

Министерство природных ресурсов и экологии
Российской Федерации
ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ
И МОНИТОРИНГУ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ
Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова
(ГУ «ГГО»)

**РУКОВОДСТВО
ПО СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОМУ
КЛИМАТОЛОГИЧЕСКОМУ ОБСЛУЖИВАНИЮ
ЭКОНОМИКИ**

Под редакцией д-ра геогр. наук,
профессора Н. В. Кобышевой

Санкт-Петербург
2008

УДК 551. 58

Руководство по специализированному обслуживанию экономики климатической информацией, продукцией и услугами / Под редакцией д-ра геогр. наук, профессора Н.В. Кобышевой. – СПб., 2008. – 336 с.

Авторы: Кобышева Н. В., Стадник В. В., Ключева М. В., Пигольцина Г. Б., Акентьева Е. М., Галюк Л. П., Разова Е. Н., Семенов Ю. А.

Одобрено и рекомендовано к опубликованию Ученым Советом ГГО им. А.И. Воейкова. Протокол № 4 от 21.05. 2008

Рецензенты: д-р геогр. наук, профессор И. Н. Русин (СПбГУ), канд. геогр. наук К. Ш. Хайруллин (ГУ «ГГО»).

В рекомендациях рассматривается влияние метеорологических факторов на объекты и процессы в различных секторах экономики и социальной сфере. Перечисляются наборы специализированных климатических характеристик в связи с инфраструктурой секторов: строительства, энергетики, транспорта, спорта и здоровья человека. Описываются методы расчета приведенных специализированных характеристик и приводятся примеры расчетов.

© Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет), 2008

ВВЕДЕНИЕ	6
1. МЕТОДЫ ФОРМИРОВАНИЯ ИСХОДНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ РЯДОВ	8
1.1 Устойчивость норм в зависимости от периода осреднения	8
1.2 Однородность климатологических рядов	12
1.3 Оценка влияния пропусков наблюдений на значения климатических характеристик	20
2. ПЕРСПЕКТИВНОЕ МАКРОПЛАНИРОВАНИЕ ЧЕЛОВЕЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ	22
2.1 Организация территории (землепользования) с учетом климатических условий	22
2.1.1 Методика построения карт климатических ресурсов	22
2.1.2 Разновидности климатических ресурсов, определяющих размещение по территории различных социально-экономических объектов	26
2.2 Перспективное планирование развития экономики на ближайшие годы с учетом изменения климата	27
2.2.1 Планирование теплопотребления строящимися зданиями в связи с изменением климата	28
3. РАЙОННАЯ ПЛАНИРОВКА И ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО	29
3.1 Нормативные документы	29
3.2 Учет климата при составлении генерального плана города	36
3.3 Климатические основы организации жилой застройки	39
3.3.1 Плотность застройки, ориентация, протяженность и этажность жилых зданий, и разрывы между ними	39
3.3.2 Методика учета микроклимата при организации застройки	40
3.4 Строительно-климатическое зонирование (районирование)	45
4. СТРОИТЕЛЬНАЯ ИНДУСТРИЯ	48
4.1 Посадка здания на местности и принятие архитектурных решений ... 49	
4.1.1 Перечень специализированных климатических параметров	50
4.1.2. Методы определения облученности здания.....	51
4.1.2.1 Продолжительность инсоляции помещений.....	51
4.1.2.2 Поступление солнечной радиации на стены зданий.....	60
4.1.2.3 Тепловой эффект солнечной радиации, поступающей на стены зданий	63
4.1.3 Методы оценки ветрового режима.	65
4.1.4 Климатические характеристики “косых дождей”	72
4.2 Конкретное проектирование	80
4.2.1 Тепловой режим зданий.....	81
4.2.1.1 Теплозащита зданий (ограждающие конструкции)	81
4.2.1.1.1 Расчеты некоторых специализированных климатических характеристик	92
4.2.1.3 Энергетика зданий (системы отопления, вентиляции, кондиционирования).....	100

4.2.2 Несущие конструкции	110
4.2.3 Нагрузки и воздействия.....	116
4.2.3.1 Ветровая нагрузка.....	117
4.2.3.1.1.Определение расчетных скоростей ветра по неоднородным рядам наблюдений.....	119
4.2.3.1.2. Годовые и месячные максимумы скорости ветра.....	120
4.2.3.1.3 Распределения для расчета ветровых нагрузок.....	121
4.2.3.1.4 Определение расчетных скоростей ветра при отсутствии длиннорядной станции в районе площадки строительства.....	135
4.2.3.2 Снеговая нагрузка.....	138
4.2.3.3 Гололедные и гололедно-ветровые нагрузки.....	143
4.2.3.3.1 Гололедная нагрузка.....	143
4.2.3.3.2 Ветровые нагрузки при гололеде.....	146
4.2.3.3.3 Гололедно – ветровые (результатирующие) нагрузки.....	147
4.2.4 Водоотведение и водоочистка.....	149
4.2.4.1 Квантиль интенсивности осадков за 20 минутный интервал.....	150
4.2.4.2 Определение интенсивности дождей за различные промежутки времени, возможной 1 раз в 50, 100 и 200 лет.....	152
4.2.4.3. Учет изменения климата при оценках интенсивности осадков в середине XXI века.....	154
4.2.4.4.Расчет «профиля дождя».....	155
4.2.4.5 Максимальное суточное количество жидких осадков зимой.....	160
4.2.5 Долговечность зданий.....	161
4.2.6 Производство строительных работ.....	167
5. ЭНЕРГЕТИКА.....	169
5.1. Инфраструктура энергетики.....	170
5.2. Нефтегазовая отрасль энергетики.....	171
5.2.1. Разведка и разработка месторождений нефти и газа.....	174
5.2.2. Проектирование и эксплуатация нефте- и газопроводов.....	175
5.2.3. Вспомогательные, жилые строения и транспортные системы.....	179
5.3. Тепловая, ядерная и гидроэнергетика.....	180
5.3.1. Тепловая энергетика.....	180
5.3.2. Атомная энергетика.....	185
5.3.3. Гидроэлектростанции на крупных реках.....	189
5.4. Передача энергии по ЛЭП.....	202
5.5. Альтернативные возобновляемые источники энергии.....	206
5.5.1. Гелиоэнергетика.....	209
5.5.1.1. Состав актинометрической информации для обоснования схем размещения и проектирования солнечных энергетических установок (СЭУ).....	209
5.5.1.2. Расчет солнечной радиации, поступающей на наклонные поверхности, (солнечные ресурсы, принципиально доступные для технического использования).....	210
5.5.1.3. Технически реализуемые солнечные энергетические ресурсы.....	215

5.5.1.4. Выработка тепловой энергии	217
5.5.2. Ветроэнергетика.....	221
5.5.2.1. Основные задачи и параметры.....	221
5.5.2.2. Методы оценки удельной мощности ветрового потока	221
5.5.2.3. Общие закономерности распределения удельной мощности ветрового потока на равнинной территории СНГ	225
5.5.2.4. Изменение климатических характеристик ветроэнергетических ресурсов под влиянием неоднородностей подстилающей поверхности.....	226
5.5.2.5. Оценка выработки электроэнергии ВЭУ в конкретных условиях местности	234
5.5.2.6. Методика перехода от удельной мощности ветрового потока на высоте 10 м к мощности на уровне ветроколеса	237
5.5.2.7. Конструирование и защита ВЭУ	239
5.5.3. Малая гидроэнергетика.....	243
5.5.4. Тепловые насосы.....	245
6. ТРАНСПОРТ	249
6.1 Автодорожный транспорт	252
6.2 Железнодорожный транспорт.....	268
7. БИОКЛИМАТОЛОГИЯ.....	282
7.1 Воздействие климатических условий на здоровье человека (климатофизиология)	282
7.1.1 Биоклиматические индексы	283
7.1.1.1 Температурно-влажностные показатели	292
7.1.1.2 Температурно-влажностно-ветровые показатели (для теневых пространств).....	294
7.1.1.3 Температурно-влажностно-ветровые показатели (с учетом солнечной радиации)	295
7.1.1.4 Индексы холодового стресса.....	296
7.1.1.5 Индексы теплового нагрева.....	301
7.1.1.6 Индексы патогенности и изменчивости погоды и климата	305
7.1.1.7 Метод теплового баланса.....	312
7.1.1.8. Роль атмосферного электрического поля при оценке метеотропных реакций человека.	316
7.2. Климатотерапия и климатопатология	317
7.2.1 Климатотерапия и курортология.	317
7.2.2 Методы медицинской керосологии.....	318
7.2.3 Климатопатология.	319
7.3 Акклиматизация и адаптация.....	321
7.4. Биоклиматические аспекты строительства.....	325
7.5. Туризм и спорт	326
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	330

ВВЕДЕНИЕ

Климатическая продукция используется в настоящее время в различных секторах экономики в следующих основных направлениях:

- планирование социально-экономического развития;
- проектирование зданий и сооружений;
- конструирование приборов и других различных изделий и их эксплуатации в различном климатическом исполнении;
- управление процессами в экономике и других сферах человеческой деятельности.

Современное общество становится все более зависимым от погодно-климатических факторов, особенно в таких областях, как сельскохозяйственное производство, водные ресурсы, энергетика, транспорт, строительство и др., поэтому учет климата и его изменений особенно важен в принятии правильных и взвешенных решений, направленных на безопасность и улучшение качества жизни.

Прикладные климатические исследования и их результаты должны быть адресными, ориентированными на выполнение конкретных задач в различных секторах экономики. По каждому из этих секторов необходимо работать со специалистами и ведущими менеджерами.

Рекомендации составлены на основе многолетнего опыта ГГО по обслуживанию различных секторов экономики и социальной сферы и тесного сотрудничества со специалистами-пользователями, а также использования разработанных в ГГО методических подходов и принципов комплексного учета природно-климатических факторов в последние годы.

В рекомендациях:

- изложены общие методы подготовки исходных климатологических рядов к климатологическим обобщениям;
- указаны инфраструктура секторов экономики, основные проблемы и задачи по каждому сектору экономики, требующие учета климатической информации;
- сформулированы климатические показатели и критерии, отражающие зависимость экономики и социальной сферы от состояния природной среды;
- описаны методы расчета специализированных климатических показателей и введения их, где это возможно, в технологии потребителей;

- показана полезность использования климатической информации и продукции, рекомендуемой потребителю, и даны рекомендации по ее использованию.

Информация, представленная в настоящих методических рекомендациях, позволяет ориентироваться в вопросах использования климатических данных и предоставлении климатической продукции и услуг в различных областях экономики.

При написании рекомендаций учтены приоритетные задачи, поставленные ВМО, по применению климатической информации и знаний в поддержку устойчивого социально-экономического развития и защиты окружающей среды.

1. МЕТОДЫ ФОРМИРОВАНИЯ ИСХОДНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ РЯДОВ

Корректное использование климатической информации предполагает наличие верифицированных исходных данных. Для получения таких данных необходимо решить следующие основные задачи:

1. Климатические характеристики должны отражать устойчивые особенности климата. При их расчете наиболее важно определить период обработки, обеспечивающий искомой климатической характеристике достаточную устойчивость. Замечено, что в течение последних 50 лет наблюдается некоторая повышенная изменчивость климата. В этих условиях необходимо решить вопрос о наиболее целесообразной длине периода наблюдений для получения средних многолетних значений или норм.

2. В условиях меняющегося климата проблема анализа однородности метеорологических рядов в системе методов получения климатической информации является наиболее важной.

3. В процессе обработки климатологических рядов при получении средних многолетних месячных значений и их средних квадратических отклонений часто возникает проблема оценки влияния пропусков в рядах метеонаблюдений на их величину. В руководстве указан возможный путь для такой оценки.

1.1 Устойчивость норм в зависимости от периода осреднения

Способ расчета средних значений величин (объема исходной выборки, весовых коэффициентов при осреднении) должен зависеть от конкретной цели их применения. Та же мысль, вытекающая из современного понятия климата, высказана Э. Н. Лоренцом. Определяя климат как ансамбль, состоящий из всех возможных состояний атмосферы за длительное, но конечное время, Лоренц считает, что отрезок времени, на котором определяется климат, может быть разным. Все зависит от того, на какой вопрос мы хотим получить ответ. Каждая климатическая характеристика представляет, за редким исключением, интерес постольку, поскольку является климатическим прогнозом на будущий отрезок времени.

Для сельского хозяйства климатический прогноз чаще всего представляет интерес на период не более 5-10 лет, для капитального строительства - на несколько десятилетий и столетие, для землепользования — на столетие и больше и т. д.

При таком подходе точность климатических характеристик не должна оцениваться по отношению к единым нормам, вычисленным за 50–70-летний период, как это принято в настоящее время в климатологии. Наибо-

лее точной следует считать климатическую характеристику, относительно которой дисперсия данных за отдельные годы на конкретном отрезке времени минимальна.

Считая, что значительное количество прикладных задач требует учета климатических условий на ближайшее десятилетие, авторы попытались в данной работе выяснить вопрос о методах расчета средних значений, которые позволяли бы наилучшим образом решить эту задачу. Исследования проведены применительно к рядам месячной температуры воздуха.

Для климатологического прогноза не следует использовать простые средние арифметические значения, при вычислении которых данным за все годы приписываются равные веса. Лучшие результаты можно получить, если учитывать связность членов ряда между собой и использовать ее при расчетах средних.

Известны попытки расчета среднего значения с весами для членов ряда, убывающими от конца хронологического ряда к его началу по экспоненте. Однако экспоненциальная зависимость весов соответствует простой марковской модели ряда (марковскому процессу первого порядка), которая непригодна для рядов месячных значений элементов. Авторы получили выражение для определения весовых коэффициентов исходя из марковской модели более высокого порядка. Порядок модели предлагается определять для каждого конкретного ряда непосредственно перед расчетом средней. Формула для расчета имеет вид

$$X_{j+1} = AX_j + E_j \quad (1.1)$$

где A – матрица весовых коэффициентов; E_j – случайный вектор с $ME_j=0$ и $DE_j=\sigma_j$; X – значения ряда.

Число осредняемых членов ряда зависит от порядка марковского процесса. Для рядов средних месячных температур порядок марковского процесса обычно близок к 30. Это значит, что осредняются данные наблюдений примерно за 30 лет.

Чтобы оценить погрешность данного метода и сравнить его с методом равновесового арифметического осреднения по разным периодам, рассчитывались средние квадратические отклонения ежегодных значений от различных средних за период 1960–1970 гг., на который составлялся климатологический прогноз. Рассматривались не сами значения температуры, а их отклонения от средней многолетней температуры. Расчеты основывались на материалах наблюдений 11 станций, расположенных в различных климатических условиях. По каждой станции было образовано 12 рядов средних месячных и один ряд годовых значений за весь имеющийся (более 70) ряд лет.

Таким образом, в проверке метода участвовало всего 143 метеорологических ряда месячных и годовых аномалий температуры воздуха.

По формуле (1.1) рассчитаны месячные и годовые аномалии температуры на каждый год рассматриваемого 10-летнего периода, которые затем осреднены за 10 лет ($\bar{x}_{\text{расч}}$). Кроме этого, определены нормы аномалий или средние аномалии за весь период до 1960 г. (\bar{x}_n), а также средние аномалии за ближайшие к последнему 10-летию 30, 20 и 10 лет (\bar{x}_{30} , \bar{x}_{20} , \bar{x}_{10}) методом простого арифметического осреднения.

Средние квадратические отклонения, как месячных, так и годовых аномалий вычислялись относительно пяти средних: расчетной ($\sigma_{\text{расч}}$), средней за весь период до 1960 г., или нормы (σ_n), а также 30-летней (σ_{30}), 20-летней (σ_{20}) и 10-летней (σ_{10}) средних.

Таблица 1.1, в которой представлены результаты расчетов по одной из выбранных станций — Каргополь, дает представление о величине рассеивания ежегодных данных относительно различных средних, используемых для экстраполяции на будущий 10-летний период.

Таблица 1.1

Средние квадратические отклонения ($^{\circ}\text{C}$) месячных и годовых аномалий температуры воздуха. Каргополь

Среднее квадратическое отклонение	I	II	III	IV	V	VI	VII
$\sigma_{\text{расч}}$	6,56	5,10	3,43	1,94	2,10	2,14	1,78
σ_n	6,30	5,12	3,76	1,98	2,07	2,14	1,88
σ_{30}	6,76	5,26	4,59	2,36	2,15	2,17	1,91
σ_{20}	7,16	5,10	4,00	2,00	2,14	2,14	1,76
σ_{10}	5,95	6,21	4,20	2,00	2,23	2,13	1,78
Среднее квадратическое отклонение	VIII	IX	X	XI	XII	Год	
$\sigma_{\text{расч}}$	1,84	2,19	2,14	2,19	4,41	1,38	
σ_n	1,90	2,14	2,14	2,28	4,48	1,41	
σ_{30}	1,86	2,17	2,17	2,72	4,88	1,38	
σ_{20}	1,84	2,43	2,14	2,25	4,67	1,49	
σ_{10}	1,86	2,32	2,14	2,24	4,67	1,57	

На данной станции минимальную ошибку в большей части случаев имеет средняя, рассчитанная по формуле (1.1). На других станциях $\sigma_{\text{расч}}$ также

чаще имеет минимальное значение по сравнению с остальными средними квадратическими отклонениями.

Для более удобного обозрения результатов, не приводя по другим станциям таблиц, аналогичных табл.1.1, получим некоторые обобщенные данные. В каждый из месяцев выберем минимальное значение среднего квадратического отклонения (минимум по графам), а затем подсчитаем число случаев с выделенными минимальными квадратическими отклонениями по каждой строке. Затем обобщим данные о повторяемости минимальных отклонений по месяцам, станциям и по всему имеющемуся материалу. Очевидно, что точнее будет то среднее значение температуры, среднее квадратического отклонения для которого имело минимальное значение большее число раз. Чем реже ошибка среднего была минимальной, тем менее точно среднее значение.

Таблицы 1.2 и 1.3, где приведены результаты таких подсчетов, дают ясное представление о точности различных средних. Наиболее точным является расчетное среднее значение, ошибка которого в подавляющем числе случаев по всем станциям была минимальной, и для каждой станции неизменно оказывалось лучшим чаще всех остальных (табл. 1.2). Такая картина характерна также для всех месяцев (табл. 1.3) кроме апреля. Для годовых значений ошибки мало зависят от метода осреднения. Они оказываются минимальными чаще всего для $\sigma_{расч}$ и σ_n .

Таблица 1.2

Повторяемость (случаи) минимальных ошибок
средних месячных значений температуры по станциям

Среднее значение аномалии	Архангельск	Барнаул	Верхоянск	Казалинск	Казань	Каргополь	Кола	Ленинград	Петропавловск-	Рига	Сургут	Всего
$X_{расч}$	8	4	7	5	7	7	8	7	7	7	6	73
X_n	6	3	2	2	1	3	0	0	2	3	2	24
X_{30}	1	4	4	2	4	3	1	4	2	5	3	33
X_{20}	0	1	3	4	3	4	2	1	3	1	0	22
X_{10}	1	1	2	3	1	1	3	3	2	3	3	21

Следовательно, среднее значение, рассчитанное с учетом связности членов ряда между собой, обладает несомненными преимуществами по сравнению с простыми средними арифметическими, за какой бы период последнее значение не вычислялось.

После расчетной средней наименьшая ошибка чаще всего приходится на 30-летнюю среднюю, а затем на норму. Данный вывод находится в соответствии с получившимися результатами о преобладании порядка марковского процесса для рядов месячных значений температуры, близкого к 30 годам (27—28 лет). Очевидно, этот вывод свидетельствует и о применимости такой марковской модели.

Таблица 1.3

Повторяемость (случаи) минимальных ошибок
средних месячных значений температуры по месяцам и за год

Среднее значение аномалии	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Всего	Год
$X_{расч}$	5	7	6	4	7	7	4	6	7	8	5	7	73	6
X_H	1	1	2	1	2	3	2	2	3	4	2	1	24	5
X_{30}	4	2	2	6	4	1	1	3	4	2	3	1	33	2
X_{20}	1	3	3	0	3	2	2	4	1	1	1	1	22	3
X_{10}	1	2	0	2	1	3	1	2	3	1	1	4	21	4

Конкретные рекомендации сводятся к следующему:

— при построении банка данных необходимо для основных станций (например, реперной сети) в качестве активных данных держать в информационной базе банка хронологические ряды месячных значений температуры воздуха;

— предусмотреть в библиотеке программ банка данных программы расчета средних значений по формуле (1.1);

— передавать потребителям в системе «запрос—ответа» средние значения, вычисляя их на отрезок времени, определяемый конкретной прикладной задачей.

1.2 Однородность климатологических рядов

Важность и трудность выделения неоднородностей в рядах метеовеличин, возникающих по методическим причинам (перенос метеостанции, изменение окружающей обстановки и методики наблюдений и т.п.) привлекли к участию в решении этой проблемы многих ученых, главным образом зарубежных стран.

В настоящее время многое изменилось в области информационного обеспечения климатологии. С одной стороны, благодаря растущей компьютеризации, появились дополнительные возможности для более тонких статистических проработок. С другой стороны, происходят заметные изменения

сети метеостанций. Многие станции переносятся в связи с индустриализацией и ростом городов, некоторые метеостанции застраиваются, зарастают деревьями и закрываются.

