	61
Владивосток	869	647	115	85

Величина продолжительности росы, полученная по наблюдениям на метеорологических станциях, весьма приближительна, что обусловлено рядом причин: низкой точностью приборов или недостаточно точными наблюдениями, недостаточно длинным рядом наблюдений. Поэтому представлялось целесообразным по имеющимся данным о сочетаниях температуры и относительной влажности воздуха оценить возможную длительность пребывания росы на поверхности.

Из работ В. Н. Карпенко [7, 8] известно, что начало выпадения росы совпадает с переходом температуры воздуха через $7-8^{\circ}\text{C}$ на севере и северо-западе ЕТС, через $5-6^{\circ}\text{C}$ в центральной части ЕТС и через $2-4^{\circ}\text{C}$ в южных районах СССР. В соответствии с этими данными и сведениями о датах перехода температуры через соответствующие пределы была подсчитана продолжительность периода росообразования при условии, что роса будет возникать при определенных сочетаниях температуры и относительной влажности воздуха 70% и более. В табл. 6 приведены расчетные и наблюдаемые данные, из которых видно, что наблюдаемая продолжительность росы часто намного меньше расчетной. Учет совместного действия температуры и высокой относительной влажности при определении длительности пребывания росы на поверхности обеспечивает получение более точных данных, чем по наблюдениям за росой на растениях.

В работе [10] приведены карты и материалы по прогнозированию коррозии в закрытых помещениях. Авторы [10] указывают на

Т а б л и ц а

Наблюденная (а) и расчетная (б) продолжительность (ч) росы

Пункт	а	б	Пункт	а	б
Мурманск	215	200	Кустанай	494	812
Нарьян-Мар	177	386	Целиноград	332	665
Куйбышев	630	825	Термез	417	1462
Одесса	1096	1970	Ашхабад	623	1059
Астрахань	956	1209	Алма-Ата	541	205
Ростов-на-Дону	774	1451	Вилуйск	194	388
Салехард	257	452	Алдан	291	83
Красноярск	417	781	Чита	547	1091
Минусинск	597	762	Благовещенск	788	1008
Омск	607	854	Хабаровск	877	1124
Томск	667	827	Владивосток	471	2039

то, что в закрытых неотапливаемых помещениях видимые влажные пленки на металлических поверхностях не образуются. Взяв в качестве основного критерия относительную влажность 70% и более, они принимают время с такой относительной влажностью за продолжительность периода коррозии. На карте, приведенной в цитируемой работе, показано, что длительность коррозии в закрытых помещениях на севере достигает 8500 ч, т. е. практически в течение всего года будет идти коррозия. На большей части Европейской территории СССР, в Западной Сибири, Казахстане и на Дальнем Востоке продолжительность коррозии достигает 5500—6500 ч. Сравнение данных о продолжительности увлажнения, приведенных в работе [4] для условий вне помещений, и данных работы [10] для условий закрытых помещений показывает, что они различаются в 3—5 раз. Причем вне помещений коррозия, по мнению авторов [4], имеет меньшую продолжительность, чем в помещениях. Из наблюдений известно, что число часов с высокой относительной влажностью почти одинаково в неотапливаемых помещениях и на открытом воздухе. Из исследований коррозионных процессов известно также, что в период низких температур даже при высокой относительной влажности коррозия идет очень медленно, и поэтому время с этими условиями следует, вероятно, учитывать отдельно. Тогда продолжительность коррозии в неотапливаемых помещениях будет равна периоду с критической для коррозии относительной влажностью при температуре —1°C и выше. Анализ материалов, приведенных в работе [10], показывает, что необходимо уточнить рекомендации авторов в части оценки продолжительности увлажнения как для условий открытого хранения и эксплуатации, так и для неотапливаемых помещений.