Согласно существующей в климатологии традиции для установления однородности рядов следует проанализировать разности и отношения синхронных значений метеорологических величин на соседних станциях. Принципом выявления неоднородности рядов является малая изменчивость во времени указанных разностей, а для некоторых и небольшая изменчивость отношений, которая позволяет выделить изменения уровня разностей и отношений, происходящие при нарушении однородности ряда. Заметим, что при этом имеется в виду однородность ряда в климатологическом смысле, которую часто называют климатологической и которую мы будем называть методической. Такое название лучше отражает ее сущность. В рядах метеорологических величин существуют неоднородности и в общепринятом, статистическом смысле, т.е. нарушения уровня ряда данных метеорологических величин не только по причинам методического плана, но и из-за естественной изменчивости атмосферных процессов. Принято считать, что изменения уровня ряда из-за естественных причин на изменении уровня разностей и отношений почти не отражаются, и значения разностей и отношений при методической однородности рядов остаются приблизительно постоянными от года к году. В качестве объяснения такого постоянства приводится вполне резонный довод о том, что атмосферные процессы охватывают одновременно большие пространства и сказываются на данных соседних станций примерно одинаково.

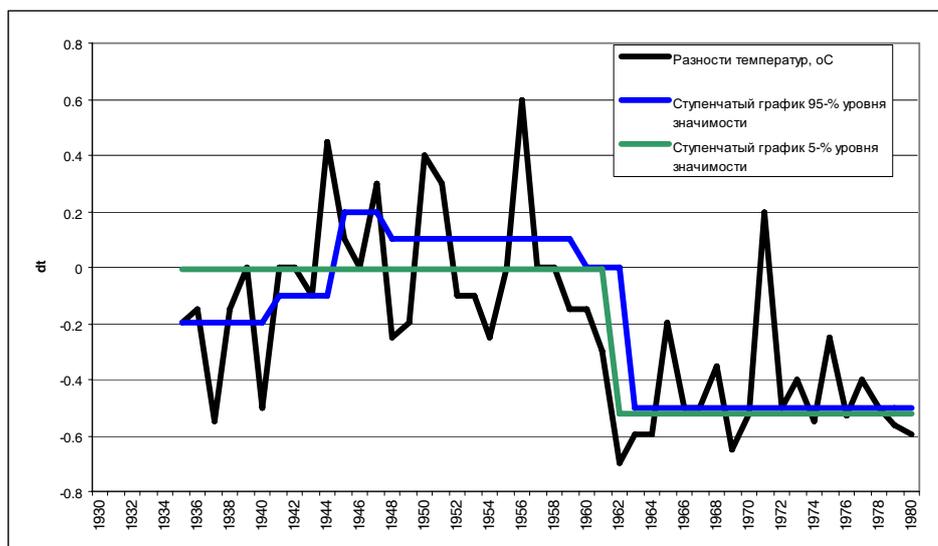


Рис.1.1 . Ступенчатый график хода средней месячной температуры воздуха и и график хода разностей.

Июль. Большие Кайбицы — Казань, опорная

Анализ ступенчатых графиков разностей и отношений по температуре воздуха и осадкам показал, что утверждение об относительном постоянстве значений разностей и отношений не является, строго говоря, правильным. Этим рядам, также как и рядам самих метеорологических величин, свойственны весьма существенные колебания уровня ряда от одного периода лет к другому. Колебания уровня ряда разностей и отношений, происходящие под влиянием причин методического характера (перенос станции, смена прибора и т. д.), без привлечения данных об истории станции часто неотличимы от таких же колебаний, происходящих вследствие естественных факторов. Более того, относительные изменения уровня ряда в последнем случае иногда могут быть даже больше, так как на изменения уровня разностей (отношений) накладывается влияние особенностей местоположения сравниваемых станций, которые создают различия в ходе климатических условий на соседних станциях. Эти различия могут быть не одинаковыми при разных процессах. При происходящих в последнее время изменениях климата метеорологические ряды заведомо статистически неоднородны, что ограничивает применение к таким рядам многих статистических методов.

На рис. 1.1 изображены ступенчатые графики при наличии переноса станции в 1962 г., на рис. 1.2— такие же ступенчатые графики при его отсутствии.

Из анализа представленных графиков следует вывод о невозможности уверенного выделения методической неоднородности по ходу разностей и отношений.

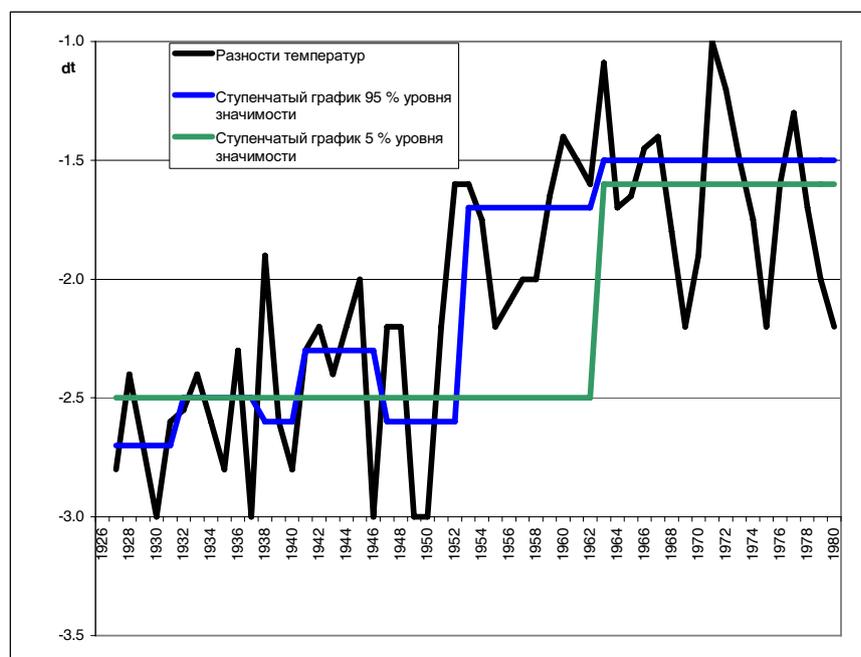


Рис.1. 2. Ступенчатый график хода средней месячной температуры воздуха и график хода разностей. Октябрь, Коркодон — Среднекан

Переносам станции и другим факторам, которые, казалось бы, должны привести к методической неоднородности, далеко не всегда соответствуют «скачки» уровня разностей (отношений). В то же время многочисленные скачки уровня этих рядов нельзя объяснить никакими методическими причинами. Сделанный вывод подтверждается данными табл. 1.4. В таблице особенно много скачков уровня разностей (отношений), не связанных с переносами и другими аналогичными факторами. Рассматривая вопрос о том, насколько ряд разностей (отношений) лучше для анализа однородности, чем ряд самих значений величины, не следует в качестве критерия опираться на данные сравнения изменчивости разностей (отношений) с изменчивостью метеорологической величины. Дело в том, что хотя изменчивость величин, несомненно, больше изменчивости их разностей (отношений) на соседних станциях, изменения уровня первых больше изменений уровня последних.

Поэтому следует сравнивать значения скачков величин и их разностей (отношений) по отношению к значениям изменчивости тех и других. В табл. 1.4 приведены также отношения размахов скачков $A_{ск}$ к размаху исходных данных $A_{исх}$ и соответствующих средних квадратических отклонений $\sigma_{ск}$ и $\sigma_{исх}$.

Таблица 1.4

Изменения уровня разностей, связанные ($\delta п$) и не связанные (δ) с переносом станций, и повторяемость переносов станций, вызвавших (P_1) и не вызвавших (P) изменения уровня разностей

Наличие переноса	Изменение уровня разности			P_1 %	P
	повторяемость, %	среднее значение	средняя продолжительность		
	Уровень значимости 95 %				
$\delta п$	19,4	0,3	11,0	0,56	0,44
δ	80,4	0,3	20,0		
	Уровень значимости 5 %				
$\delta п$	42,9	0,2	20,0	0,37	0,63
δ	57,1	0,3	18,0		

Первое среднее квадратическое отклонение вычисляется по формуле:

$$\sigma_{ск} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^k (\bar{x}_j - \bar{x})^2 m_j}{N}} \quad (1.2)$$

где \bar{x}_j — среднее значение j -стационарного участка ряда (высота j -й ступеньки на графике); \bar{x} — среднее значение всего ряда; k — число ступенек; m_j — число лет, приходящееся на каждую ступеньку; N — число членов ряда.

При расчете второго среднего квадратического отклонения используется формула

$$\sigma_{исх} = \sqrt{\frac{\sum_1^N (x_i - \bar{x})^2}{N}} \quad (1.3)$$

где x_i — член ряда.

Судя по приведенным данным, такая относительная изменчивость среднего уровня примерно одинакова (иногда больше, иногда меньше) как для метеорологической величины, так и для разности (отношения) ее значений на соседних станциях.

Таким образом, для анализа однородности рядов с одинаковым успехом можно рассматривать ряды разностей (отношений) и ряды самих величин. Поэтому в тех случаях, когда трудно подобрать в пару к проверяемой близлежащую станцию в аналогичных условиях местности проверку однородности можно проводить по рядам значений самой метеорологической величины.

Принимая во внимание вышеизложенное, при подготовке климатологических рядов к расчету характеристик по всей сети метеорологических станций нецелесообразно выполнять сплошную проверку однородности рядов. Более рациональным является другой путь. Проверке подвергаются ряды в случае, когда имеются причины возможных нарушений: станция переносилась в условия местности, существенно отличающиеся от прежних, заметно изменилась обстановка вокруг станции и т. п. Тогда при изменении уровня разностей (отношений) или самой величины в последующие годы на соответствующих графиках можно предполагать наличие методической неоднородности ряда.

Методическая неоднородность особенно вероятна в тех случаях, когда изменения уровня ряда происходят во все месяцы года или хотя бы в месяцы, относящиеся к разным сезонам. Изменения уровня ряда, приходящиеся примерно на один и тот же год в разные сезоны, вряд ли могут возникнуть из-за действия естественных факторов. Трудно предположить, что и зимой и летом существенные изменения в характере преобладающих атмосферных процессов приходятся на один год. Последнее, однако, теоретически возможно, если считать, что коренная перестройка атмосферной циркуляции происходит вследствие сильно действующего внешнего фактора, например, изменения солнечной активности. Поэтому утверждение о методической неоднородности ряда следует делать с большой осторожностью, всесторонне рассмотрев этот вопрос и обязательно на основе знакомства с историей станции. Если есть ос-

нования думать о нарушении однородности ряда, то при этом можно рекомендовать различные способы расчета климатических характеристик.

В соответствии с принятой в настоящее время международной практикой при проверке однородности метеорологических рядов признано наиболее целесообразным использовать комбинированный статистический подход для оценки однородности рядов суточного разрешения.

При этом последовательно используются четыре статистических метода: два параметрических метода состоят в проверке гипотезы о равенстве средних и распределении частей ряда по преобразованным критериям Стьюдента и Колмогорова, третий использует непараметрический критерий, и четвертый основан на отношении Фон - Ноймана, позволяющим принимать или отвергать гипотезу об однородности ряда, но не указывающим год ее нарушения.

Если не выполняется только один из тестов, ряд считается однородным. В случае, когда два теста отрицают однородность на 1% уровне вероятности, ряд считается сомнительным и дальнейшие операции с ним и выводы на его основе следует делать с осторожностью. Если наличие неоднородности ряда подтверждается третьим или четвертым тестами, ряд следует считать неоднородным и разделить его на две части или привести к одному периоду.

Данный комбинированный метод был применен по отношению к рядам суточных значений температуры воздуха и осадков. Авторами метода доказано, что наилучшие результаты могут быть получены при использовании не самих рядов температуры и осадков, а рядов суточной амплитуды температуры воздуха и числа дней с осадками ≥ 1 мм, т.к. именно эти характеристики наиболее чувствительны к изменениям уровней рядов наблюдений за температурой и осадками.

Комбинированный метод состоит из следующих четырех тестов, для которых Y_i – годовые значения метеовеличины, \bar{Y} – среднее многолетнее значение метеовеличины, s – среднее квадратическое отклонение:

1. Стандартный нормальный тест для проверки однородности рядов Александерсона.

Ряд разбивается на две части, содержащие k и $n-k$ членов.

$$T(k) = kz_1^{-2} + (n - k)z_2^{-2} \quad k=1 \dots n$$

$$\bar{z}_1 = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k (Y_i - \bar{Y}) / s \quad \bar{z}_2 = \frac{1}{n - k} \sum_{i=k+1}^n (Y_i - \bar{Y}) / s$$

Если нарушение однородности произошло в году K , то $T(k)$ достигает максимума вблизи года $k=K$.

$$T_0 = \max_{1 \leq k < n} T(k)$$

2. Тест Бушанда

$$S_n^* = 0 \text{ и } S_k^* = \sum_{i=1}^k (Y_i - \bar{Y}) \quad k=1, \dots, n$$

Если ряд однороден, значения сумм различных частей ряда колеблются около 0. Если нарушение однородности ряда произошло около года K , то S_k^* достигает максимума (при положительном сдвиге) или минимума (при отрицательном сдвиге) вблизи года $k=K$.

$$R = (\max_{0 \leq k \leq n} S_k^* - \min_{0 \leq k \leq n} S_k^*) / s$$

3. Непараметрический тест Петита

Ранги r_1, \dots, r_n (номера в ранжированном ряду) метеорологических величин Y_1, \dots, Y_n используются для расчета статистики X_k .

$$X_k = 2 \sum r_i - k(n+1) \quad k=1, \dots, n$$

$$X_E = \max_{1 \leq k \leq n} |X_k|$$

4. Отношение Фон- Ноймана

$$N = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} (Y_i - Y_{i+1})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}$$

Полученные значения T_0 , R , X_E , N сравниваются с критическими, приведенными в таблице 1.5. Первые три теста показывают нарушение однородности ряда, если результаты расчетов превышают критические значения. Тест Фон-Ноймана характеризует ряд как однородный, если N близко к 2. Для неоднородного ряда N меньше 2.

Таблица 1.5

Значения T_0 для первого теста.

Период наблюдений (годы)	20	30	40	50	70	100
Уровень вероятности						
1%	9,56	10,45	11,01	11,38	11,89	12,32
5%	6,95	7,65	8,10	8,45	8,80	9,15

Значения R / \sqrt{n} для второго теста.

Период наблюдений (годы)	20	30	40	50	70	100
Уровень вероятности						
1%	1,60	1,70	1,74	1,78	1,81	1,86
5%	1,43	1,50	1,53	1,55	1,59	1,62

Значения X_E для третьего теста.

Период наблюдений (годы)	20	30	40	50	70	100
Уровень вероятности						
1%	71	133	208	293	488	841
5%	57	107	167	235	393	677

Значения N для четвертого теста.

Период наблюдений(годы)	20	30	40	50	70	100
Уровень вероятности						
1%	1,04	1,20	1,29	1,36	1,45	1,54
5%	1,30	1,42	1,49	1,54	1,61	1,67

В приложении в качестве примера использования данного метода представлены расчеты по всем четырем тестам при проверке однородности ряда числа дней с осадками более 1 мм на метеостанции Ижевск.

Результаты расчетов приведены в таблице 1.6.

Еще раз отметим, что окончательный вывод о времени нарушения однородности ряда нужно делать, привлекая к анализу метаданные, которые содержат информацию о переносах метеоплощадки, изменении методики наблюдений и т.д.

Таблица 1.6

Результаты проверки однородности ряда числа дней с осадками более 1 мм на метеостанции Ижевск

Тест	Результаты расчетов	Год нарушения однородности	Критические значения	Уровень вероятности
1	8,695	1973	9,56	1%
2	1,64	1973	1,60	1%
3	92	1973	71	1%
4	1,517	-	1,04	1%

Как следует из таблицы 1.6, второй и третий тесты на 1% уровне вероятности указывают на нарушение однородности ряда. Первый тест дал значение, близкое к критическому, но не превышающее его. Максимальные значения показателей всех тестов приходятся на 1973 г. В 1973 году произошел перенос метеоплощадки на 10 км в другие условия местности. Очевидно, этот перенос вызвал появление неоднородности в рядах наблюдений за осадками. Следовательно, к этому ряду нужно относиться с осторожностью и для особо точных расчетов использовать только его последнюю часть.

В табл.1.7 приведены результаты проверки однородности рядов по температуре воздуха суточного разрешения.

Таблица 1.7.

Проверка однородности рядов суточных амплитуд температуры воздуха

Тест	Результаты расчетов	Год нарушения однородности	Критические значения	Уровень вероятности
1	18.1	1965	9,56	1%
2	1,8	1965	1,60	1%
3	102	1966	71	1%
4	1,8	-	1,04	1%

В данном примере три теста выявили нарушение однородности ряда суточных амплитуд температуры воздуха, которое произошло в 1965–66 гг. Оно, очевидно, связано с тем, что в 1966 г. произошел переход от 4-х срочных к 8-ми срочным наблюдениям. Перенос станции в 1973 г. на однородности ряда температуры воздуха не сказался. Поэтому ряды наблюдений за температурой воздуха на метеостанции Ижевск нуждаются в корректировке в связи со сменой сроков наблюдений.

1.3 Оценка влияния пропусков наблюдений на значения климатических характеристик

Пропуски встречаются как за несколько лет подряд, так и вразбивку. Для оценки влияния пропусков на точность расчета средних значений, \bar{x} , и средних квадратических отклонений, σ_x , использованы ряды температуры и осадков. Из этих рядов, каждый длиной 100 лет, формировались с помощью моделирования методом Монте-Карло неполные ряды с пропусками от 1 до 15 значений, расположенных вразбивку. Примеры полученных зависимостей точности расчетов \bar{x} и σ_x от числа пропусков представлены в виде графиков

на рис. 1.3 и 1.4. Эти графики составлены по данным Санкт-Петербурга для летнего времени. Однако приведенные дополнительные расчеты показали их универсальность и для других территорий в летний период.

Следует также заметить, что если пропуски следуют подряд, то ошибка в расчетах \bar{x} и σ_x меньше. Это очевидно, так как при пропусках, расположенных вразбивку, вероятность их попадания во вновь образованный с помощью моделирования неполный ряд будет больше, чем вероятность попадания пропусков, расположенных подряд.

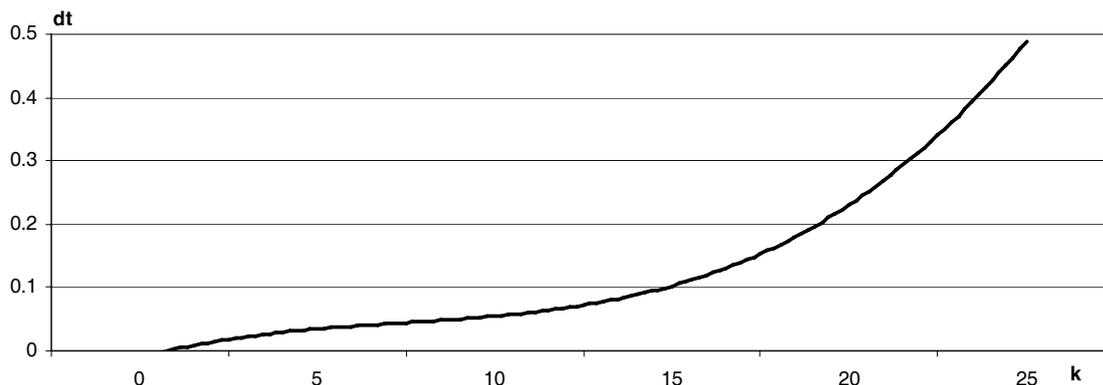


Рис. 1.3 Влияние степени неполноты ряда на изменение средней многолетней температуры воздуха в Санкт-Петербурге (август)

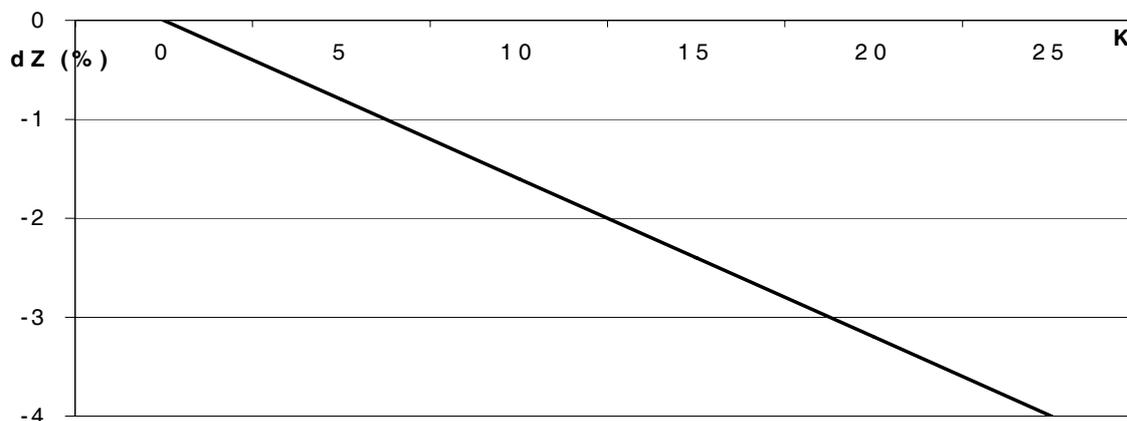


Рис. 1.4 Влияние степени неполноты ряда на изменение средних квадратических отклонений температуры воздуха в Санкт-Петербурге (август)

Таким образом, при наличии пропусков в рядах данных, следует выполнять моделирование методом Монте-Карло неполных рядов с числом пропусков от 1 до 15 по закону равномерной плотности и затем строить графики, аналогичные представленным на рис. 1.3 и 1.4

2. ПЕРСПЕКТИВНОЕ МАКРОПЛАНИРОВАНИЕ ЧЕЛОВЕЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

2.1 Организация территории (землепользования) с учетом климатических условий

Разработка и реализация общей государственной политики социально-экономического развития России и субъектов Федерации в части размещения по территории населения, социально-экономических объектов, транспортных систем, технических, топливных ресурсов опирается в значительной степени на климатические условия нашей страны. Сравнительная оценка климатов различных территорий, как известно, проводится на основе климатических карт. Однако для решения конкретных прикладных задач более удобно пользоваться картами климатических ресурсов. Эти карты отличаются от обычных карт комплексностью и конкретной ориентацией на определенную проблему.

2.1.1 Методика построения карт климатических ресурсов

Климатические ресурсы - это запасы вещества, различных видов энергии и информации в атмосфере и верхнем слое почвы, которые могут быть использованы для решения конкретной задачи, направленной на повышение уровня жизни и создание материальных благ. Для каждого сектора экономики и любой проблемы внутри сектора можно оценить климатический потенциал, т.е. климатический ресурс для принятия решения.

Различают: биоклиматические, агроклиматические, энергетико-климатические, топливные, рекреационные ресурсы, ресурсы для развития строительства, транспорта, спорта, туризма и др. Каждый из этих видов ресурсов может быть подразделен на ряд разновидностей. Например, биоклиматические ресурсы определяются для каждого вида заболеваний: сердечно-сосудистой, дыхательной систем, инфекционных заболеваний и др.

Отдельные виды климатических ресурсов могут выражаться в стоимостных (например, топливные) или в энергетических единицах (например, ветрогелиоресурсы). Но некоторые виды ресурсов в этих единицах определить трудно. Поэтому мы рекомендуем выражать климатические ресурсы в условных или относительных единицах, как это принято по отношению к другим видам естественных ресурсов. Прежде всего, следует сформулировать комплекс климатических показателей или комплексную характеристику, от которых зависит решение конкретной задачи. Например, биоклиматические ресурсы теплого полугодия определяются достаточно полно такими основными климатическими показателями: радиационно-эквивалентно-эффективной

температурой при средних условиях облачности в 13 часов. Радиационно-эквивалентно-эффективная температура (РЭЭТ) отражает тепловое влияние на человеческий организм, находящийся в покое, солнечной радиации, температуры воздуха и относительной влажности воздуха, а также ветра. Методика расчета РЭЭТ будет изложена в разделе «Биоклиматология».

Каждая специализированная характеристика или показатель приводится к безразмерному виду по формуле:

$$x' = \frac{x - a}{b - a} \quad (2.1)$$

где: x – значение характеристики в исходных, натуральных единицах (градус, м/с, день и т.п.), a и b – минимальное и максимальное значения x в ряду данных в исходных единицах.

Для удобства все значения x умножаются на 10, т.е. выражаются в баллах.

Преобразование по формуле (2.1) позволяет избавиться от отрицательных значений характеристики.

Выражение для отрицательных ресурсов (в баллах) можно записать:

$$B = 10 - 10(x - a)/\delta$$

Для положительных:

$$B = 10(x - a)/\delta$$

где $\delta = b - a$

Приведем типичный пример: расчет климатических ресурсов для строительства зданий с заданным тепловым режимом. Комплекс показателей состоит из: среднего числа градусодней, расчетной температуры наиболее холодной пятидневки, соответствующей обеспеченности 92 %, и скорости ветра, обеспеченностью 80 %. Перечисленные показатели являются нормативными для ограждающих конструкций и формирования теплового режима.

В табл. 2.1 показан перевод различных единиц, в которых выражаются указанные показатели, в баллы по станциям Ленинградской области. За 10 баллов в данном случае принято минимальное число градусодней, минимальная скорость ветра и максимальная температура наиболее холодной пятидневки. Эти условия являются наилучшими с точки зрения их влияния на тепловой режим зданий. Наоборот, максимальным значениям двух первых параметров и минимальному значению наиболее холодной пятидневки соответствует 0 баллов. В итоговой графе помещаются средние взвешенные значения из трех выбранных показателей. При этом, числу градусодней и наиболее холодной пятидневке присваивается вес по 0,4, а скорости ветра, от которой тепловой режим зданий зависит в меньшей степени - 0,2. По итоговому столбцу

таблицы построена карта климатических ресурсов для обеспечения оптимального теплового режима строящегося здания (рис. 2.1).

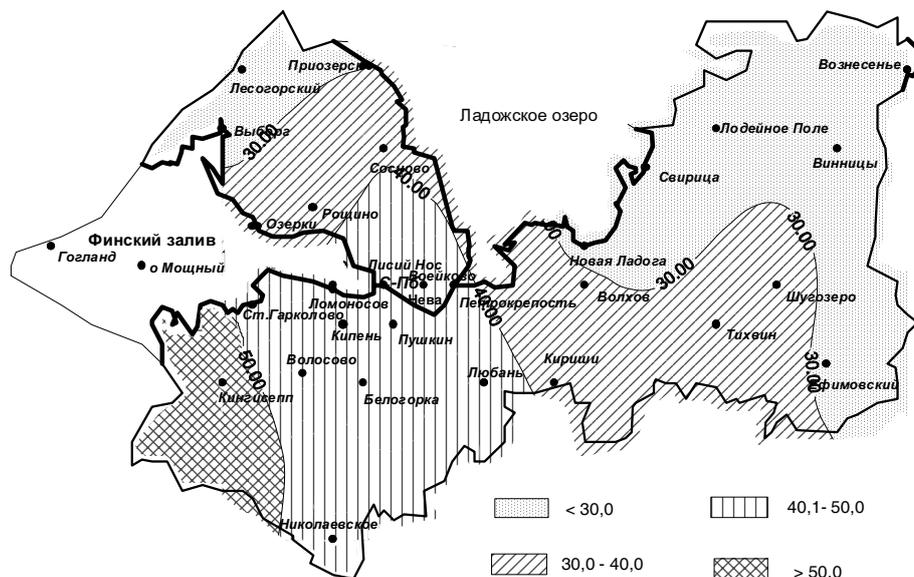


Рис. 2.1 Климатические ресурсы для строительства в Ленинградской области

Как видно из рисунка, наибольшее количество климатических ресурсов приходится на западную часть Ленинградской области. На рис. 2.2 изображены энергетические ресурсы атмосферы (рассчитанные по теплосодержанию воздуха за холодный период), которые можно считать потенциалом для производства различного рода работ на открытом воздухе, например, добычи нефти, газа и полезных ископаемых. По мнению Е.П. Борисенкова [Борисенков, 2006], чем выше теплосодержание воздуха, тем дешевле должна стоить добыча нефти и тем ниже должна быть цена на нефть.

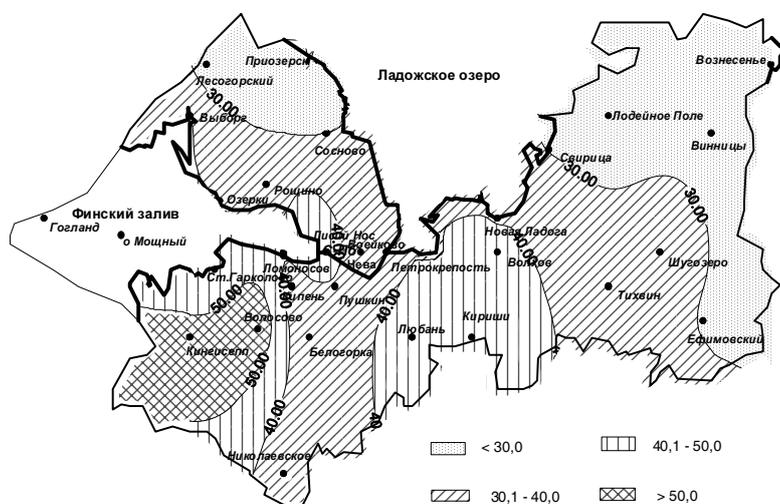


Рис. 2.2 Энергетические ресурсы атмосферы Ленинградской области

Таблица 2.1

Таблица перевода исходных единиц в баллы

Станция	Число градусодней, °С		Скорость ветра, м/с		Температура холодной пятидневки, °С		Итог среднее значение баллы
	единицы	баллы	единицы	баллы	единицы	баллы	
Выборг	4400	7.1	8	5.0	-24	7.5	6.9
Свирица	4550	7.5	9	2.5	-29	1.3	3.0
Петербург	4370	7.6	9	2.5	-24	7.5	6.5
Тихвин	4600	4.3	7,5	6.3	-30	0.0	3.0
Кингисепп	4200	10.0	8	5.0	-24	7.5	8.1
Осьмино	4300	8.6	7,5	6.3	-26,5	4.4	6.4
Ломоносов	4350	7.9	9	2.5	-23	8.8	7.1
Кипень	4400	7.1	8	5.0	-24	7.5	6.9
Волосово	4500	5.7	9	2.5	-26	5.0	4.8
Белогорка	4450	6.4	7	7.5	-26	5.0	6.1
Николаевское	4400	7.1	7	7.5	-28	2.5	5.4
Любань	4400	7.1	7	7.5	-27	3.8	5.9
Лисий Нос	4350	7.9	9	2.5	-24	7.5	6.9
Воейково	4400	7.1	9	2.5	-24	7.5	6.4
Пушкин	4400	7.1	7	7.5	-25	6.3	6.9
Волхов	4490	5.9	7	7.5	-28	2.5	4.8
Новая Ладога	4490	5.9	9	2.5	-28	2.5	3.8
Ладейное Поле	4750	2.1	7	7.5	-30	0.0	2.4
Щугозеро	4800	1.4	7	7.5	-30	0.0	2.1
Винницы	4900	0.0	7	7.5	-30	0.0	1.5
Вознесенье	4900	0.0	6	10.0	-30	0.0	2.0
Лесогорский	4600	4.3	6	10.0	-24	7.5	6.7
Сосново	4520	5.4	7	7.5	-24	7.5	6.7
Приозерск	4600	4.3	6	10.0	-25	6.3	6.2
Петрокрепость	4450	6.4	9	2.5	-25	6.3	5.6
Озерки	4250	9.3	9	2.5	-22	10.0	8.2
Рошино	4350	7.9	8	5.0	-24	7.5	7.1
Ефимовская	4800	1.4	8	5.0	-30	0.0	1.6
Ст.Гаркалово	4250	2.3	10	0.0	-22	10.0	7.7

2.1.2 Разновидности климатических ресурсов, определяющих размещение по территории различных социально-экономических объектов

Размещение аграрно-производственных комплексов основывается на анализе агроклиматических ресурсов. Карты агроклиматических ресурсов строятся по следующим комплексным климатическим показателям: биоклиматическому потенциалу (БКП) и показателю биоклиматической продуктивности (Бк), тесно связанному с урожайностью сельскохозяйственных культур. В них входят: сумма активных температур воздуха, коэффициент увлажнения почвы, условия перезимовки.

Карту агроклиматических ресурсов можно найти в книге [Шашко, 1985]. Значения этой карты, а также агроклиматические ресурсы урожайности отдельных сельскохозяйственных культур, преобразованные в условные единицы, опубликованы в [«Энциклопедии климатических ресурсов», 2005]

При размещении промышленных и топливно-энергетических комплексов целесообразно опираться на многофакторный комплекс климатических условий. Он должен включать параметры энтальпии (теплосодержания воздуха), квантили скорости ветра, в том числе скорости ветра исключительно редкой повторяемости (обеспеченностью 0,99; 0,999 %); повторяемость и интенсивность инверсий в приземном слое до высоты 1000-1500 м; повторяемость особоопасных стихийных явлений: смерчей, ураганов, особо опасных (в соответствии с инструкцией Росгидромета) ливней, снегопадов, пыльных бурь, града, гроз, температуры воздуха ниже -30° и выше 30°C .

Все перечисленные показатели должны служить основой для расчета климатических ресурсов и построения соответствующей карты по методике, изложенной выше.

Курорты и рекреационные зоны размещаются в соответствии с распределением биоклиматических ресурсов в целом за год. В теплую половину года климатическим показателем ресурсов служит, как уже отмечалось, радиационно-эквивалентно-эффективная температура воздуха, а в холодное полугодие - индекс дискомфорта (ИД), являющийся, обычно, функцией температуры воздуха и скорости ветра. Индексы дискомфорта могут использоваться разные. Самый простой из них и наиболее известный - это индекс суровости погоды Бодмана:

$$S = (1 - 0.04 \cdot t) \cdot (1 + 0.22 \cdot V) \quad (2.2)$$

где: S - индекс суровости погоды, t - температура воздуха; V - скорость ветра.

Наиболее сложный индекс дискомфорта, так называемый «ДИСК», подробно описан в книге [Маркус, Моррис, 1985]. Значение ДИСК опреде-

ляют по диаграмме, входными параметрами которой служат температура воздуха, °С; средняя радиационная температура, °С; скорость движения воздуха, м/с; относительная влажность, %; характер одежды, Кло, и деятельности человека, Мет.

Следует заметить, что для выбора места расположения курорта можно выбирать наиболее простой индекс. Любой из индексов позволяет найти наименее дискомфортное место для строительства курорта.

Карты биоклиматических ресурсов, построенные отдельно для лета и зимы, объединяются в единую карту, на основе которой и выбираются районы, наиболее перспективные для развития и устройства рекреационных зон. Для выбора конкретного места для курорта следует строить карту микроклиматических ресурсов. Построение микроклиматических карт подробно описано в книге [Микроклимат СССР, 1967]. А также в ней приводятся поправки на рельеф к основным метеорологическим величинам. Скорректировав на особенности подстилающей поверхности такие метеорологические величины, как температура, ветер и радиация, можно по ним вычислить РЭТТ и индекс дискомфорта.

Построение на территории России транспортных мультимодальных коридоров и прокладка новых внутренних современных автомагистралей и железнодорожных магистралей опирается на распределение транспортно-климатических ресурсов. Главными параметрами для расчета этого вида ресурсов служат: повторяемость видимости ≤ 500 м и ≤ 50 м; повторяемость гололедицы на дорогах, а также повторяемость ее сочетаний с видимостью ≤ 500 м и ≤ 50 м; повторяемость особоопасных стихийных явлений: (смерчей, ураганов, ливней, снегопадов, пыльных бурь, града, гроз, температуры воздуха ниже -30° и выше 30°C).

Карты общих климатических ресурсов, являющиеся суперпозицией всех главных видов ресурсов, используются для формирования систем расселения, для установления коэффициентов на оплату труда в том или ином районе.

2.2 Перспективное планирование развития экономики на ближайшие годы с учетом изменения климата

Информация о климате и возрастающая возможность предсказания будущих климатических событий является мощным средством планирования и руководства всеми видами социально-экономической деятельности. Многие преуспевающие коммерческие организации в настоящее время понимают, какое значение могут иметь изменчивость и изменение климата для развития их рынков и выработки стратегии реагирования на эти изменения.

Основываясь на результатах моделирования будущих климатических условий и имея количественные оценки влияния климата на различные социально-экономические объекты, можно предсказать распределение ресурсов на несколько десятилетий вперед.

2.2.1 Планирование теплотребления строящимися зданиями в связи с изменением климата

Климатические ресурсы теплотребления зданиями в первом приближении могут быть представлены числом градусодней. Данная климатическая характеристика прямо пропорциональна как потребляемому топливу системами отопления, вентиляции и кондиционирования, так и теплосопротивлению ограждающих конструкций.

В соответствии с расчетами по современным моделям, в зимний период на территории России к 2050 г. произойдет потепление в южной половине на 1-2°, в северной на 2-4°. Е.Г Малявина оценила изменения теплотребления системами отопления, вентиляции и кондиционирования (ОКВ). Для периодов со средней температурой отопительного сезона на 2° выше нормы теплотребление системами ОКВ жилых и общественных зданий будет составлять 0,84-0,89 от нормы, больниц и детских садов - 0,86-0,90. Наоборот, при похолодании на 2° эти коэффициенты будут соответственно равны 1,15-1,22 и 1,13-1,20. Принимая во внимание предстоящее повышение температуры воздуха, значения климатических ресурсов умножались на коэффициенты: в южной половине на 0,88, в северной половине (за исключением прибрежной полосы от Ямала, Таймыра до Чукотки) на 0,8. В результате карта климатических ресурсов теплотребления зданиями на 2050 г. заметно отличается от современной. Область с количеством ресурсов 20 у.е. и меньше практически исчезает, расширились области с количеством ресурсов от 60 до 100 у.е.

Наиболее трудной задачей в оценке будущего теплотребления является получение количественной оценки воздействия изменения климата на тот или иной объект, т.е. вся сложность прогнозирования климатических ресурсов состоит в выработке повышающих или понижающих коэффициентов. В некоторых случаях такие коэффициенты определяются легко. Например, не составляет труда определить их для летних биоклиматических ресурсов. Очевидно, что изменение средней месячной температуры воздуха приведет к легко определяемому изменению РЭЭТ. В других случаях оценивать влияние изменений климата на тот или иной вид климатических ресурсов приходится на основе моделей.

3. РАЙОННАЯ ПЛАНИРОВКА И ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО

Нормативные основы градостроительства закреплены в Градостроительном Кодексе. Для их развития принято Постановление Правительства «Об информационном обеспечении градостроительной деятельности» от 9 июня 2006 года. Однако в настоящее время ожидаются дальнейшие изменения нормативных основ проектирования строительства, в частности разрабатываются технические регламенты в соответствии с Законом «О техническом регулировании».

В градостроительном Кодексе определены принципы планирования развития территорий, выполнение которых обеспечивается органами государственной власти и органами местного самоуправления.

Результатом планирования развития территории являются:

- на уровне Российской Федерации: федеральные схемы планирования развития территорий и размещения объектов, необходимые для реализации федеральных нужд;

- на уровне субъектов Российской Федерации: региональные схемы планирования развития территорий и размещения объектов, необходимых для реализации нужд субъектов Российской Федерации.

3.1 Нормативные документы

На современном этапе, при разработке в проектах различных альтернативных программ развития территории или населенного пункта, обязательно должна разрабатываться, наряду с другими (производственной, расселенческой и др.) и во взаимосвязи с ними, и экологическая программа, ориентированная на оптимизацию окружающей среды, в первую очередь климатических условий. При этом необходимым требованием является соблюдение безопасности территории, обеспечение предупреждения чрезвычайных ситуаций прикладного и техногенного характера.

В основе экологической программы развития территорий в Градостроительном Кодексе в соответствии с «Положением о Госэкспертизе» определен порядок проведения инженерных изысканий, которые включают и инженерные гидрометеорологические изыскания. Это важнейшее требование при выполнении градостроительства. Без инженерных изысканий не допускается подготовка и реализация проектной документации. Состав и объем информации, получаемой при выполнении изысканий, устанавливаются с учетом требований технических регламентов.

Для территории Российской Федерации в составе документов территориального планирования представляются карты (схемы), на которых указываются границы территорий, подверженных рискам возникновения чрезвычайных ситуаций природного характера и их последствий, а в материалах территориального планирования приводится перечень основных факторов риска возникновения чрезвычайных ситуаций природного характера.

При решении проблем всероссийского масштаба, как например, рассмотренное выше перспективное планирование хозяйственной деятельности, расселенческая проблема и подобные им, используются мелкомасштабные карты. В таком масштабе построены карты климатических ресурсов. Градостроительство, районная планировка и конкретные проекты по учёту климата в любой области хозяйствования требует использования микроклиматической информации. Необходимость такого подхода можно продемонстрировать, сравнивая разномасштабные карты климатических показателей.

При практическом использовании климатической информации потребители используют данные наблюдений ближайшей метеостанции часто не отражающей микроклиматические особенности отдельного района или участка земли, где проводятся изыскательские работы. Это приводит к большим просчётам и ошибкам и соответственно к непроизводительным затратам средств.

Большинство климатических показателей имеют значительную зависимость от условий подстилающей поверхности, выражающуюся в большой пространственной изменчивости количественных значений этих показателей на малых расстояниях, особенно в условиях сложного рельефа. Поэтому при детальной климатической характеристике конкретных районов необходимо учитывать мезо- и микроклиматические особенности территории. Рассмотрим этот вопрос подробнее на примере оценки мезо- и микроклиматической изменчивости температуры самой холодной пятидневки ($T_{схп}$).

Температура самой холодной пятидневки, также как и другие термические характеристики воздуха – средний из абсолютных годовых минимумов температуры воздуха, температура самого холодного месяца и т.д., являются характеристиками, чрезвычайно чувствительными к неоднородностям подстилающей поверхности. Изменчивость этих показателей под влиянием местоположения очень часто перекрывает их изменение в зональном аспекте, что исключает возможность линейной интерполяции. Для решения вопроса количественной оценки термических показателей в определённом пункте (для конкретной территории) необходимо знать фоновую информацию (географи-

ческое распределение исследуемого показателя) и закономерности её изменения под влиянием мезо- и микроклимата, т.е. необходимо последовательно рассмотреть три уровня детализации исходной информации: макроклиматический (зональный), мезоклиматический (отдельных областей), микроклиматический (небольшой территории).