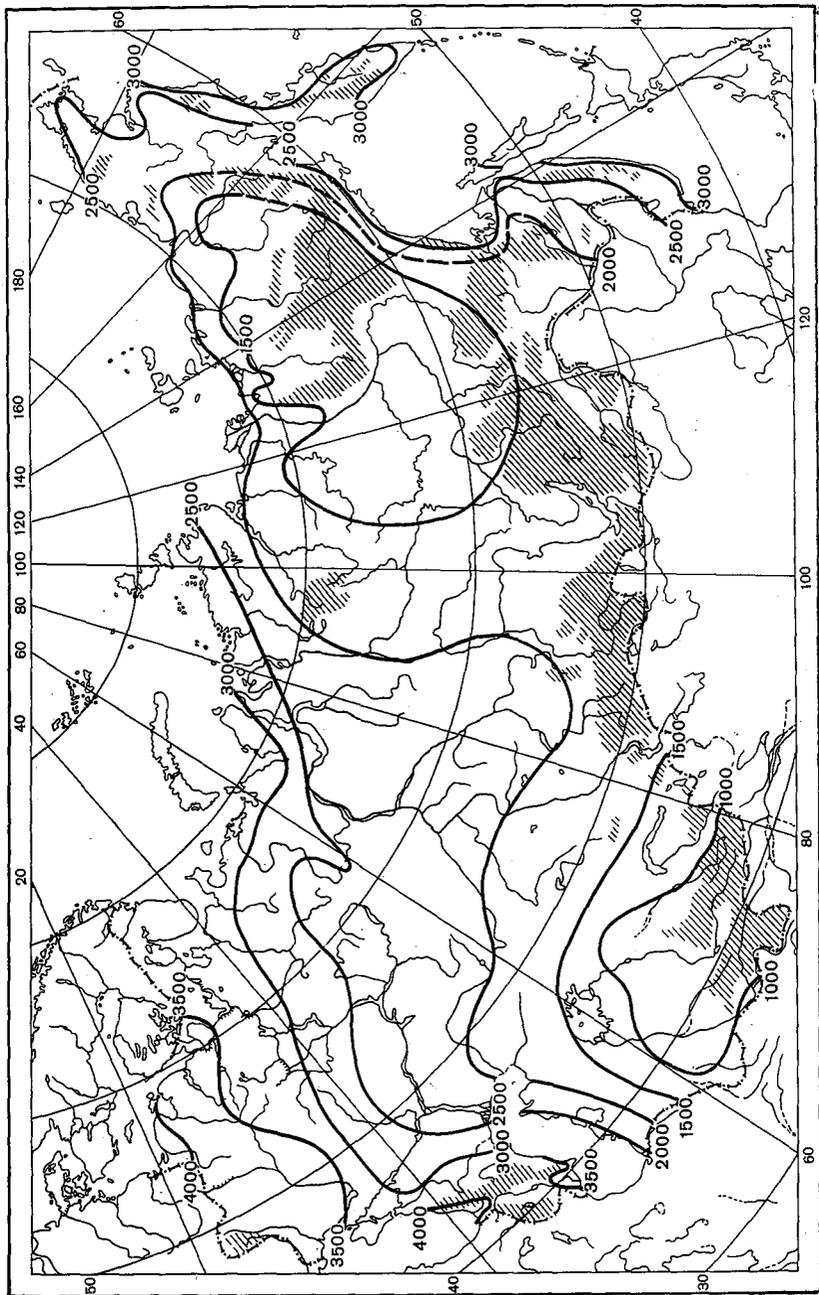


Рис. 3. Продолжительность (ч) общего увлажнения поверхности.