Наиболее рациональным методом формализации климатической информации, удобным для практического использования, является картирование. Картирование климатических показателей, как по отдельным элементам климата, так и по их комплексам, позволяет по точечным наблюдениям и расчётам дать пространственное распределение изучаемого показателя. Разномасштабное районирование даёт полную информацию о макро-, мезо- и микроклиматической изменчивости картируемого показателя. Подробно методика разномасштабного картирования отражена в работах: [Мищенко, 1984; Романова, 1977].

Методика составления климатических карт определяется их масштабом. Для составления макроклиматической карты (масштаб: 1: 5000000, 1:7500000 и мельче) используются материалы климатологических справочников. При составлении карты принимаются во внимание все факторы, определяющие закономерность изменения климатического показателя (в данном случае температуры самой холодной пятидневки) в макромасштабе с учётом особенностей распределения в том или ином физико-географическом районе. Для равнинной территории картирование производится по данным станций, характеризующих условия открытого ровного места. В горных районах нормальными (фоновыми) условиями распределения $T_{схп}$ считаются местоположения в средних частях склонов и в широких (более 4 км в поперечнике) долинах предгорий.

Основными факторами, определяющими изменение $T_{схп}$ в зональном разрезе, являются широта места, степень континентальности климата и топографические условия. Под влиянием первых двух факторов температура самой холодной пятидневки изменяется плавно и последовательно, но под влиянием орографии плавный ход изолиний нарушается и они принимают сложный характер.

Для количественной оценки изменения $T_{схп}$ под влиянием широты и долготы места строятся графики – разрезы соответственно по долготе и широте для крупного региона (например, рис.3.1 и рис.3..2). На основании полученных зависимостей рассчитываются средние широтные и долготные градиенты температуры и выполняется интерполяция $T_{схп}$ для условий открытого ровного места (фона).

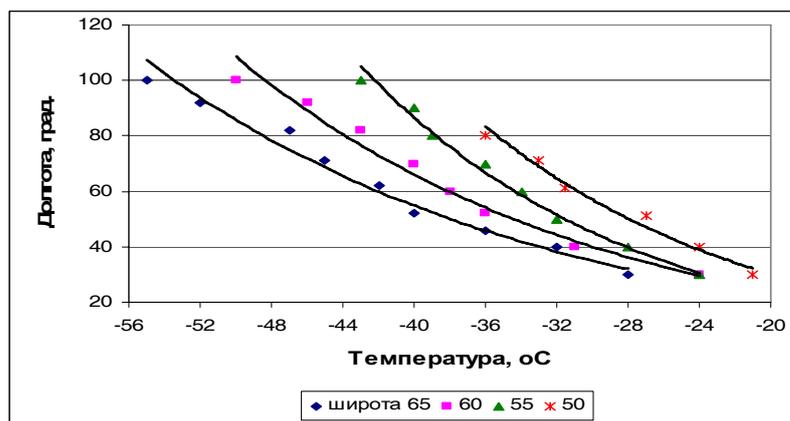


Рис. 3.1. Изменение температуры самой холодной пятидневки в зависимости от географической долготы.

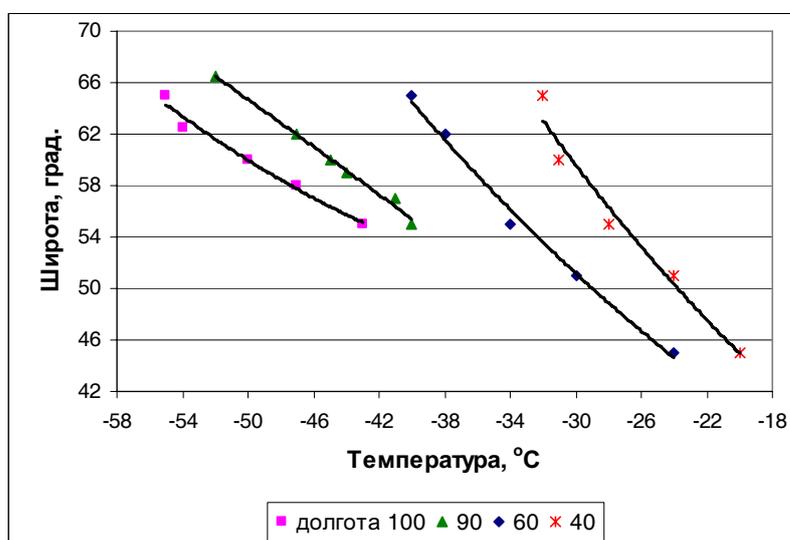
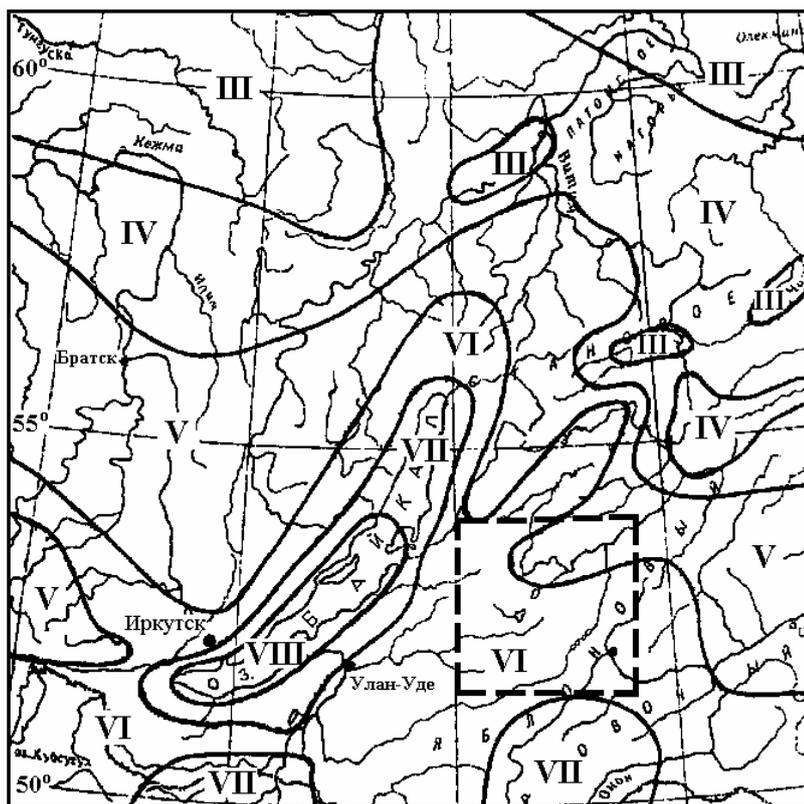


Рис. 3.2. Изменение температуры самой холодной пятидневки в зависимости от географической широты.

Наиболее трудной задачей является расчёт $T_{схп}$ в горных районах, где необходим учёт влияния абсолютной высоты над уровнем моря и формы рельефа на изменение $T_{схп}$. В горных районах температура самой холодной пятидневки с увеличением высоты над уровнем моря уменьшается, но достаточно часто имеет место инверсионное распределение температуры до уровня 1,5-2,0 км. Проведение изолиний в горах связано с учётом высоты, которая на картах мелкого масштаба изображается весьма схематично. Высота прохождения изолиний в конкретной горной системе определяется по графикам зависимости между $T_{схп}$ и абсолютной высотой над уровнем моря для станций, отвечающих нормальным условиям местоположения (середины склонов и широкие долины предгорий). На рис.3.3 показан фрагмент карты макроклиматического районирования Восточной Сибири по температуре самой холодной пятидневки, составленной в рабочем масштабе 1:12 500 000.



Район на карте	III	IV	V	VI	VII	VIII
Температура ($T_{схп}$, °C)	-55 – -51	-50 – -46	-45 – -41	-40 – -36	-35 – -31	-30 – -26

Рис. 3.3 Фрагмент карты климатического районирования Восточной Сибири по температуре самой холодной пятидневки.

Снять с такой карты с достаточной точностью значение $T_{схп}$ для определённой территории в горах невозможно. Для этого необходима детальная оценка изменений $T_{схп}$ на картах более крупного масштаба (мезо- и микроклиматических). Мезоклиматические карты, отражающие особенности отдельных районов и областей, строятся в масштабе 1:1000000, 1:2500000 и мельче. Масштаб карты выбирается в зависимости от задачи, определяющей степень детализации.

Рассмотрим мезоклиматическую изменчивость $T_{схп}$ для района, достаточно однородного в макроклиматическом плане, выделенного на рис. 3.3 пунктирной линией. Для выделенного района на рис. 3.4 представлена зависимость $T_{схп}$ от абсолютной высоты места (вертикальные разрезы) для нормальных местоположений с учётом широты. Нормальное уменьшение $T_{схп}$ с высотой в данном районе наблюдается с уровня 1,4-1,5км. Наиболее тёплый инверсионный слой воздуха располагается между высотами порядка 1000-1500м со скачком температуры $\geq 6^{\circ}\text{C}$.

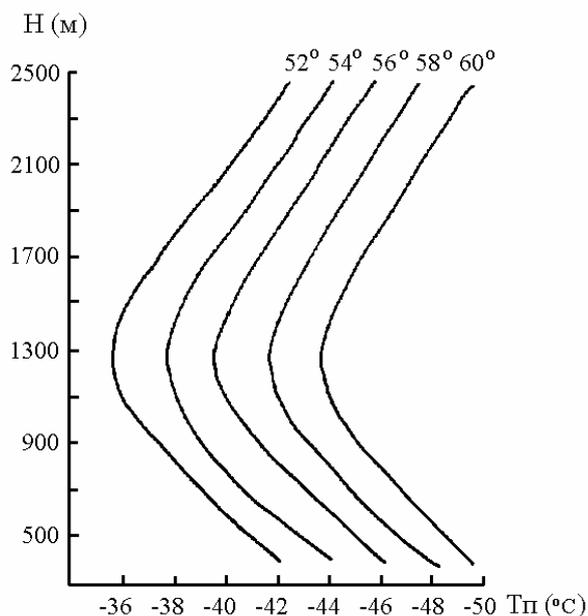


Рис. 3.4. Изменение температуры самой холодной пятидневки с высотой и широтой места.

Комплексный анализ вертикальной изменчивости $T_{схп}$ и условий формирования температурных инверсий по высотным зонам позволяет выделить на рассматриваемой территории четыре мезоклиматических района (Рис. 3.5). Карта построена в масштабе 1:2 500 000. На данной карте пунктирной линией выделен район, для которого требуется более детально оценить изменение $T_{схп}$. Значения $T_{схп}$ на мезоклиматической карте принимаются за фоновую величину при расчётах микроклиматической изменчивости.

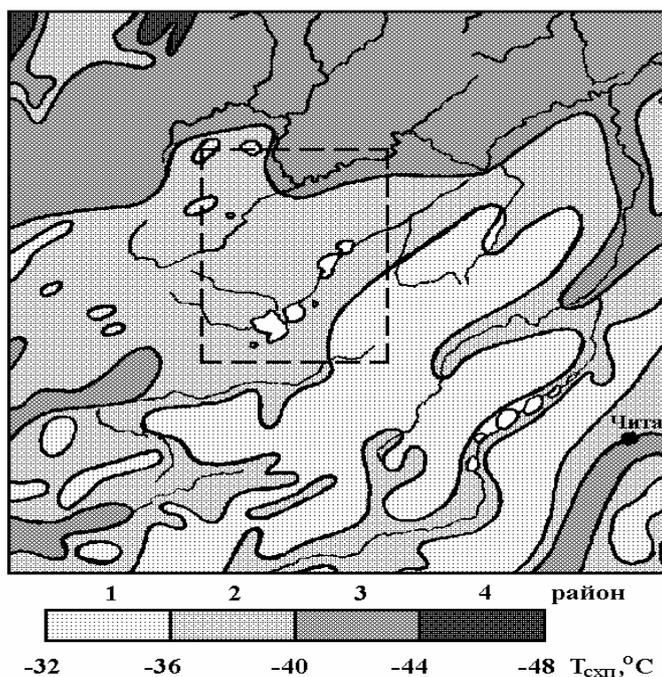


Рис. 3.5. Мезоклиматическое районирование района, выделенного на рис.3.3 пунктирной линией, по температуре самой холодной пятидневки.

В рамках выделенного района, довольно однородного в мезомасштабе, существует большая микроклиматическая изменчивость $T_{схп}$ под влиянием различных форм рельефа, которая часто перекрывает изменение $T_{схп}$ в зависимости от высоты места. Для определения влияния местоположения на изменение $T_{схп}$ используются данные станций, по которым $T_{схп}$ отклоняется от фонового (мезоклиматического) значения, снятого с карты для соответствующего района, на $\pm 1^\circ\text{C}$ и более. Группировка горных станций по их местоположению позволила З.А.Мищенко [Мищенко, 1984] получить распределение $T_{схп}$ на различных формах рельефа.

В табл. 3.1 для выделенного на мезоклиматической карте (рис. 3.5) района приведена количественная оценка микроклиматической изменчивости $T_{схп}$ в зависимости от морфометрических показателей рельефа, на основе которой было выполнено микроклиматическое районирование данного района в масштабе 1: 500000 (Рис.3.6). Для более детальной оценки микроклиматической изменчивости $T_{схп}$ (вплоть до небольших земельных участков) районирование выполняется аналогичным образом, но на картах более крупного масштаба (1:100000, 1:10000 и т.д.).

Таблица 3.1.

Микроклиматическая изменчивость температуры самой холодной пятидневки ($T_{схп}$) к рис. 6.

Район на карте	Местоположение	$T_{схп}$ ($^\circ\text{C}$)
1	Вершины, верхние части крутых склонов крутизной $10-20^\circ$ ($\Delta h = 150-300$ м)	-33
2	Вершины, верхние части склонов крутизной $\geq 10^\circ$	-34
3	Вершины, верхние части склонов крутизной $5-8^\circ$ ($\Delta h = 50$ м)	-35
4	Середина склонов крутизной $5-10^\circ$ ($\Delta h = 50-150$ м)	-36
5	Нормальные местоположения (открытые ровные участки с уклоном $\leq 2^\circ$, средние части склонов крутизной $5-8^\circ$, $\Delta h \leq 50$ м)	-38
6	Широкие долины до 5-10 км в поперечнике ($\Delta h = 150$ м), подножие склонов крутизной $2-5^\circ$ ($\Delta h \leq 50$ м)	-40
7	Долины до 2-4 км в поперечнике ($\Delta h = 50$ м)	-42
8	Замкнутые долины, котловины ($\Delta h = 50-150$ м)	-44

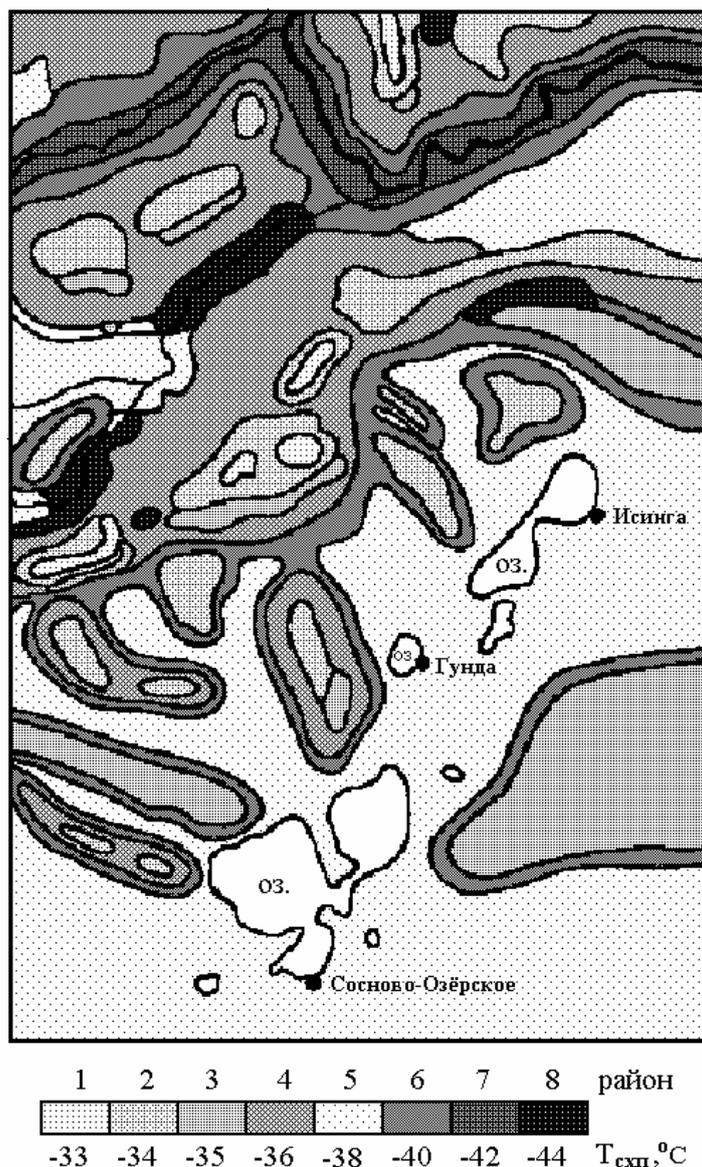


Рис. 3.6. Микроклиматическое районирование района, выделенного на рис.3.5 , по температуре самой холодной пятидневки (по З.А.Мищенко).

3.2 Учет климата при составлении генерального плана города

Климатические условия, наряду с природно-ландшафтными факторами, определяют структуру города, его рост, систему расселения в городе и должны быть учтены при составлении генерального плана города и при совершенствовании его планировочной структуры. В генеральных планах населенных мест при функциональном зонировании жилые зоны должны быть размещены на достаточном удалении от промышленных районов - источников загрязнения среды, с учетом преобладающих ветров, основные транспортные магистрали должны быть вынесены за пределы жилых массивов, озеленены все малоценные земли. При этом транспортные магистрали должны быть, по

возможности, широкими, прямыми, хорошо проветриваемыми, протрассированными с учетом преобладающих ветров. Характер застройки должен соответствовать климатическим условиям и предусматривать свободные от застройки пространства, занятые зелеными насаждениями и водными объектами, регулирующими термический режим города. Система зеленых насаждений должна образовывать своего рода «сетку» фильтров на пути «бризовых» потоков, образующихся в городе. Застройка, в зависимости от климатических условий, может быть периметральной, полупериметральной и линейной. Периметральную застройку, например, можно рекомендовать для защиты от сильных ветров. В крупных городах в настоящее время наметился переход от изолированно-компактных форм к ареально-рассредоточенным. Разрабатываются новые принципы организации расселения в виде широкой, свободной, динамично развивающейся системы линейных полосовых образований, связанных в целостную «сеть». Реализация этих новых принципов формирования региональных районов с учетом окружающей среды и в первую очередь климата позволит усовершенствовать и создать со временем качественно новую среду обитания населения, как в пределах всей системы расселения, так и в каждом отдельном городе и населенном пункте.

Основные мероприятия должны быть направлены на обеспечение максимальной защиты от неблагоприятных факторов среда и максимального использования климатических ресурсов района. В северных районах должен быть, прежде всего, учтен ветровой режим и снегозаносимость. Поэтому планировка города должна предусматривать ветро-снегозащиту. Например, целесообразно использовать рельеф для организации надежной ветро- и снегозащиты. Если разместить насаждения со стороны метеленесущих ветров на более высоких отметках, чем застройка, перенос снега в жилые районы будет затруднен. Однако общегородской центр, по возможности, следует располагать на более высоких отметках. Можно рекомендовать также включение в общую систему ветро- снегозащитных мероприятий кольцеобразное размещение домов застройки микрорайонов. Там, где необходимость в ветро- снегозащите отпадает, появляется возможность раскрытия жилых районов на южные румбы с целью максимального использования радиационных факторов.

Значительного внимания заслуживают туманы, которые представляют опасное явление для городов высоких и умеренных широт и их распределение должно быть учтено при совершенствовании Генплана города. Туманы не только опасны для всех видов транспорта, но и ухудшают экологическое состояние воздуха, т.к. во время туманов концентрация загрязняющих веществ возрастает во много раз. Ухудшение экологического состояния среды при

частой повторяемости туманов приводит к снижению стоимости земли и объектов недвижимого имущества.

Приведем пример необходимости введения в Генпланы таких крупных городов как Владивосток и Якутск существенных изменений вследствие исследования режима городских туманов, выполненного В.Н. Абанниковым на основе натуральных материалов, полученных в экспедициях. Во Владивостоке туманы чаще всего носят адвективный характер (перенос туманов парения). Они распространяются, в основном, от центра туманообразования, расположенного в Японском море и поступают с моря в потоках летнего муссона южного и юго-восточного направлений. На повторяемость туманов во Владивостоке заметное влияние оказывает рельеф местности. При активных туманах, повторяемость их растет с увеличением высоты местности. В закрытых от туманонесущих потоков районах (долины, ложбины, поверхностные склоны сопки и др.) туманы наблюдаются реже, чем на открытых. По сравнению с открытыми местами число дней с туманом здесь сокращается на 20-25 дней в году. Наибольшее число дней с туманами наблюдается на возвышенностях и на склонах сопки, обращенных в сторону моря. Принимая во внимание такой режим туманов, в Генплан Владивостока, внесены рекомендации по развитию города вдоль побережья Амурского залива, где повторяемость туманов минимальна. В этих районах целесообразно расширить строительство домов.

В Якутске наблюдаются туманы, обусловленные совсем другими факторами. Это зимние ледяные антропогенные туманы. Они образуются при выбросе влаги от сжигаемого топлива. Их пространственная неоднородность определяется инверсионным состоянием приземного слоя воздуха, особенностями рельефа и степенью урбанизации района. В центре Якутска, несмотря на наличие острова тепла, наблюдается большое количество туманов из-за активного выброса водяного пара. Но особенно много туманов и велика их продолжительность на северной окраине города, где располагаются промышленные предприятия. В целом, распределение повторяемости и продолжительности туманов по Якутску весьма неравномерны. Поэтому к наиболее приемлемым градостроительным решениям можно отнести строительство широких прямых проспектов, направленных с севера на юг и с запада на восток, что будет способствовать выносу туманов из центра города, вследствие усиления интенсивности воздухообмена между центром города и прилегающими территориями. Для строительства новых районов предпочтение следует отдать возвышенной террасе реки Лены.

Для южных городов характерна значительная интенсивность солнечной радиации, высокая температура, сухость или чрезмерная влажность воздуха, а

также большая вероятность пыльных бурь. Поэтому основной проблемой является организация солнцезащиты. Необходимо изолировать здание от внешней среды в период перегрева и осуществлять искусственную мелиорацию микроклимата. Одним из основных средств мелиорации климата является озеленение и обводнение территории города. Например, мощные фонтаны позволяют снижать температуру воздуха в радиусе 10 м на 2-3°. На приморских территориях рекомендуется располагать корпуса жилых зданий перпендикулярно направлению морских бризов.

Е.Н. Романовой и Л.П. Галюк было проведено микроклиматическое обследование г. Ашхабада (Туркмения). Климатические условия Ашхабада являются крайне тяжелыми за счет рекордно высокой температуры воздуха летом и повышенного пылеветрового режима. Продолжительность круглосуточного перегрева составляет 60-100 дней, а термического дискомфорта - 90-130 дней в году. Относительная влажность воздуха летом составляет 20 % и меньше. Число дней с пыльными бурями достигает 40-70 при средней скорости ветра 5-6 м/с. Развитие города рекомендуется осуществлять в направлении гор, лежащих с южной стороны города, где климатические условия значительно лучше.

3.3 Климатические основы организации жилой застройки

Климатический анализ в целях организации жилой застройки ведется от общего к частному, от оценки фоновых закономерностей климата района к локальным конкретным данным участка строительства. Фоновые условия – это наиболее общие условия для города в целом без детального учета влияния его подстилающей поверхности. Для оценки фоновых условий может быть использовано строительно-климатическое районирование в главе СНиП 23-01-99 «Строительная климатология и геофизика». Оценка местных особенностей проводится на основе анализа мезо- и микроклиматических факторов (по мезо- и микроклиматическим картам). При этом оцениваются микроклимат местного природного ландшафта и микроклимат застройки или антропогенного ландшафта.

3.3.1 Плотность застройки, ориентация, протяженность и этажность жилых зданий, и разрывы между ними

Выбор ориентации зданий, разрывов между ними, а также ширины улиц зависит от величины инсоляции, преобладающих направлений и скорости ветра. Учет солнечной радиации предусматривает ее оценку по продолжительности, часовым и суточным суммам суммарной радиации.

Инсоляционные расчеты могут быть выполнены с помощью любого метода, который позволяет определить продолжительность инсоляции фасадов и помещений зданий и рассчитать степень затененности территорий.

Разрывы между зданиями, протяженность и этажность должны определяться с учетом прямого солнечного облучения помещений, рассеянной радиации, аэрации, особенности микроклимата участков. Фиксировать интервал между зданиями не имеет смысла, в каждом случае он должен определяться особо. Так в районах с сильным ветром применяется замкнутая застройка (замкнутые группы домов, застроенные по периметру) и используются искусственные методы ветрозащиты (защитные стенки). В районах с жарким климатом понижения температуры добиваются благодаря проветриванию за счет увеличения расстояний между зданиями и уменьшения плотности застройки. Придомные пространства расширяются, ориентируются на городской бульвар, группу деревьев и т.п.

Повышение плотности застройки при одной и той же планировочной структуре жилых групп способствует формированию более теплого микроклимата. В жаркий период уменьшение плотности застройки создает более прохладный режим. Следует помнить, что наиболее активную роль в формировании микроклимата жилых групп играет именно плотность застройки и объемно-планировочная структура этих групп.

Кроме ветрозащиты, в метелевых районах обычно предусматривается и снегозащита. Выбор системы защиты происходит в зависимости от расчетной скорости ветра и снегозаносимости, которая определяется интенсивностью снегопереноса, размером снегосборных площадей, направлением метелевых ветров, физико-механическими свойствами снега и характером местности. Открытые пространства в населенном месте не должны превышать длины разгона метели (например, длина разгона в Западной Сибири составляет 200-300 м).

3.3.2 Методика учета микроклимата при организации застройки

Микроклиматическая изменчивость основных элементов климата в пределах города или застройки происходит как под влиянием естественного, так и антропогенного ландшафта. Описанная ниже методика применяется для городских территорий с пересеченным рельефом. На первом уровне детализации используются данные об основных закономерностях формирования микроклимата, о различных условиях подстилающей поверхности, которые приведены в табл. 3.3.

Таблица 3.3

Основные закономерности формирования микроклимата в различных условиях подстилающей поверхности

Элементы подстилающей поверхности	Закономерности формирования микроклимата
Рельеф:	
Вершины и открытые верхние части склонов	Днем температура воздуха на 2-4°C ниже, чем на окружающей местности; в ясные тихие ночи на 1,5-2°C теплее по сравнению с ровным местом и на 2-8°C - с дном долин и подножьем склонов; суточная амплитуда температуры воздуха меньше, минимальные температуры выше, чем в долинах и котловинах; наиболее сухие и хорошо проветриваемые территории
южные склоны	Максимальная дневная температура. За период с температурой воздуха более 10°C получают тепла на 4-8 % больше, чем на ровном месте; средние суточные температуры почвы за летний период выше, чем на северных склонах; влажность воздуха меньше; наиболее интенсивное таяние снежного покрова; ветровой режим зависит от ориентации по отношению к направлению ветра.
северные склоны	Наиболее холодные (особенно летом); за период с температурой воздуха более 10°C получают тепла на 8-10 % меньше, чем на ровном месте; глубина снежного покрова больше, чем на южных склонах, сход его задерживается на 14-15 дней; характер ветрового режима также определяется экспозицией по отношению к ветровому потоку.
наветренные и подветренные склоны	Наветренные склоны наиболее холодные; получают меньше осадков; наибольшая глубина снежного покрова; подветренные юго-восточные, южные и юго-западные склоны наиболее теплые; большое количество осадков; наибольшая мощность снежного покрова.

Продолжение таблицы 3.3	
долины, котловины, нижние части склонов	Значительно большие суточные амплитуды температура воздуха и меньше температурная инверсия по сравнению с вершинами; долины, ориентированные с запада на восток, освещены более равномерно, чем долины меридионального направления; существенное повышение относительной влажности воздуха, частое образование туманов, росы; на дне замкнутых долин без стока или с затрудненным стоком холодного воздуха ночью самые низкие температура воздуха и относительная влажность (частое возникновение «озер холода»); наибольшая глубина снежного покрова; плохие условия проветривания.
Растительность	В зависимости от вида зеленых насаждений снижается проникновение солнечной радиации (на 0,5-20 % прямой и 2-22 % суммарной); возможно снижение температуры воздуха до 10°C; ветрозащитная эффективность лесных полос зависит от их конструкции, определяющей продуваемость полосы, ветрозащитное действие полос продуваемой конструкции 50-60Н, плотной 35-40Н, оптимальная степень ажурности 30-40 %.
Водоемы, моря, крупные озера, водохранилища	Весной и в начале лета водоем охлаждает прилегающую территорию, в конце лета и осенью отепляет; ночью вблизи водоемов температура воздуха на 2-3°C выше, чем в нескольких километрах от берега; днем водоем понижает температуру воздуха на 2-4°C; влияние водоемов проявляется также в увлажнении воздуха и уменьшении запыленности; в суточном ходе наблюдается уменьшение скорости ветра днем и усиление ночью; среднее значение коэффициента скорости ветра в теплый период 1,2-1,4; в районах со слабыми ветрами (до 2 м/с) появляются или усиливаются бризы; по характеру влияния водоемов выделяются зоны постоянного и сильного (1-3 км), слабого и несистематического (3-5 км) влияния.

Эти данные рекомендуется использовать для города.

На втором уровне проводится детальный анализ микроклимата конкретного участка с пересеченным рельефом на топографической основе. Методы количественной оценки микроклиматической изменчивости солнечной радиации и ветра описаны в следующих работах: [Методические указания по производству микроклиматических обследований в период изысканий, 1969; Романова, 1977].

На топографической подоснове подразделяют ровные места на повышенные и пониженные, выделяют склоны разной ориентации по четырем экспозициям (север, юг, восток, запад) и углы наклона местности. Метод состоит в перемещении равнобедренного треугольника по чертежу плана местности так, чтобы его катеты были параллельны направлениям север-юг и запад-восток. В точках касания гипотенузой горизонталей рельефа делают засечки и, соединяя точки касания, проводят границы участков разных экспозиций. Границы между участками смежных экспозиций проводят через те точки на горизонталях, в которых нормали к ним имеют азимуты 45°, 135°, 225° и 315°. Оценка территории по уклонам проводится с учетом градаций 3°, 3-10°, 10-20°, >20°. Каждый участок на топографической подоснове (ровная территория, склоны южной или северной ориентации, наветренные и подветренные участки) оценивают по степени благоприятности с учетом теплового воздействия солнечной радиации и ветрового режима. Критерии оценки даны в таблицах 3.4 и 3.5.

Таблица 3.4

Оценка территории по тепловому воздействию солнечной радиации

Климатическая зона	Степень благоприятности ориентации		
	благоприятная	неблагоприятная	умеренно-благоприятная
Холодный и умеренный климат	От 90 до 270° (В - З)	От 315 до 45 (СВ - СЗ)	От 45 до 90 (СВ - В); От 315 до 270 (СЗ - З);
Очень теплый и жаркий климат	От 270 до 90° (З - В)	От 135 до 225°С (ЮВ - ЮЗ)	От 90 до 135 (В - ЮВ); От 225 до 270 (ЮЗ - З);

Таблица 3.5

Оценка территории по ветровому режиму

Общая оценка ветрового режима	Степень благоприятности форм рельефа												
	Вершины и возвышенности с плоскими вершинами пологими склонами	Наветренные склоны			Склоны, параллельные ветру			Подветренные склоны			Долины, лощины, овраги		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	Продуваемые	Непродуваемые	
Районы с большими скоростями ветра (повторяемость скорости более 5 м/с свыше 20%	Неблагоприятные			Благоприятные			Неблагоприятные		Благоприятные				
Районы с умеренными скоростями ветра (повторяемость скорости 3-5 м/с свыше 50%, более 5м/с - менее 20%	Неблагоприятные			Умеренно-благоприятные			Благоприятные			Умеренно-благоприятные			

П р и м е ч а н и е: Цифрами 1,2,3 обозначены соответственно верхняя, средняя и нижняя части склонов.

Третий уровень детализации при оценке микроклимата связан с подбором для каждого участка рельефа коэффициентов по солнечной радиации и скорости ветра на основе специальных таблиц [Романова , 1977; Микроклимат СССР, 1967; Пигольцина, 2003].

В первом приближении микроклимат застройки можно определить по табл. 3.3. и 3.6

Таблица 3.6

Основные закономерности формирования микроклимата в застройке
(по данным Г.К. Климовой)

Элементы климата	Закономерности формирования микроклимата (по отношению к загородным условиям)
Солнечная радиация	Снижение до 20 % в зависимости от степени загрязнения воздуха, времени года и суток
Температура воздуха	Повышение на 1-4°С в зависимости от плотности застройки: в застройке плотностью до 20 % - на 1-2°С, плотностью более 20 % - на 3-4°С (без учета влияния озеленения на снижение температуры). В городах-оазисах зоны пустынь понижение на 2-3°С.
Скорость ветра	Снижение на 20-70 % в зависимости от плотности застройки: в застройке плотностью до 20 % - до 20 %, плотностью от 20 % до 30 % - на 20-50 %, плотностью более 30 % - более чем на 50 %.

П р и м е ч а н и е : под плотностью застройки понимается отношение площади, занятой зданиями, к общей площади рассматриваемой территории.

Количественная оценка ветра в застройке плохо поддается теоретическому расчету. Она чаще проводится методом физического моделирования в аэродинамической трубе на макетах застройки или методом натуральных наблюдений. Однако, некоторые методы корректировки скорости ветра в застройке, предлагаемые А.Ф. Серебровским, будут изложены в части 4.

3.4 Строительно-климатическое зонирование (районирование).

Главным фактором данного зонирования являются типологические требования к жилищу. Зонирование определяет территории, в пределах которых жилым зданиям предъявляют определенную совокупность архитектурно-планировочных и иных требований, формирующих представление о типе дома. Зонирование территории обязательно учитывается при решении градостроительных вопросов.

Карта строительно-климатического районирования, приведена в новой главе СНиП «Строительная климатология» для стран СНГ (рис. 3.8). Она составлена в ГГО и НИИСФ и введена в действие с 1 января 2000 г. постановлением Государственного Комитета Российской Федерации по строительной, архитектурной и жилищной политике от 11 июня 1999 г.

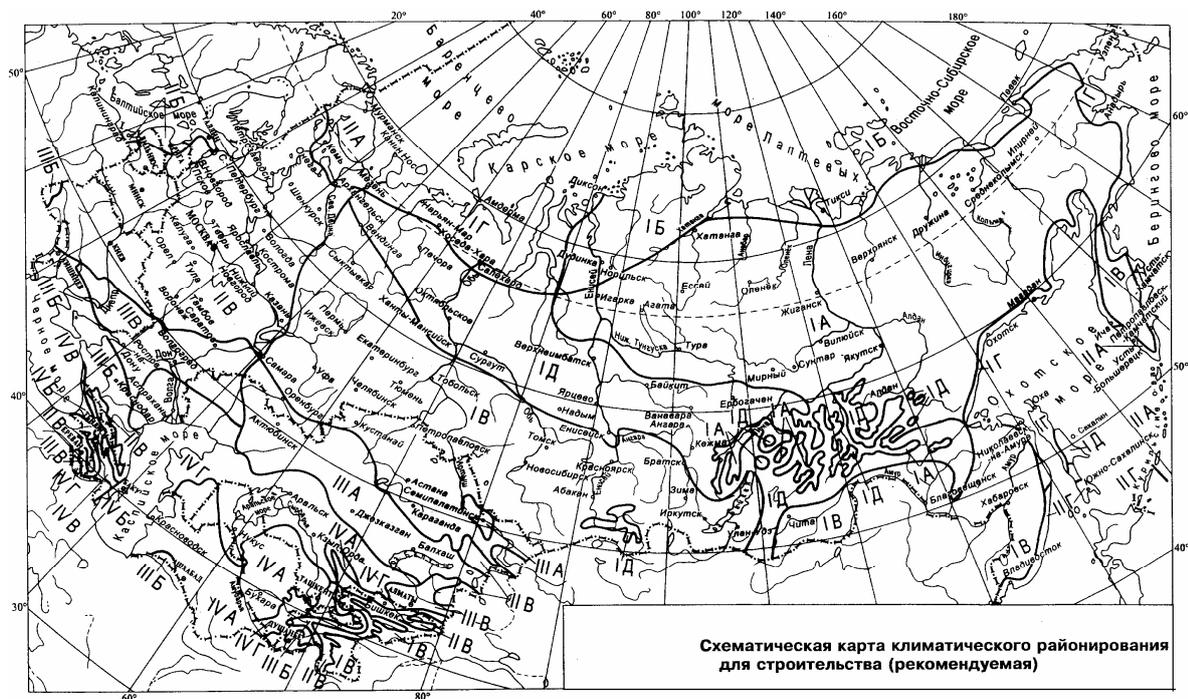


Рис. 3.8 Климатическое районирование для строительства

Территория России и стран СНГ разделена на 4 зоны и климатические подрайоны. Критерием зон служат сочетания температуры, скорости ветра и относительной влажности воздуха (табл. 3.7)

Таблица 3.7

Параметры климатического районирования для строительства

Климатические районы	Климатические подрайоны	Средняя месячная температура воздуха в январе, °С	Средняя скорость ветра за три зимних месяца	Средняя месячная температура воздуха в июле, °С	Средняя месячная относительная влажность воздуха в июле, %
I	IA	От -32 и ниже	-	От +4 до +19	-
	IB	От -28 и ниже	5 и более	От +0 до +13	Более 75
	IВ	От -14 до -28	-	От +12 до +21	-
	IГ	От -14 до -28	5 и более	От +0 до +14	Более 75
	ID	От -14 до -32	-	От +10 до +20	-
II	IIА	От -4 до -14	5 и более	От +8 до +12	Более 75
	IIБ	От -3 до -5	5 и более	От +12 до +21	Более 75
	IIВ	От -4 до -14	-	От +12 до +21	-
	IIГ	От -5 до -14	5 и более	От +12 до +21	Более 75
III	IIIА	От -14 до -20	-	От +21 до +25	-
	IIIБ	От -5 до +2	-	От +21 до +25	-
	IIIВ	От -5 до -14	-	От +21 до +25	-

Продолжение таблицы 3.7

IV	IVA	От -10 до +2	-	От +28 и выше	-
	IVБ	От +2 до +6	-	От +22 до +28	50 и более в 15 ч
	IVВ	От 0 до +2	-	От +25 до +28	-
	IVГ	От -15 до 0	-	От +25 до +28	-

Примечание: Климатический подрайон ID характеризуется продолжительностью холодного периода года 190 дней в году и более.

Для выделенных климатических зон характерны различные режимы эксплуатации жилища:

- закрытый, когда требуется надежная изоляция помещений от внешней среды и постоянная работа отопительных устройств при низких температурах или когда требуется постоянное искусственное охлаждение при высоких температурах;

- открытый, когда преобладает постоянная непосредственная связь помещений с внешней средой и для поддержания комфортных условий в помещении не требуются специальные технические средства (отопление, кондиционирование, побудительная вентиляция и т.д.);

- смешанный, когда используются попеременно открытый и закрытый режимы, а поддержание комфортных условий в помещении может быть обеспечено различными регулирующими средствами, используемыми периодически.

В первой зоне преобладают закрытый и смешанный режимы, во второй и третьей есть все три режима, в четвертой - закрытый режим зимой имеет место весьма непродолжительное время.

4. СТРОИТЕЛЬНАЯ ИНДУСТРИЯ

Учет климата является необходимым условием повышения качества строительства. Расширение масштабов строительства, внедрение новых архитектурно планировочных решений, повышение требований к качеству жилища и энергоэффективности зданий, определяют необходимость постоянного совершенствования оценки взаимосвязи в системе «климат-жилище».

Современное развитие климатологии и строительной физики позволяют осуществить научно-обоснованный подход к комплексной оценке климатических условий при проектировании и строительстве зданий.

На рис. 4.1 представлена в виде «дерева» схема инфраструктуры строительства с указанием основных влияющих климатических индексов (специализированных климатических характеристик). В последующих разделах «Руководства...» подробно излагаются методы расчета каждого из указанных индексов, а также технология включения их в проектные расчеты.



Рис. 4.1 Инфраструктура строительства

До последнего времени значительная часть таких индексов являлись нормативными параметрами и «Строительные нормы и правила» (СНиП) регламентировали их учет в строительном проектировании. Теперь, по требованию ВТО, статус СНиП изменился и данные носят рекомендательный характер. Вместе с тем, в соответствии с новым законом о «техническом регулировании», созданы «Общий технический регламент» и регламенты по отдельным подсистемам строительства. Система таких регламентов пополняется. В регламентах содержатся указания на необходимость использования некоторых климатических параметров (например, атмосферных нагрузок редкой повторяемости при проектировании «особо опасных объектов»).

Кроме общероссийских СНиП создаются «Территориальные строительные нормы» (ТСН), в которых подробно учитывают местные климатические условия. Так созданы ТСН по теплозащите зданий для регионов РФ «Энергетическая эффективность зданий», которые обеспечивают повышение энергоэффективности зданий и не ограничивают инициативу проектировщиков.

По ряду регионов (Башкортостан, Самарская, Пермская области) созданы ТСН «Строительная климатология». Предполагается создание таких ТСН и для других областей.

4.1 Посадка здания на местности и принятие архитектурных решений.

В последнее время в России, как и во всем мире, возрос интерес к вопросам учета климата в архитектурно-строительном деле. Происходят улучшения во внешнем облике жилой застройки многих городов, появились новые красивые жилые дома и ансамбли. Однако, вопрос о создании гармоничной жилой среды, необходимой для достижения достаточно высокого качества жизни людей еще далек от разрешения. Формирование здоровой и эстетически полноценной жилой среды немислимо без соответствующего полного учета природно-климатических условий, существенно влияющих на архитектуру и определяющих ее функциональные и эстетические качества.

Прогрессивное архитектурное решение строящегося здания должно быть направлено на достижение максимального микроклиматического эффекта при минимальных затратах и сохранении экологического равновесия окружающей здание местности. Эта задача решается за счет применения архитектурных форм, обоснованных климатом.