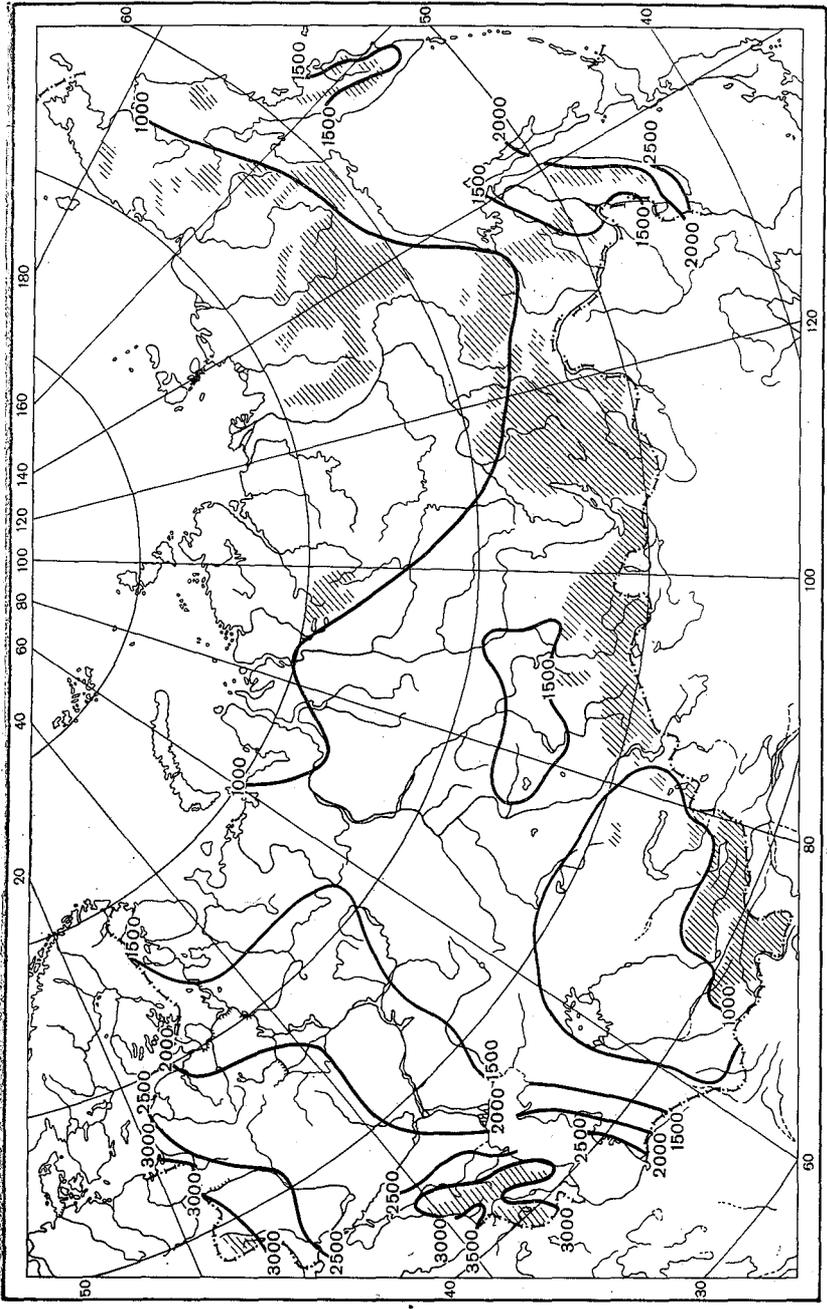


Рис. 4. Продолжительность (ч) наличия жидкой пленки на поверхности.

Таблица 7

**Продолжительность действия метеорологических условий,
определяющих коррозию**

Пункт	Продолжительность (ч) наличия			
	увлажнения (отн. влажность 70—100%)		жидкой пленки	адсорб- цион- ной пленки
	при температуре воздуха			
	от -1°С до „п“ ¹	от -15 до -1°С		
Мурманск	3100	3350	1080	2023
Хибины	2640	3030	1320	1320
Кемь, порт	3630	3010	1280	2350
Архангельск	3450	2950	1420	2030
Нарьян-Мар	3200	3130	1350	1850
Каргополь	2800	2810	1670	1130
Вологда	3030	2530	1740	1290
Сыктывкар	2430	2640	1600	830
Чердынь	2470	2580	1600	870
Киров	2540	1930	1640	900
Ножовка	2380	2580	1400	980
Бисер	2170	2670	1280	890
Свердловск	2370	2290	1470	900
Златоуст	2480	2600	1480	1000
Мелеуз	2180	1460	1480	700
Ленинград	3570	2310	1980	1590
Рига	4057	1820	2190	1868
Калининград	4680	1470	3180	1500
Минск	3660	2230	2430	1230
Москва	3110	2250	2060	1050
Куйбышев	2290	2020	1590	700
Киев	3600	1920	2520	1080
Серафимовичи	2290	2110	1640	650
Одесса	3770	1130	2470	1300
Ялта	3220	270	1980	1240
Ростов-на-Дону	3170	1690	2140	930
Сочи	4180	150	2950	1227
Поти	5230	80	3940	1290
Грозный	3420	1420	2460	960
Тбилиси	2440	530	2240	200
Баку	3740	240	2600	1130