Учет климатической информации при архитектурной организации здания осуществляется поэтапно. Главными этапами этой части проектных работ являются :

- = выбор площадки для посадки здания,
- = ориентирование здания,
- = принятие объемно-планировочных решений (архитектура здания, входы в него, балконы, дождезащитные козырьки, размеры, ориентация комнат различного функционального назначения, облученность квартир, отвечающая санитарно-гигиеническим нормам и др.),
- = определение инженерной инфраструктуры здания (типы и габариты систем отопления, вентиляции и кондиционирования),
- = оценка влияния предполагаемого здания на микроклимат окружающей местности (затенение соседних зданий, искажение ветрового режима, возможное дополнительное местное загрязнение).

Для решения поставленных задач необходима подготовка двух основных видов климатической информации. С одной стороны, для того, чтобы хорошо выбрать место для построения здания и выяснить, насколько ухудшает экологическую обстановку построение этого здания, следует построить микроклиматические карты района и план окружающего антропогенного ландшафта. С другой стороны, при определившемся месте постановки здания конкретно для этого места представляется вся графическая и цифровая информация, используемая для всех остальных перечисленных выше задач. Если метеостанция находится далеко от строительной площадки, то климатическая информация интерполируется с учетом характера местности. Этому помогают микроклиматические карты и планы местности.

Методика построения микроклиматических карт подробно изложена в монографиях [Микроклимат СССР, 1967; Романова, 1977; Романова и др., 2000].

4.1.1 Перечень специализированных климатических параметров

На этапах ориентирования здания по странам света и принятия объемно-планировочных решений главными климатическими параметрами, на которых основываются эти решения, являются:

- = период облучения солнечной радиацией (инсоляция), количество суточной суммарной радиации, поступающей на стены зданий,
- = средняя продолжительность солнечного сияния,
- = повторяемость ясной и малооблачной погоды,
- = средняя скорость ветра по направлениям,
- = повторяемость “косых” дождей и их количество по направлениям ветра.

При этом облученность и количество солнечной радиации, а также скорость ветра по направлениям должны указываться с учетом окружающей застройки.

На этапе разработки инженерной инфраструктуры прежде всего привлекается информация о:

- = средней продолжительности отопительного периода; средней сумме градусодней за отопительный и теплый периоды,
- = повторяемости ежедневных сочетаний температуры и влажности воздуха.

Многие из перечисленных характеристик на этапе архитектурной организации проектирования представляются в графической форме, в виде роз (ветра, “косых” дождей), теневых масок на радиационных номограммах Рейдата и графиков на J-d диаграмме.

4.1.2. Методы определения облученности здания

4.1.2.1 Продолжительность инсоляции помещений

Облученность здания определяется количеством поступающей радиации. Общее количество солнечной радиации и количество ультрафиолетовой радиации в ее составе должно быть достаточным для нормального развития человеческого организма. Но чрезмерная солнечная радиация вызывает световой дискомфорт, перегрев и ультрафиолетовую переоблученность. В последнем случае необходима защита от солнца - применение солнцезащитных устройств. В соответствии с санитарными нормами и правилами в определенный период года помещения и жилая территория должны подвергаться непрерывному солнечному облучению: не менее 3 часов в день с 22.07 по 22.08 для северных районов, не менее 2.5 часов с 22.03 по 22.09 для центральной части России и не менее 2 часов в период с 22.02 по 22.10 в южных районах. Оптимум количества солнечной радиации, поступающей в квартиры и процент облучаемой площади в них регулируются прежде всего ориентацией здания, расстоянием между зданиями, формой, конфигурацией, окраской здания, а затем планировкой отдельных элементов зданий (глубина помещения, размеры окон, балконов, карнизов, лоджий и т.д.) и выбором средств инженерного оборудования, в том числе солнечных отопительных систем. Все эти нормы дифференцируются в зависимости от свето-климатических условий отдельных районов страны.

Продолжительность инсоляции открытостоящих зданий с окнами любой ориентации может быть определена по формуле:

$$\cos \tau = \operatorname{ctg} \varphi \cdot \operatorname{tg} \delta_0, \quad (4.1)$$

где φ - широта места; δ_0 - склонение солнца; τ - часовой угол солнца, отсчитываемый от момента истинного полдня.

В таблице 4.1 приведено время начала и конца облучения (освещения) прямой солнечной радиацией стен южной и северной ориентаций на 15-е число месяца. Данные продолжительности облучения для различных широт представлены на рис.4.2.

Таблица 4.1

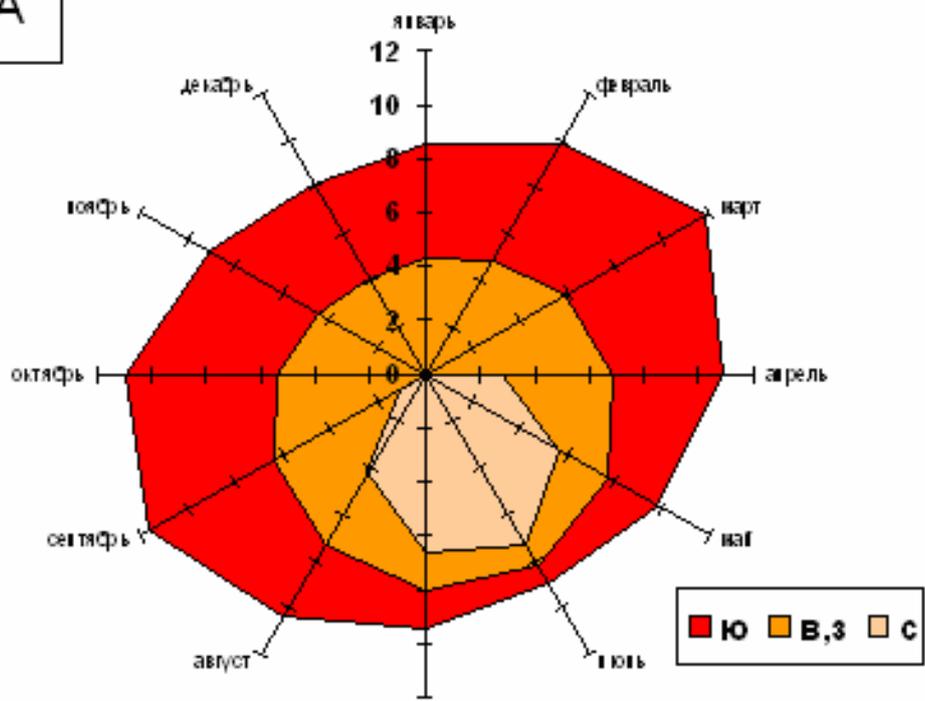
Время начала и конца облучения прямой солнечной радиацией (часы и минуты на 15-е число месяца) южных (северных) стен открытостоящих зданий и время восхода и захода Солнца

φ°	Восход	Заход	Восход	Начало	Конец	Заход
	Начало	Конец				
	Январь		Апрель			
60	8 40	15 20	4 45	6 21	17 39	19 15
50	7 44	16 16	5 09	6 33	17 27	18 51
	Февраль		Май			
60	7 26	16 34	3 28	6 42	17 18	20 32
50	7 04	16 56	4 19	7 06	16 54	19 41
	Март		Июнь			
60	6 10	17 50	2 36	7 00	17 00	21 24
50	6 06	17 54	3 50	7 30	16 30	20 10
	Октябрь		Июль			
60	6 52	17 08	2 56	6 52	17 08	21 04
50	6 34	17 26	4 01	7 18	16 42	19 59
	Ноябрь		Август			
60	8 12	15 48	4 07	6 33	17 27	19 53
50	7 28	16 32	4 43	6 48	17 12	19 17
	Декабрь		Сентябрь			
60	9 02	14 58	5 31	6 07	17 53	18 29
50	7 56	16 04	5 39	6 11	17 49	18 21

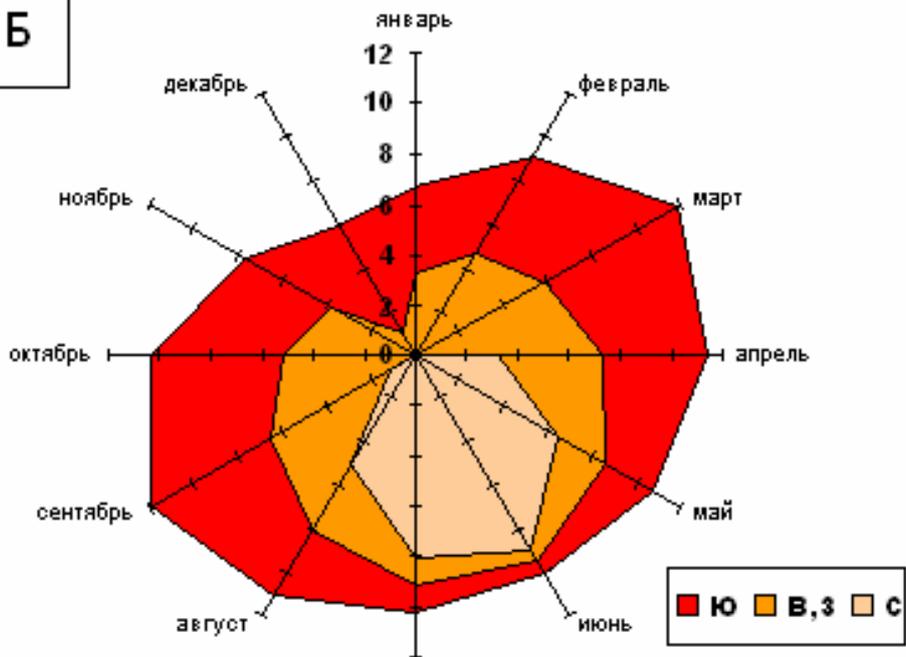
Примечание:

1. Время указано истинное солнечное, п.д. – полярный день, п.н. – полярная ночь.
2. Время начала и конца облучения южных стен в зимний период, а северных стен в летний период совпадает с восходом и заходом солнца.
3. В летний период время начала облучения солнечной радиацией южных стен совпадает с концом облучения северных стен и наоборот.
4. Время начала облучения восточных стен совпадает с восходом Солнца; конец облучения в 12 ч. Время конца облучения западных стен совпадает с заходом Солнца; начало облучения в 12 ч.

А



Б



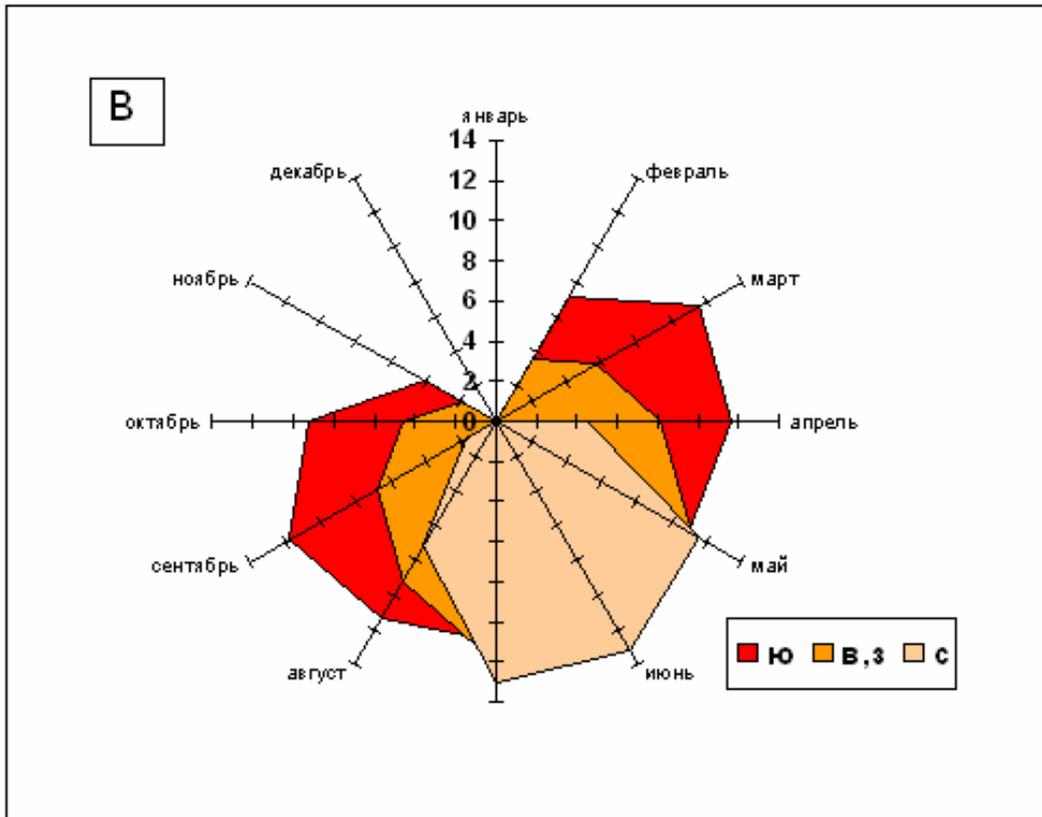


Рис. 4.2. Продолжительность инсоляции помещений:
 А: $\varphi^\circ=50$, Б: $\varphi^\circ=60$, В: $\varphi^\circ=70$

Для формирования экологически благоприятной городской среды и создания оптимальных условий проживания важно на стадии проектирования определить ширину, направление улиц и высоту зданий. Ниже описан разработанный в ГГО простой графический метод для расчёта инсоляции стен зданий и придомовых территорий при различных параметрах линейной застройки, позволяющий на количественной основе осуществлять сравнительную оценку инсоляционных ресурсов различных типов застройки для выработки климатически обеспеченных оптимальных градостроительных концепций и решений.

При линейной двухсторонней застройке улицы угол закрытости горизонта противоположными домами будет иметь максимальное значение, когда азимут Солнца совпадает с азимутом нормали к стене (Солнце находится перед стеной). Чем больше азимут Солнца отклоняется от азимута нормали, тем меньше угол закрытости горизонта.

Для решения задачи будем рассматривать прямолинейную улицу постоянной ширины (L), застроенную зданиями, имеющими постоянную высоту с каждой стороны улицы на всем её протяжении. Тогда, угол закрытости горизонта можно определить по формуле:

$$\operatorname{tg} \beta(f) = m \cdot \cos(f - f_n), \quad (4.2)$$

где параметр застройки $m = (\mathbf{H} - \mathbf{h})/L$ характеризует угол закрытости горизонта противоположной стеной, высота которой H , для участка затененной стены, расположенного на высоте h ;

f - азимут рассматриваемого направления с участка затененной стены,
 fn - азимут нормали к затенённой стене.

При прохождении Солнца через азимут f оно будет освещать стену (или её часть) лишь в том случае, если высота Солнца (ho) будет больше угла закрытости горизонта (β). Таким образом, моменты начала и окончания периода инсоляции определяются из уравнения:

$$ho(f) = \beta(f) \quad (4.3)$$

Высота и азимут Солнца вычисляются по известным формулам астрономии:

$$\cos fo = \frac{\sin ho \cdot \sin \varphi - \sin \delta}{\cos ho \cdot \cos \varphi} \quad (4.4)$$

$$\sin ho = \sin \varphi \cdot \sin \delta + \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos \Omega, \quad (4.5)$$

где δ - склонение Солнца,

φ - географическая широта,

Ω - часовой угол Солнца в данный момент времени.

Для зданий в условиях застройки с учётом уравнения (4.4) условие (4.2) может быть записано в виде:

$$\arctg [m \cdot \cos (f - fn)] = \arcsin (\sin \varphi \cdot \sin \delta + \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos \Omega) \quad (4.6)$$

Решая уравнение 4.6, можно определить моменты начала и конца периодов, в течение которых стена данной ориентации может, в зависимости от сочетания геометрических и географических факторов, освещаться Солнцем.

На основании вышеизложенных теоретических положений разработан графический метод определения режима инсоляции стен зданий при линейном типе застройки, отвечающий основным требованиям, предъявляемым к методам расчёта в области архитектурно-строительного проектирования, а именно, обладает наглядностью и простотой решения задач по инсоляции, возникающих в процессе разработки концепций [Пигольцина, 2003].

Суть метода заключается в следующем. Известно, что часовые коэффициенты K_v , представляющие собой коэффициенты для перехода от радиации на горизонтальной поверхности к поступающей на вертикальную, вычисляются по [Кондратьев, 1965]

$$K_v = \cos (fo - fn) / \tg ho \quad (4.7)$$

где fo – азимут Солнца, fn – азимут нормали к стене, ho – высота Солнца.

В результате совместного решения уравнений 4.1. и 4.6, получается следующее выражение:

$$tg \beta / tg h_0 = m \cdot K_v \quad (4.8)$$

Согласно условию 4.3, моменты начала и конца инсоляции будут определяться соотношением:

$$m \cdot K_v = 1 \quad (4.9)$$

Если это соотношение больше 1, то стена не инсолируется, если $m \cdot K_v < 1$, то стена облучается прямыми солнечными лучами.

Таким образом, если построить график суточного хода коэффициентов K_v , по оси абсцисс которого откладывается истинное солнечное время τ_0 , и пересечь кривые K_v горизонтальными линиями, ординаты которых равны $1/m$, то точки пересечения кривых K_v и прямых $1/m$ определяют время начала (или конца) облучения стен при заданных параметрах застройки m .

Значения коэффициентов K_v зависят только от астрономических факторов и легко рассчитываются. Имея такую (один раз рассчитанную) таблицу, можно без труда построить графики K_v и определить время начала, конца и продолжительность инсоляции стен для любых параметров линейной застройки, широт и времени года.

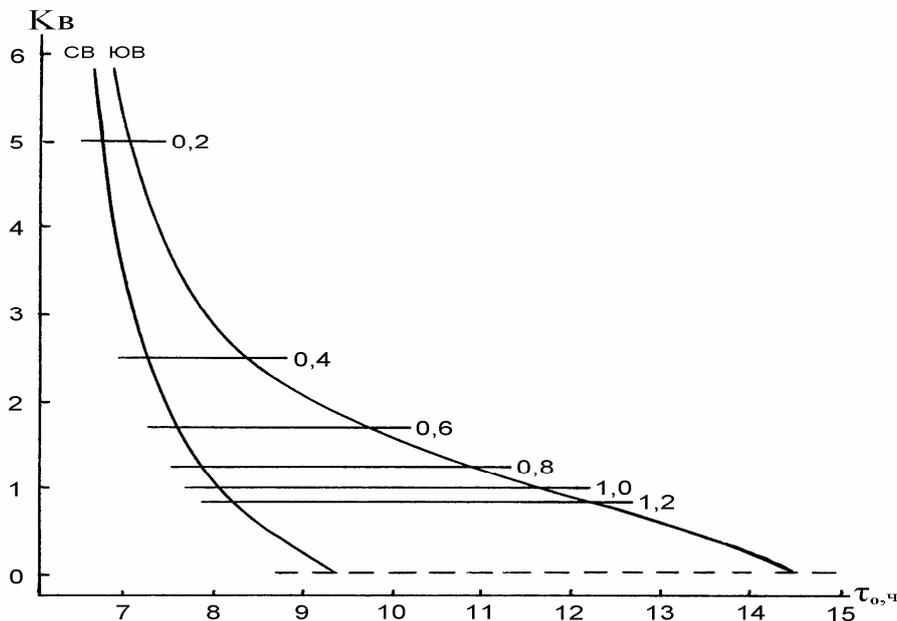


Рис. 4.3. Номограмма для определения времени инсоляции стен СВ и ЮВ ориентации при различных значениях параметра застройки (m) в день равноденствия. Широта 52° с.

Условные обозначения: K_v - часовые коэффициенты для перехода от радиации на горизонтальной поверхности, к поступающей на вертикальную; τ_0 - истинное солнечное время в часах; цифры на ординатах - значения параметра застройки m .

На рис. 4.3 в качестве примера приведена номограмма для определения времени инсоляции стен СВ и ЮВ ориентации в день равноденствия на широте 52° с. при различных параметрах линейной застройки. Точки пересечения кривых K_v и горизонтальных линий показывают время начала облучения стен при разных параметрах m , обозначенных на изолиниях. Моменты окончания инсоляции стен соответствуют значениям $K_v = 0$, отмеченным на графике пунктирной линией. По приведенной номограмме можно определить как изменение режима инсоляции стен в зависимости от их ориентации при определенных значениях параметра застройки, так и изменение инсоляции стен конкретной ориентации в зависимости от величины параметра m . На данный график можно нанести кривые K_v одновременно для стен всех ориентаций, что даст наглядную картину изменения режима инсоляции стен по всему кругу горизонта, то есть при любом направлении улиц.

Наиболее удобным средством для определения времени облученности конкретного проектируемого дома являются номограммы Рейдата или солнечные карты, широко используемые за рубежом и реже в России. На номограмме для соответствующей широты места отмечается затенение места строительства близлежащими препятствиями (зданиями, деревьями и т.д.).

Предварительно составляется план окружающих место строительства построек и растительности.

На рис. 4.4 а изображен такой план для конкретного примера. Измеряются: расстояние до затеняющего предмета, его высота, поперечный и продольный размеры. Затем составляется вспомогательный график угловых размеров всех затеняющих предметов (см. рис. 4.4 б). По угловым размерам, затеняющим здание, составляется теневая маска на номограмме Рейдата.

Подробное описание номограмм Рейдата можно найти в книге [Маркус, Моррис, 1985].