Пункт	Продолжительность (ч) наличия			
	увлажнения (отн. влажность 70—100%)		жидкой пленки	адсорбционной пленки
	при температуре воздуха			
	от -1°C до +1°C	от -15 до -1°C		
Астрахань	2420	1920	1580	840
Гурьев	1770	2030	980	790
Тамбей	3010	2900	590	2420
Марресаля	3170	3220	820	2360
Диксон	2640	2800	770	1870
Салехард	2390	2510	1020	1370
Дудинка	2460	2120	1060	1400
Туруханск	1950	1860	1310	640
Сургут	2380	2150	1120	1260
Тобольск	2370	2110	1200	1170
Тюмень	2350	2170	1390	960
Томск	2390	2020	1520	870
Маринск	2230	2120	1640	590
Енисейск	2180	1880	1550	630
Ачинск	2000	1870	1440	560
Красноярск	2160	1530	1450	770
Минусинск	1920	1640	1130	790
Кольчугино	2070	1430	1360	710
Новосибирск	2420	2180	1690	730
Барнаул	2110	2100	1340	770
Татарск	2120	2210	1610	510
Омск	1960	2250	1330	630
Петропавловск	2370	2210	1490	880
Кустанай	1940	2240	1260	680
Кокчетав	1790	2290	1150	640
Павлодар	1830	1970	1200	630
Целиноград	1870	2280	1080	790
Казалинск	1160	1710	850	310
Кзыл-Орда	700	1580	630	70
Туркестан	1020	1330	690	330
Нарын	940	1580	690	250
Алма-Ата	1280	1600	820	460
Фрунзе	1180	1240	1020	167
Фергана	1420	1160	1240	180

Пункт	Продолжительность (ч) наличия			
	увлажнения (отн. влажность 70—100%)		жидкой пленки	адсорбционной пленки
	при температуре воздуха			
	от -1°C до „п“ ¹	от -15 до -1°C		
Гарм	1490	960	700	790
Хорог	600	1070	280	320
Мургаб	230	530	30	200
Сарканд	670	1230	600	70
Ташкент	1440	800	1380	60
Чарджоу	1060	830	980	80
Термез	1580	590	1550	30
Байрам-Али	870	660	830	40
Репетек	870	690	860	10
Кушка	1450	740	1280	170
Душанбе	1830	780	1320	510
Ашхабад	1540	530	1460	80
Красноводск	2590	440	1460	130
Котельный, остров	1980	2560	570	1410
Шмидта, мыс	2510	2500	600	1910
Врангеля, остров	2150	3020	520	1630
Хатанга	1820	1840	620	1200
Оленёк	1350	1340	700	550
Жиганск	1620	1070	1060	560
Верхоянск	1150	820	540	610
Среднеколымск	1410	1090	630	780
Уэлен	3770	2660	710	3060
Анадьрь	2759	2700	1080	1680
Байкит	2070	1410	1200	870
Туой-Хая	1340	1140	804	537
Олекминск	1820	1040	990	830
Вилюйск	1240	970	820	420
Якутск	1140	610	680	460
Оймякон	1180	880	520	660
Ямск	2600	1280	1283	1318
Охотск	2890	1240	1460	1430
Наяхан	2060	1590	1030	1025
Усть-Мая	1480	820	960	520
Алдан	1400	1250	860	540
Ключи	2610	2210	1320	1290

Пункт	Продолжительность (ч) наличия			
	увлажнения (отн. влажность 70--100%)		жидкой пленки	адсорбционной пленки
	при температуре воздуха			
	от -1°C до „п“ ¹	от -15 до -1°C		
Илимск	1850	1640	1210	640
Усть-Улаган	1770	1720	660	1110
Марково	2180	1480	1300	880
Иркутск	2250	1800	1570	680
Баяндай	1810	1220	990	820
Улан-Уде	1510	1170	960	550
Чита	1680	940	980	700
Нерчинский Завод	2030	890	1220	815
Бира	2570	960	1580	989
Бомнак	1770	650	1040	730
Благовещенск	1960	860	1380	580
Хабаровск	2130	1070	1750	380
Бикин	2170	1130	1530	640
Владивосток	3300	860	2690	617
Петропавловск, маяк	3310	2210	1460	1850
Усть-Камчатск	3440	2530	1830	1610
Усть-Большерецк	3680	2810	1630	2050
Усть-Хайрюзово	2980	2910	1740	1250
Холмск	3230	1750	2057	1170
Корсаков	3500	2130	1660	840

¹ „п“ — максимальная наблюдаемая температура воздуха при данной влажности.

Исследование, проведенное в данной работе, позволяет привести результаты расчетов следующих величин:

- общей продолжительности периода увлажнения поверхности (рис. 3);
- продолжительности пребывания видимой жидкой пленки, возникающей от осадков и росы (рис. 4);
- длительности периода коррозии при температуре от -1 до -15°C;
- продолжительности наличия адсорбционной пленки.

Продолжительность периода наличия жидкой пленки на поверхности

Продолжительность наличия жидкой пленки представляет собой сумму длительности выпадения осадков и продолжительности

росы (см. рис. 4, табл. 7). Как видно на карте, наибольшая продолжительность пребывания жидкой пленки отмечается на Черноморском побережье Кавказа (Поти — Батуми — Сухуми), где она достигает почти половины времени года — 4000 ч. Большим увлажнением характеризуются западные районы Белоруссии и Украины (до 3000—3500 ч). На Европейской территории СССР длительность пребывания влажной пленки изменяется от 1500 ч на севере и северо-востоке до 2500—3000 ч на юго-западе. В Северном Предкавказье период наличия жидкой пленки достигает 2500 ч и более.

На севере ЕТС влажная пленка наблюдается 1000—1500 ч, что объясняется более коротким, чем на юге, периодом жидких осадков и низкими температурами, при которых роса не образуется.

На рис. 5—7 показано соотношение продолжительности периодов общего увлажнения, осадков и росы в различных районах. В северных районах основную роль в увлажнении играют осадки (Нарьян-Мар, Киров), но уже в Куйбышеве длительность осадков и росы практически одинакова. В сухих и жарких районах (Астра-

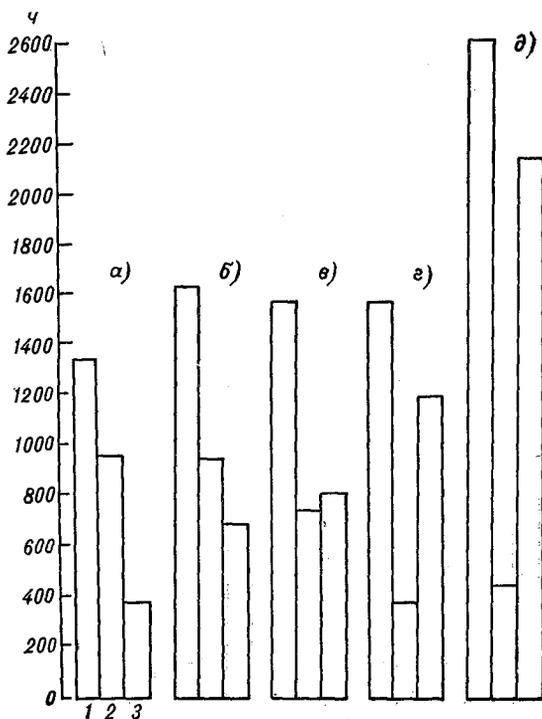


Рис. 5. Длительность (ч) периодов общего увлажнения (1), жидких и смешанных осадков (2) и росы (3).

а — Нарьян-Мар, б — Киров, в — Куйбышев, г — Астрахань, д — Баку.

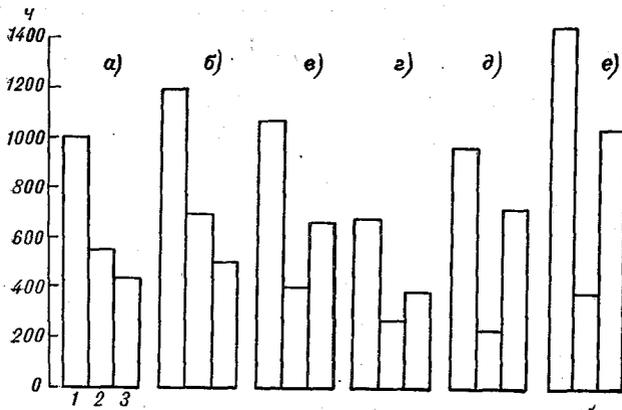


Рис. 6. Длительность (ч) периодов общего увлажнения (1), жидких и смешанных осадков (2) и росы (3).
 а — Салехард, б — Тобольск, в — Целиноград, г — Туркестан,
 д — Чарджоу, е — Ашхабад.