Основу номограмм составляет стереографическая проекция небесной сферы с изображенными на ней траекториями солнца. Ряд концентрических окружностей представляют высоты солнца, а по внешнему краю сферы могут быть указаны азимуты в масштабе от 0 до 80° . По такой сфере при наложении на нее соответствующих планшетов могут быть определены высота и азимут Солнца для любой даты и любого времени, а также угол падения солнца на поверхности с различными углами наклона. Каждая такая номограмма составляется для определенной широты. Ее можно использовать для той же широты в другом полушарии.

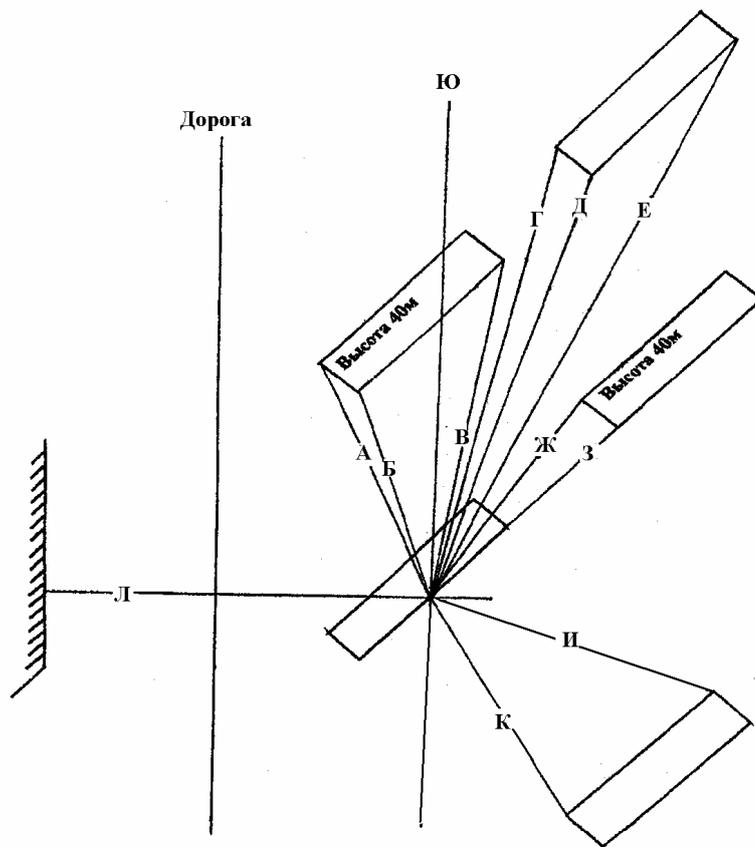


Рис. 4.4.а План-схема затеняющих здание объектов

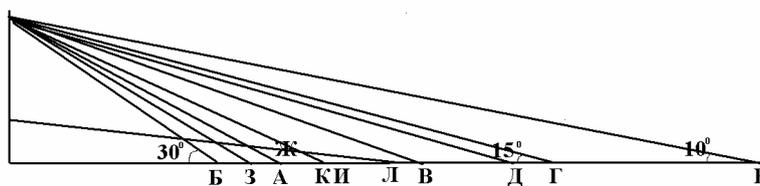


Рис. 4.4.б Угловые размеры затеняющих здание объектов

На номограммах траекторий солнца нанесены часовые линии. Все эти линии соответствуют истинному солнечному времени, т.е. в полдень Солнце находится точно на юге (в северном полушарии). Положение Солнца в дни равноденствий на всех широтах во время восхода точно на востоке, а во время захода точно на западе, т.е. в 6 и 18 ч. соответственно. Номограммы траектории солнца и планшеты с высотой и азимутом используются для изучения затенения места, где стоит здание. На рис. 4.5 показан пример определения по номограмме Рейдата продолжительности облучения территории конкретного дома с учетом его затенения препятствиями, изображенными на плане рис. 4.4. Как следует из рис. 4.5, в осенне-зимний период значительную часть су-

ток место строительства затенено. В теплый период года затенение местоположения здания невелико. Так в ноябре-январе место строительства (если бы не было затенения) освещалось в течение четырех-семи часов в сутки. При затенении оно освещается лишь утром менее двух часов. В июне строительство затеняется лишь в течение примерно 2 часов из 19.

Таким образом, для оценки облученности солнцем выбираемого места строительства следует выполнить следующие действия:

- = выбрать из [Маркус, Морис, 1985] номограмму, соответствующую широте предполагаемой стройки;
- = составить план застройки вокруг выбираемого места, измерив расстояние до ближайших препятствий, их высоту, широту и длину, а для деревьев - диаметр окружности, в которую вписывается крона дерева;
- = измерить угловые размеры препятствий (схема измерения показана на рис.4.4);
- = нанести изображения препятствий на номограмму (построить теневую маску);

пользуясь номограммой, на которой изображены и оцифрованы суточные траектории движения солнца для центральной и последней даты каждого месяца, определить периоды, когда строительная площадка освещена.

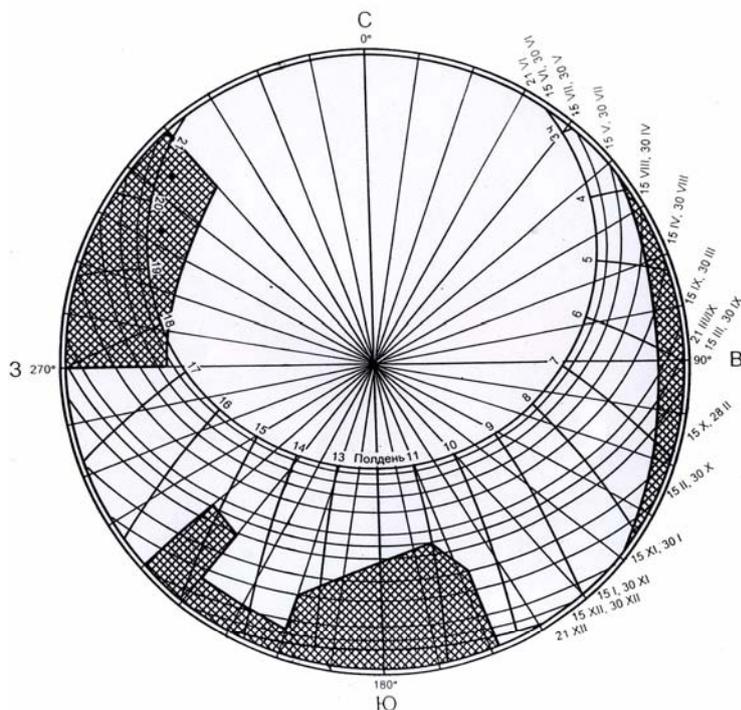


Рис. 4.5 Пример определения по номограмме Рейдата продолжительности облучения территории конкретного дома с учетом его затенения препятствиями, изображенными на плане рис. 4.4

После того, как зафиксировано место строительства, для принятия архитектурного решения (расположения окон, балконов и др.) следует по этой же номограмме оценить освещенность различно ориентированных стен зданий при том или ином варианте посадки здания в месте строительства (осевая линия здания может быть направлена под различными углами к меридиану).

Для того, чтобы определить облученность солнцем конкретной стены нужно вырезать сектор на номограмме и соответствующие ему часы суток, когда освещается выбранная стена. Дальше время, начало и конец облучения ее солнцем определяют по номограмме указанным выше способом.

Строгое определение теневых углов для каждой стены здания и наклонных поверхностей (при разных углах наклона) можно найти в книге [Маркус, Моррис, 1985].

Следует отметить, что облученность зданий, как правило, в реальных условиях, особенно в высоких широтах, сокращается из-за облаков. Поэтому возможное число часов облученности здания следует уменьшить, опираясь на продолжительность солнечного сияния.

4.1.2.2 Поступление солнечной радиации на стены зданий

Количество прямой радиации, поступающей на вертикальные поверхности (стены зданий) разной ориентации, можно выразить следующей формулой:

$$S_{\Pi} = S \cdot \text{Cosh}_o \cdot \text{Cos}(A_o - A) \quad (4.10)$$

где: S_{Π} – прямая солнечная радиация, поступающая на вертикальную поверхность; S – прямая солнечная радиация, поступающая на поверхность, перпендикулярную к солнечным лучам; h_o – высота солнца над горизонтом; A – азимут нормали к стене; A_o – азимут солнца.

Частные случаи, когда вертикальная поверхность обращена к югу ($A=0$):

$$S_{\text{в, ю}} = S \cdot \text{Cosh}_o \cdot \text{Cos}A_o; \text{ К западу и востоку } (A = \pm \frac{\pi}{2}): \quad (4.11)$$

$$S_{\text{в, з-в}} = S \cdot \text{Cosh}_o \cdot \text{Sin}A_o; \quad (4.12)$$

К северу ($A = \pi$):

$$S_{\text{в, с}} = -S \cdot \text{Cosh}_o \cdot \text{Cos}A_o. \quad (4.13)$$

К юго-западу и северо-востоку

$$S(\text{юз}) - (\text{св}) = \pm 0.707 \cdot S \cdot (\text{Cosh}_o \cdot \text{Sin}A_o - \text{Cosh}_o \cdot \text{Cos}A_o) \quad (4.14)$$

Северо-запад и юго-восток

$$S(\text{сз}) - (\text{юв}) = \pm 0.707 \cdot S \cdot (\text{Cosh}_o \cdot \text{Sin}A_o + \text{Cosh}_o \cdot \text{Cos}A_o) \quad (4.15)$$

В ГГО им. А.И.Воейкова были выполнены исследования соотношения между суммами прямой радиации, поступающими на горизонтальную $\sum S_{\Gamma}$ и вертикальную $\sum S_{\text{В}}$ поверхности и выявлена четкая зависимость этого соотношения от широты места и времени года. Это позволило предложить простой способ определения сумм прямой радиации для стен зданий по данным горизонтальной поверхности, опубликованным в Научно-прикладном Справочнике по климату СССР, а величину $K_s = \frac{\sum S_{\text{В}}}{\sum S_{\Gamma}}$ применять в качестве коэффициента для расчета $S_{\text{В}}$ по формуле:

$$\sum S_{\text{В}} = K_s \sum S_{\text{Н}} \quad (4.16)$$

Коэффициенты пересчета прямой радиации на вертикальные поверхности опубликованы и широко используются [Пивоварова, 1973].

Суммарный приход коротковолновой солнечной радиации на вертикальные поверхности может быть записан в виде

$$Q_{\text{В}} = S_{\text{В}} + D_{\text{В}} + R_{\text{В}} \quad (4.17)$$

Если имеются отдельные данные о составляющих суммарной радиации, тогда расчет производится просто. Рассчитывается прямая радиация на вертикальную поверхность с помощью коэффициентов пересчета по формуле (4.16). В случае изотропного распределения рассеянная и отраженная радиация принимаются равными половине той, что поступает на горизонтальную поверхность. Суммарный приход солнечной радиации записывается в таком виде:

$$Q_{\text{В}} = S_{\text{В}} + \frac{D_{\Gamma}}{2} + \frac{R_{\Gamma}}{2}, \quad (4.18)$$

где D_{Γ} и R_{Γ} – рассеянная и отраженная радиация, поступающая на горизонтальную (земную) поверхность. Отраженная от земной поверхности радиация

$$\text{определяется по формуле } R_{\text{В}} = \frac{Q_{\Gamma} \cdot A_{\text{к}}}{2 \cdot 100}, \quad (4.19)$$

где Q_{Γ} – средняя многолетняя сумма суммарной радиации на горизонтальную поверхность, $A_{\text{к}}$ – среднее месячное значение альбедо (в процентах) земной поверхности участков, примыкающих к зданию.

При выборе альбедо следует принимать во внимание комплекс участков дворов (газоны, асфальтовые и бетонные дорожки, песок, кустарник, деревья и пр.) Среднее альбедо при таком сочетании участков принимается равным 20%. В период со снежным покровом можно использовать альбедо метеорологической площадки, но с учетом поправки на влияние городских условий (в городе альбедо ниже). Разница в альбедо в зимние и переходные месяцы составляет 15-20%

Известно, что допущение изотропного распределения диффузной радиации не всегда оправдывается, т.к. отражение от снега при наличии солнца не изотропно.

Однако если рассматривать не интенсивность, а суммы радиации (суточные или месячные) при средних условиях облачности, то ошибка из-за недоучета анизотропности отраженной радиации существенно уменьшается. При облачности 7 баллов в летний период наблюдается выравнивание среднего суточного хода рассеянной и отраженной радиации для вертикальных поверхностей любой ориентации и приближение распределения диффузной радиации к изотропному вполне оправдано.

Определение суммарного прихода на вертикальную поверхность по формуле (4.18) довольно трудоемко. Кроме того, на практике часто встречаются ситуации, когда имеются данные только по суммарной радиации без разделения ее на составляющие компоненты.

В этом случае расчет суммарной радиации на вертикальные поверхности производится следующим образом. В суммы суммарной радиации на горизонтальную поверхность вводится коэффициент, с помощью которого рассчитывается часть суммарной радиации - составляющая (S+D),

$$K_{Q'} = \frac{S_B + D_B}{S_r + D_r} = \frac{Q_B'}{Q_B} \quad (4.20)$$

где Q_B' - суммарная радиация на стены зданий.

В отличие от коэффициентов для прямой радиации коэффициенты для суммарной радиации мало изменяются с широтой и от месяца к месяцу.

Величина отраженной радиации, поступающей на вертикальную поверхность, добавляется в виде поправки, выраженной в процентах суммарной радиации Q_B' .

Величина поправок закономерно меняется с широтой, причем в зимние месяцы ее величины в разных климатических районах различны. Значения

коэффициентов K_Q и поправки к отраженной радиации опубликованы в [Пивоварова, 1973].

4.1.2.3 Тепловой эффект солнечной радиации, поступающей на стены зданий

Учет солнечной радиации, поступающей на стены зданий, позволяет более правильно подойти к оценке их теплового режима и микроклимата помещений.

В таблице 4.3 приведена температурная поправка за счет солнечной радиации, основанная на зависимости температуры наружной поверхности стены от поглощенной радиации (B_k) в теплый период года, когда поглощенная радиация является главным фактором, определяющим радиационный баланс.

$$\Delta_1 t = 0.04 B_k - 0.8, \quad (4.21)$$

$$\Delta_1 t = t_1 - t_2, \quad (4.22)$$

где t_1 – температура наружной поверхности стены с учетом солнечной радиации, t_2 – то же без учета солнечной радиации.

Таблица 4.2

Поглощенная стеной коротковолновая солнечная радиация (B_k) и поправка ($\Delta_1 t$) к температуре наружной поверхности стены за счет радиации.

B_k , МДж/м ² час	B_k , МДж/м ² мес	($\Delta_1 t$)	B_k , МДж/м ² час	B_k , МДж/м ² мес	($\Delta_1 t$)
	0	-0,6	0,36	260,0	2,5
0,08	54,5	0	0,41	297,0	3,0
0,23	92,2	0,5	0,47	335,0	3,5
0,19	134,1	1,0	0,52	377,0	4,0
0,24	176,0	1,5	0,57	411,0	4,5
0,30	218,0	2,0	0,63	452,5	5,0

Для перехода от температуры поверхности стены без учета радиации к наиболее часто употребляемой при теплотехнических расчетах характеристике – температуре наружного воздуха t_H – дается дополнительная поправка $\Delta_{II} t$

$$\Delta_{II} t = t_H - t_2. \quad (4.23)$$

Подставив значение t_2 из (4.23) в (4.22), получим:

$$t_1 = t_H + \Delta_1 t - \Delta_{II} t \quad (4.24)$$

Значения $\Delta_{\text{пт}}$ при различной температуре наружного воздуха приведены в таблице 4.3.

Таблица 4.3

Температура наружного воздуха $t_{\text{н}}$, температура наружной стены t_2 без учета радиации и поправка $\Delta_{\text{пт}}$

$t_{\text{н}}$	t_2	$\Delta_{\text{пт}}$	$t_{\text{н}}$	t_2	$\Delta_{\text{пт}}$	$t_{\text{н}}$	t_2	$\Delta_{\text{пт}}$
-50	-47,0	-3,0	-20	-18,0	-2,0	10	10,5	-0,5
-45	-42,0	-3,0	-15	-13,5	-1,5	15	15,2	-0,2
-40	-37,0	-3,0	-10	-8,5	-1,5	20	19,9	0,1
-35	-32,5	-2,5	-5	-4,0	-1,0	25	24,7	0,3
-30	-27,5	-2,5	0	1,5	-1,0	30	29,5	0,5
-25	-22,5	-2,5	5	5,5	-0,5			

Таким образом, с помощью таблиц 4.2 и 4.3 можно определить температуру наружной поверхности стены с учетом воздействия солнечной радиации. Для этого нужно знать количество суммарной радиации, поступающей на стену здания, альbedo стены и температуру воздуха.

Если рассматривать только дневное время, то средняя часовая сумма радиации будет выше примерно в 2 раза по сравнению с суммами, осредненными за сутки (осреднение за 24 часа принято в СНиП). Следовательно, можно предполагать, что и добавка к температуре стен за счет солнечной радиации увеличится, но, вероятно, не в такой пропорции, как радиация, если учесть тепловую инерцию здания и изменение в суточном ходе других метеорологических элементов. Еще большие различия будут при сравнении средних часовых за сутки сумм с суммами за отдельные часовые промежутки.

Необходимо отметить, что схема, по которой рассчитана температура поверхности стены, предусматривает средние суточные значения метеорологических и радиационных элементов и определенные стандартные характеристики здания. Поэтому применять приведенные зависимости B_k , Δ_{1t} и $\Delta_{\text{пт}}$ к любым случаям нестационарного процесса или резко отличным типам зданий нельзя.

Из оценки теплового эффекта солнечной радиации, поступающей на стены зданий, видно, что в условиях стационарного режима добавка к температуре стены невелика. Большее значение для повышения температуры внутри помещения имеет солнечная радиация, проникающая через светопроемы, величина которой учитывается в уравнениях теории стационарного теплового режима зданий отдельным членом [Пивоварова, 1973]

4.1.3 Методы оценки ветрового режима.

При организации жилой застройки необходимо обеспечить хорошую аэрацию строящегося города и каждой из его частей. От ветрового режима зависит ориентированность и раскрытость элементов застройки. В одних условиях климата наиболее приемлема так называемая свободная застройка, раскрытая в обе стороны. В такой застройке создаются условия для хорошего проветривания. В других случаях следует предпочесть замкнутые группы домов, застроенные по периметру. Иногда сильный ветер и частая пурга вынуждают формировать застройку в виде обтекаемых групп домов со сквозными продуваемыми пространствами между ними. Вновь строящееся здание должно вписываться в имеющуюся или планируемую застройку. Таким образом, задачей климатолога при посадке здания на местности и при принятии архитектурного решения, является представление не только климатологических данных о ветре на ближайшей метеостанции, но и характеристика трансформированного воздушного потока, обтекающего фрагмент застройки. Данная информация имеет вид двух роз ветров: повторяемости различных направлений ветра и средних скоростей ветра по направлениям.

Трансформация воздушного потока при обтекании им зданий различной формы исследовалась многими авторами. ГГО организовывало микроклиматические съемки в нескольких городах [Романова, 2000]. В результате были получены коэффициенты изменения скорости ветра в жилых массивах. В условиях свободной застройки без зеленых насаждений существенного (до 50-60%) снижения скорости ветра в среднем не наблюдается, и даже напротив, нередко отмечается ее увеличение. Максимальное увеличение скорости ветра создается на торцевых разрывах ($k=1,2 - 1,5$), где происходит сильное сужение воздушного потока. Направление ветра здесь или совпадает с основным или составляет с ним угол 90° . Первый случай наблюдается тогда, когда основной направлен вдоль разрыва (в Санкт-Петербурге при западных и восточных ветрах), второй – при направлении основного потока поперек разрыва (южные и северные ветры).

Заметное снижение скорости ветра ($k = 0,5—0,7$) имеет место лишь у торцов зданий, в области интенсивных завихрений. Направление ветра на углах зданий может быть любым, что типично вообще для вихревой зоны.

Ветровые характеристики вдоль фасадов зданий изменяются следующим образом.

При ветрах, перпендикулярных к фасаду здания, воздушный поток поворачивает примерно на 90° , т. е. ветер дует вдоль здания, причем скорости ветра практически не меняются, или несколько уменьшены. Наветренная и подветренная стороны фасада в этом случае по скорости ветра различаются

между собой очень мало, направления ветра обычно тоже совпадают, но иногда могут быть противоположными.

При ветрах, дующих вдоль фасада, скорости ветра несколько увеличены ($k = 1,1—1,2$), направление всегда совпадает с основным.

В центре свободной площадки среди зданий ветровые характеристики очень изменчивы. Направление ветра в центре застройки может совпадать с основным, отличаться от него на 90° и даже на 180° . Скорости ветра могут быть как меньше, так и больше, чем на контрольном пункте ($k = 0,8—1,2$).

Точки, расположенные в центре незамкнутого элемента застройки, характеризуются четко выраженными закономерностями. Если воздушный поток имеет свободный доступ на территорию, ограниченную зданиями, направление ветра здесь всегда совпадает с основным, скорости несколько увеличены ($k \sim 1,1$). Если же фасады здания являются препятствием для воздушного потока, то направление ветра в этих точках параллельно фасаду здания, или же составляет с ними угол не более 45° . Скорости ветра несколько больше ($k = 1,1—1,2$).