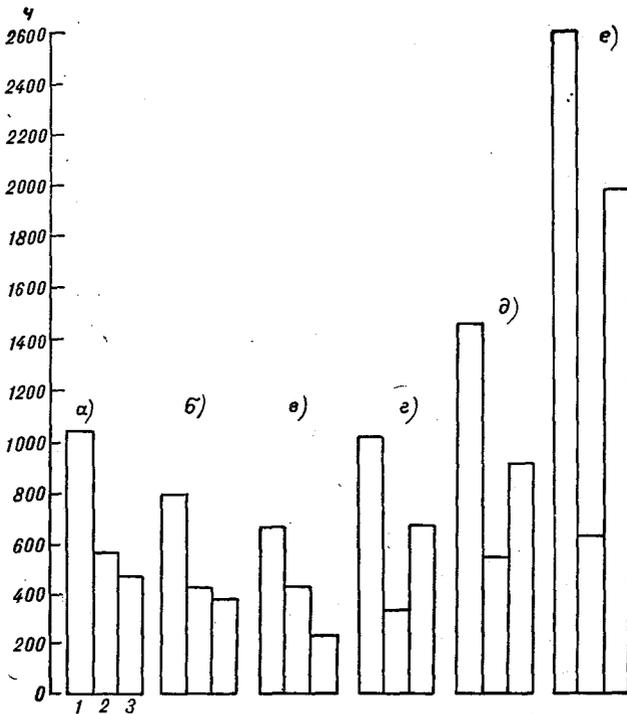


Рис. 7. Длительность (ч) периодов общего увлажнения (1), жидких и смешанных осадков (2) и росы (3).
 а — Жиганск, б — Вилюйск, в — Якутск, г — Бомнак, д — Бира,
 е — Владивосток.

хань, Баку) осадков выпадает мало, но высокая относительная влажность воздуха ночью и в предутренние часы обуславливает образование обильной росы. На Азиатской территории СССР продолжительность жидкой пленки, равная 800—1000 ч, возможна на севере и северо-востоке, а также в Средней Азии и Казахстане. В северных районах при коротком периоде жидких осадков и положительных температур основную роль в увлажнении играют осадки (Салехард, Тобольск, Якутск). В южных районах (Туркестан, Чарджоу, Ашхабад) роль осадков в увлажнении мала, а для образования росы создаются благоприятные условия.

На Дальнем Востоке при общем большом увлажнении роль осадков значительно меньше роли росы. Приведенные карты-схемы (см. рис. 3 и 4) не охватывают горных районов (заштрихованные области), данные для которых следует получать из материалов Гидрометслужбы для каждого пункта по методике, описанной выше.

Общее увлажнение поверхности

Как указывалось выше, общее увлажнение поверхности (см. рис. 3) характеризуется периодом с температурой воздуха от -1°C до наибольших наблюдаемых в данном пункте температур при относительной влажности 70—100%. Нижний предел температуры установлен из соображений того, что температура поверхности металла будет ниже на $2-3^{\circ}\text{C}$ и при высокой влажности на ней будет образовываться влажная пленка, дающая начало процессу коррозии. Продолжительность общего увлажнения включает длительность росы и длительность осадков, жидких и смешанных. Данные по отдельным пунктам приведены в табл. 7.

Наименее влажным районом являются среднеазиатские пустыни, где общее увлажнение определяется, по существу, лишь осадками и росой и где его продолжительность составляет 800—1000 ч в год. В Восточной Сибири имеется район, где продолжительность увлажнения достигает 1500 ч и обуславливается в основном осадками и росой; на долю же капельно-жидкого увлажнения приходится незначительное время. Наиболее влажными являются Черноморское побережье Кавказа (4000 ч и более), западные районы страны и Дальний Восток. Во всех этих районах большая длительность общего увлажнения обусловлена наличием высокой относительной влажности, приводящей к образованию увлажняющей, но не капельно-жидкой пленки.

В табл. 7 приведены также данные о длительности периода с температурой от -1 до -15°C при относительной влажности 70% и более, т. е. выделены условия, при которых коррозия металлов продолжает медленно развиваться. Как видно из приведенных данных, во многих районах СССР эти условия возможны в течение 2000—3000 ч, а в северных районах — лишь в течение 800—900 ч за счет большого периода с температурой воздуха ниже -15°C .

В заключение отметим следующее.

1. Как показали исследования различных авторов, увлажнение поверхности металла происходит при относительной влажности 70% и более и температуре поверхности ниже точки росы.

2. Продолжительность увлажнения наиболее объективно может быть определена лишь по комплексной характеристике, т. е. по сочетанию температуры и относительной влажности воздуха, замедренных синхронно.

3. Продолжительность пребывания видимой пленки влаги на поверхности металла, образующейся при осадках и росе, равна сумме продолжительности жидких и смешанных осадков и продолжительности росы. Продолжительность росы более правильно можно определить расчетом по температурно-влажностному комплексу.

4. Расчеты показали, что продолжительность увлажнения во многих районах достигает 2500—3000 ч в год. Следует иметь в виду, что приведенные расчетные величины несколько занижены вследствие исключения дневных часов.

5. Карты распределения продолжительности общего увлажнения и периода с влажной пленкой и данные по отдельным пунктам могут быть использованы при расчетах длительности атмосферной коррозии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Томашов Н. Д. Теория атмосферной коррозии металлов.— Труды ИФХ, 1960, вып. 8, стр. 14—26.
2. Розенфельд И. Д. Атмосферная коррозия металлов. М., Изд. АН СССР, 1960. 372 с.
3. Берукштис Г. К., Чеботарев Б. Б. Исследование коррозионных процессов на стали при конденсации влаги.— В кн.: Коррозия и защита металлов. М., «Наука», 1970.
4. Голубев А. И., Кадыров М. Х. Прогнозирование коррозии металлов в атмосферных условиях. Передовой научно-технический и производственный опыт. ГОСИНТИ, № 3-67-478/13, 1967, с. 3—7.
5. Анапольская Л. Е., Пашина О. Б. Особенности годового и суточного хода температурно-влажностного режима в различных климатических условиях.— Труды ГГО, 1970, вып. 268, с. 86—122.
6. Анапольская Л. Е., Пашина О. Б. Суточный ход высокой относительной влажности.— Труды ГГО, 1970, вып. 268, с. 123—145.
7. Карпенко В. Н. Климатическая характеристика росы по ЕТС.— Труды ГГО, 1972, вып. 288, с. 150—155.
8. Карпенко В. Н. Распределение среднего числа дней с росой по территории СССР.— Труды ГГО, 1973, вып. 306, с. 114—120.
9. Кожеников Б. Л. Измеритель продолжительности атмосферной коррозии.— Бюлл. изобретений, 1972, № 33, с. 106 (авт. свидетельство № 357503).
10. Кадыров М. Х., Голубев А. Н., Заикин Б. В. Прогнозирование коррозии металлов в закрытых помещениях.— «Промышленное строительство», 1971, № 18, с. 43—44.

СОДЕРЖАНИЕ

Л. Е. Анапольская, Л. С. Гандин, Д. Г. Мандель. Климатическая изменчивость месячных тепловпотерь зданий и нормы отопления	3
Ю. Я. Кувшинов. Годовое изменение параметров наружного климата и теплового баланса помещения	19
А. В. Ершов. Методы регулирования микроклимата жилища в летних условиях Средней Азии	33
Я. Д. Пекер, А. М. Айзен, М. Д. Рабинович. Климатические основы расчета годовых расходов энергии системами отопления и кондиционирования воздуха	43
Ю. Я. Темпель. Математическое моделирование нестационарного теплообмена отапливаемых помещений	58
Д. М. Сорочкина. Особенности центрального регулирования режима отпуска тепла с учетом скорости ветра	64
А. М. Айзен, А. Л. Ципенюк. Выбор расчетных сумм солнечной радиации с учетом коэффициента обеспеченности микроклимата помещения	69
Л. П. Клягина, Н. В. Елисеева. О вкладах различных факторов в изменчивость эффективной температуры тепловпотерь зданий	79
Д. Х. Беленький, Л. С. Гандин, Е. Е. Жуковский. Об использовании климатологической информации при принятии хозяйственных решений	91
И. М. Белявская. О температурных различиях на территории Ленинграда за отопительный сезон 1967-68 гг.	102
Р. И. Шулгинская. К вопросу о регулировании отопления в зависимости от температуры воздуха	108
Л. Е. Анапольская, О. Б. Пашина. О метеорологических условиях, определяющих длительность атмосферной коррозии	115

ТРУДЫ ГГО, вып. 337

**Влияние метеорологических факторов
на тепловой режим зданий**

Редактор Г. Я. Русакова
Техн. редактор Г. В. Ивкова
Корректор В. И. Гинцбург

Сдано в набор 19/III/1974 г. Подписано к печати 23/X 1974 г. М-06552.
Формат 60×90^{1/16}, бумага тип. № 1. Печ. л. 9. Уч.-изд. л. 9,18.
Тираж 500 экз. Индекс МЛ-161. Заказ № 295. Цена 64 коп.

Гидрометеиздат. 199053, Ленинград, 2-я линия, д. 23.

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