Наличие древесно-кустарниковой растительности вдоль фасада здания снижает скорость ветра на $25—35\%$ в торцевом разрыве. Совершенно очевидно, что под влиянием зеленых насаждений наблюдается улучшение микроклиматических условий в нижнем слое воздуха.

Ориентировочное расположение ветровых зон в застройке указано на схеме (рис.4.6).

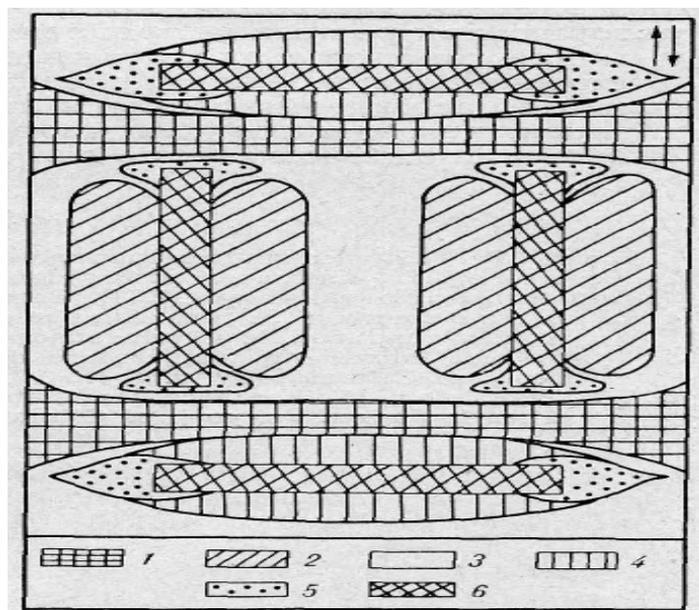


Рис. 4.6 Схема распределения ветровых зон

1 — большое усиление ветра, $k = 1,2 - 1,5$; 2—усиление ветра, $k = 1,1-1,2$; 3 — нормальные скорости, $k = 1,0$; 4 — небольшое ослабление, $k = 0,9-0,8$; 5 — большое ослабление, $k = 0,4-0,6$; 6—здания.

При отсутствии зеленых насаждений зона ослабленных скоростей ветра ($k = 0,5 — 0,9$) занимает всего около 20 % территории застройки, зона усиления ветра ($k = 1,2 — 1,5$) около 30 — 35%. Если же вдоль фасадов домов имеются древесно-кустарниковые насаждения, то практически большого усиления скорости в приземном слое в пределах рассматриваемого типа застройки не наблюдается, при этом зона ослабления ветра по площади не возрастает, но скорости значительно уменьшаются ($k < 0,5$).

Следует подчеркнуть, что размещение зеленых насаждений вдоль фасадов домов способствует уменьшению скоростей ветра на торцевых разрывах и в то же время не нарушает аэрацию территории застройки.

Наиболее удобным для практического использования является так называемый “фрагментарный” метод получения средних коэффициентов трансформации скорости и направления ветра в зависимости от геометрических параметров застройки [Серебровский, 1985]. Этот метод обобщает данные многочисленных экспериментальных исследований. По этому методу определяются коэффициенты трансформации скорости и направления ветра в застройке.

Среднее значение коэффициента трансформации под воздействием элементов застройки (τ) на территории фрагмента застройки различной формы дается в виде суммы некоторой усредненной величины и ряда поправок:

$$\tau = \mu + \sum \Delta_i \quad (4.25)$$

где $\mu=0.34$; Δ_i -поправки, зависящие от формы фрагмента, комбинации разрывов между торцами зданий, геометрического критерия, вариации формы, направления ветра и этажности застройки.

На рис. 4.7 показаны различные формы фрагментов в плане, а в таблице 4.4 даны соответствующие поправки на форму фрагментов.

Таблица 4.4

Поправка к коэффициенту трансформации (Δ_1) в зависимости от формы фрагмента.

№ фрагментов	Ф1	Ф2	Ф3	Ф4	Ф5	Ф6
Δ_1	0.034	-0.011	-0.050	-0.011	0.043	-0.006

Через разрывы в сплошной ленте застройки воздушный поток перетекает из одного фрагмента в другой. Интенсивность этого перетекания и, следовательно, аэрационный режим в последующем фрагменте в значительной степени зависят от ширины, расположения и числа разрывов. Разрывы, находящиеся сбоку по отношению к основному движению воздушного потока, оказывают ничтожно малое влияние на аэрационный режим пространства

внутри фрагмента. Поэтому такими разрывами можно пренебречь. Во всех других случаях разрывы вносят существенные изменения в значение коэффициента трансформации.

	γ_1	γ_2	γ_3
Φ_1			
Φ_2			
Φ_3			
Φ_4			
Φ_5			
Φ_6			

Рис. 4.7 Формы фрагментов в плане

Наименьшее влияние в этих случаях оказывают разрывы, расположенные с одной наветренной или подветренной стороны фрагмента - рис. 4,8, схема I. Разрывы, расположенные с двух противоположных сторон фрагмента, но не в створе друг с другом - рис. 4,8, схема III, также влияют не сильно. Наибольшее изменение аэрационного режима оказывают разрывы, расположенные на противоположных сторонах фрагмента в створе друг с другом - рис. 4,8, схема II.

В таблице 4.5 приведены значения поправок, учитывающие разрывы.

Таблица 4.5

Поправка к коэффициенту трансформации (Δ_2) в зависимости от разрывов и угла между направлением ветра.

№ схемы разрывов	I		II			III			
	прямоугольные	остальные	прямоугольные	остальные	прямоугольные	остальные	остальные		
α^0	90	45	90,45,0	90	45	90,45,0	90	45	90,45,0
Δ_2	0,03	0,05	-0,038	0,08	0,22	0,002	0,12	0,38	0,035

Каждая форма фрагмента может в большей или меньшей степени деформирована, т.е. втянута в плане или сжата (рис.4.7). Эти особенности фрагментов, влияющие на трансформацию воздушного потока учитываются введением поправок на деформацию фрагмента Δ_3 и Δ_4 .

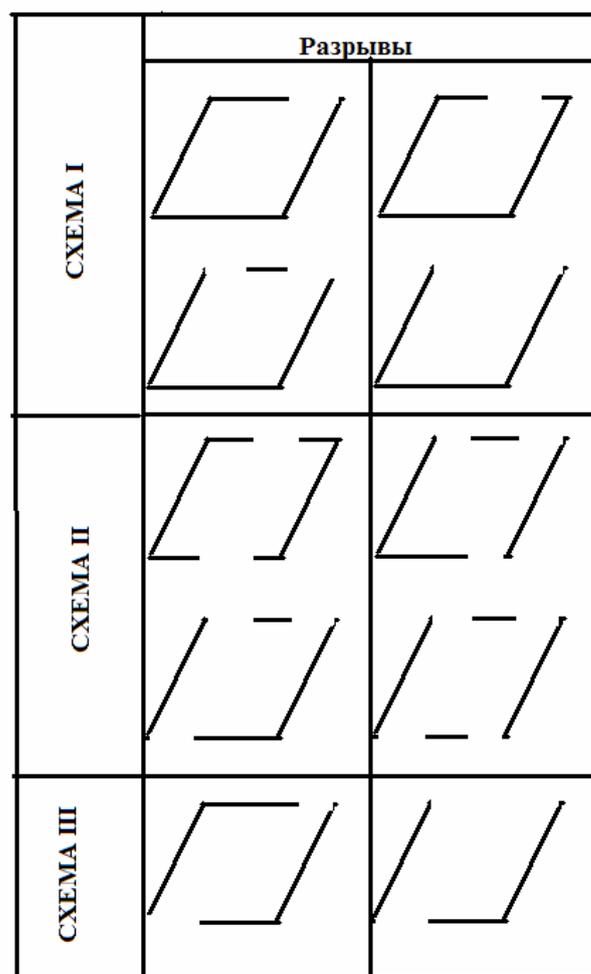


Рис. 4.8 Комбинации разрывов

Поправка Δ_3 зависит от геометрического критерия $Z = \frac{P}{\sqrt{F}}$, где P -полупериметр, F -площадь фрагмента. Поправка Δ_4 зависит от отношения $\frac{L}{S}$, где L -размер фрагмента вдоль направления потока, S -размер в перпендикулярном ему направлении.

В таблице 4.6 приведены значения поправок Δ_3 и Δ_4 на “вытянутость” или “сжатость” фрагмента.

Таблица 4.6

Поправки к коэффициенту трансформации (Δ_3 и Δ_4) на “вытянутость” или “сжатость” фрагмента.

Z	2	2.05	2.1	L/S	<1	1	>1
Δ_3	0.029	-0.044	0.014	Δ_4	-0.039	0.04	-0.001

Направление воздушного потока учитывается с помощью поправки Δ_5 (табл. 4.7).

Таблица 4.7

Поправка к коэффициенту трансформации (Δ_5) на направление воздушного потока

α	90^0	45^0	0^0
Δ_5	-0.02	0.11	-0.091

На аэрационный режим оказывают влияние здания повышенной этажности. Здание, высота которого в полтора раза больше остальных зданий фрагмента застройки, является зданием повышенной этажности. Включение таких зданий в фрагмент застройки, вносящее существенные возмущения в воздушный поток, учитывается с помощью поправки Δ_6 . На рис.4.9 показаны варианты размещения зданий повышенной этажности в фрагменте застройки.

В табл. 4.8 приведены соответствующие поправки.

Таблица 4.8

Поправка к коэффициенту трансформации (Δ_6) на включение зданий повышенной этажности.

№ схем	I	II	III
Δ_6	0.183	-0.108	0.018

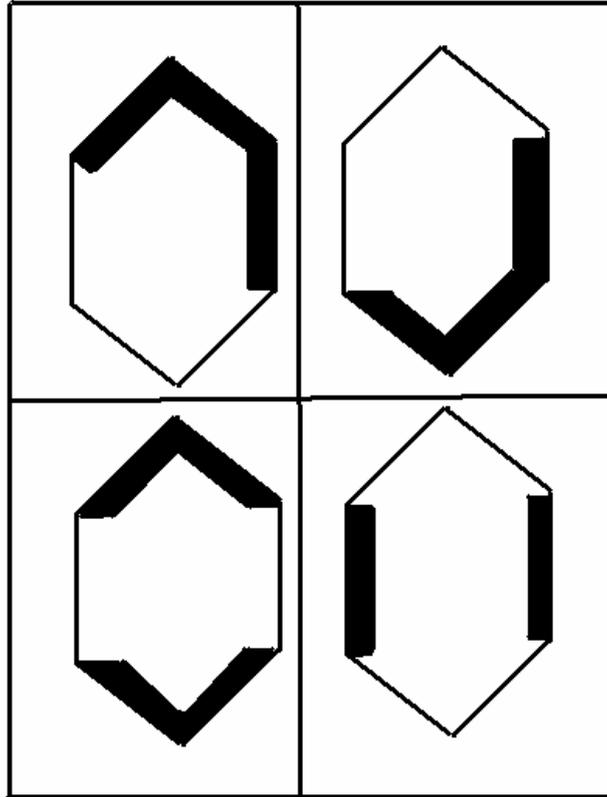


Рис. 4.9 Расположение зданий повышенной этажности

Для прямоугольных фрагментов застройки коэффициент трансформации рассчитывается в зависимости от направления воздушного потока по формулам (4.26) и (4.27):

$$\tau_{\text{ср}}(0^\circ, 90^\circ) = 0,01 \cdot Z_{0,90}^{1,32} + 0,19 \quad (4.26)$$

$$\text{где } Z_{0,90} = \frac{L_{\text{ср}}}{S_{\text{ср}}^{0,25}}$$

$$\tau_{1,\text{ср}}(45^\circ) = 0,02 \cdot Z_{45}^2 + 0,19 \quad (4.27)$$

$$\text{где } Z_{45} = (L_{\text{ср}} \cdot S_{\text{ср}})^{0,5} / S_{\text{ср}}^{0,25} \cdot L_{\text{ср}}^{0,25}$$

Здесь $L_{\text{ср}}$ и $S_{\text{ср}}$ равны соответственно L/H и S/H , где H - высота здания, L - длина здания, S - ширина здания.

В формулы (4.26) и (4.27) вводятся поправки $\Delta 2$ и $\Delta 6$.

После построения розы ветров следует оценить влияние проектируемого здания на ветровой режим в его окрестности. Хорошо известна схема обте-

кания воздушным потоком отдельно стоящего здания линейного типа. Перед зданием поток постепенно затормаживается, здесь образуется медленно вращающийся вихрь, имеющий винтообразное течение. Оно расходится от середины здания к его торцам. За зданием находится зона затишья.

4.1.4 Климатические характеристики “косых дождей”

На различных этапах проектирования (посадки здания, принятия архитектурно-планировочного решения), а затем и при конкретном проектировании во многих районах совершенно необходим совместный учёт дождей и ветров (“косых дождей”).

Климатические характеристики “косых дождей” используются для:

- разработки мероприятий по защите зданий от воздействия “косых дождей”, имеющих целью предотвращение преждевременного разрушения конструкций, отделки зданий и помещений, а также создание наиболее благоприятного режима в помещениях путём исключения переувлажнения, промокания и протекания ограждающих конструкций и их стыков;

- выбора стыков крупнопанельных наветренных стен зданий с помощью дождевания их в специальных камерах, режим которых определяется климатическими условиями.

На метеорологических станциях измерения “косых дождей” не ведутся, а экспериментальных исследований проведено очень мало, ввиду их трудоёмкости и высокой стоимости. В связи с этим используются аналитические методы определения параметров “косых дождей”, опирающиеся на информацию о синхронных наблюдениях за осадками и ветром.

Климатическими параметрами косых дождей, характеристики которых используются для указанных выше целей, служат:

- среднее и максимальное количество косого дождя за один дождь - $H_{в}$, $H_{вmax}$, мм;

- средняя и максимальная интенсивность косого дождя в течение одного дождя, мм/мин $I_{в}$, $I_{вmax}$;

- средняя и максимальная продолжительность косого дождя $T_{в}$, $T_{вmax}$, мин;

- средняя и максимальная скорость ветра при дожде $U_{в}$, $U_{вmax}$, м/с;

- среднее количество косого дождя по направлениям ветра (роза косых дождей), мм;

- расчётный угол траектории падения дождя (дождевых капель), соответствующий повторяемости максимального дождя, возможного один раз в 20 лет γ ;

- комплекс параметров совместного трёхмерного распределения количества H мм, интенсивности I мм/мин, продолжительности T мин осадков, выпадающих на поверхность стены и скорости ветра U м/сек при дожде.

При небольшом количестве косо дождя ($H_v < 50$ мм) специальные меры дождезащиты не планируются, достаточными являются обычно предусматриваемые средства защиты.

При $50 \leq H_v < 80$ мм целесообразно предусматривать для полносборных зданий дождезащитные устройства в межпанельных стыках, герметизирующие и гидроизоляционные материалы.

При $80 \leq H_v < 100$ мм обычно предусматриваются водоотводящие устройства, такие как развитые карнизы, балконы с большими выносами, открытые межпанельные стыки и т.п.

При особо интенсивных косых дождях $H_v \geq 100$ мм следует предусматривать мероприятия, обеспечивающие высыхание конструкций, например, стены с вентилируемыми воздушными прослойками, продуваемые подполья и т.п.

Важно знать при каких направлениях ветра могут происходить протечки. Это также учитывается при разработке дождезащитных мероприятий и, прежде всего, при выборе ориентации здания по странам света.

Расчётный угол наклона траектории падения дождевых капель γ , входит в расчёт выноса горизонтальных L , м и вертикальных M , м козырьков. Расчёт выноса козырьков выполняется по формулам:

для горизонтальных козырьков

$$L = Vtg\gamma \times \cos(Q - Q_0) \times k \quad (4.28),$$

для вертикальных козырьков

$$M = Vctg(Q - Q_0) \times \sin \gamma \times k \quad (4.29)$$

где V – высота этажа в м,

Q – ориентация стены по странам света,

Q_0 – направление дождевого потока по отношению к защищаемой стене,

k – коэффициент изменения скорости ветра по высоте здания.

Если выносы горизонтальных козырьков получаются слишком большими, на балконах устанавливают дополнительные вертикальные свесы, размер которых также зависит от угла γ .

Стены зданий не могут иметь балконы на всех фасадах. Поэтому в тех случаях, когда крупнопанельные стены не имеют экранов, но ориентированы на ту стену, с которой ожидаются интенсивные воздействия косых дождей, разрабатываются специальные профили, препятствующие протеканию воды

внутри конструкций (открытые или дренирующие стыки). В горизонтальных стыках устанавливаются противодождевые гребни, а в вертикальных - декомпенсированные полости. В расчёты высоты гребня и размеров полости также входят характеристики косых дождей, главным образом скоростной напор ветра при дожде в $\text{кг}\cdot\text{с}/\text{м}^2$. Последняя характеристика ветра отсутствует в СНиП, где она заменена просто нормативным скоростным напором. Показано, что при этом проектируется заниженная высота гребней, и противодождевые устройства плохо предохраняют стену от дождя. В результате наносится значительный ущерб зданию.

Более подробная климатическая информация о косых дождях необходима при организации экспериментальных исследований влияния косого дождя на выбор конструкции стыков. Эти исследования проводятся в дождевой камере, в которой должны быть воспроизведены все неблагоприятные (экстремальные) для данной конструкции значения параметров, воздействия которых можно ожидать в рассматриваемом районе строительства.

Интенсивность осадков связана с их количеством и продолжительностью выпадения, поэтому можно рассматривать лишь три параметра. Зная трёхмерное распределение H , T и U , можно определить квантили заданной вероятности сочетаний этих величин. Т.к. в каждом из этих сочетаний одна величина должна входить со своим максимальным значением, формулы вероятности данных сочетаний имеют вид :

$$P(H_b, T, U) = P(H_{b\max}) \cdot P(T/H_{b\max}) \cdot P(U/H_{b\max}) \quad (4.30),$$

$$P(T, H_b, U) = P(T_{\max}) \cdot P(H_b/T_{\max}) \cdot P(U/T_{\max}) \quad (4.31),$$

$$P(U, H_b, T) = P(U_{\max}) \cdot P(H_b/U_{\max}) \cdot P(T/U_{\max}) \quad (4.32).$$

В этих формулах $P(H_{b\max})$, $P(T_{\max})$ и $P(U_{\max})$ – это вероятности превышения заданных значений H_{\max} , T_{\max} , U_{\max} . Они являются интегральными вероятностями одномерных распределений H_b , T , U и принимаются равными 5%. Вторые и третьи составляющие являются условными вероятностями и определяются по соответствующим условным распределениям с условной вероятностью близкой к 1%.

Все перечисленные комплексные характеристики вычисляются для конкретно ориентированной стены. Для каждой другой стены необходимо проводить снова аналитические расчёты.

Стыки имеют различные гидравлические схемы в зависимости от режима проникновения в них дождевых вод (режим фильтрации или капиллярного всасывания). При каждой схеме могут быть различные конструктивные решения, отличающиеся как принципами обеспечения ветрозащиты, так и па-

раметрами воздействия дождя с ветром. Для конструкции стыков, в которых имеет место режим фильтрации, решающим фактором при проникновении атмосферной влаги в стык является скорость ветра. Это значит, что в районах с сильным ветром такие конструкции стыков неприменимы. Для конструкции стыков, выполненных из пористого капиллярного материала, где имеет место режим капиллярного всасывания, решающим параметром при просачивании атмосферной влаги является продолжительность дождя. Там, где наблюдаются такие дожди, надо использовать другие стыки.

Таким образом, гидравлические схемы стыков во многом определяются комплексом климатических параметров: количеством (H_v , мм); интенсивностью (I , мм/мин); продолжительностью (T , мин) выпадения осадков на поверхность стены, где расположен стык, а также направлением и скоростью движения дождевых капель. Горизонтальная составляющая скорости движения капель полагается равной скорости ветра U м/с, а вертикальная является функцией от интенсивности выпадения осадков I .

В данном комплексе параметров не все из них равнозначны. Иногда максимальное воздействие оказывает ветер, иногда продолжительность дождя, а иногда его количество и интенсивность.

Основные сочетания расчётных значений параметров могут быть представлены следующей таблицей:

Таблица 4.9

Значение параметров

Основные сочетания	H_v мм	I мм/мин	U м/с	T мин
<i>A</i>	H_{vmax}	IA	UA	TA
<i>B</i>	H_vB	I_{max}	UB	TB
<i>C</i>	H_vC	IC	U_{max}	TC
<i>D</i>	H_vD	ID	UD	T_{max}

Здесь индексами *A*, *B*, *C*, *D* обозначены сочетания и значения параметров, соответствующих значениям H_{vmax} , I_{max} , U_{max} и T_{max} .

Составление трёхмерных распределений для стен различной ориентации также как и определение расчётного угла падения капель представляет собой довольно сложную задачу. Поэтому при возникновении подобной задачи следует обращаться в ГГО. Специалисты-климатологи представят программу расчёта, либо дадут консультацию по её составлению.

Рассмотрим методику расчёта основных характеристик косоугольного дождя, попадающего на стену определенной ориентации.

Среднее и максимальное количество осадков по каждому из 8 направлений ветра рассчитывается по характеристикам “косого” дождя за каждый дождь.

Количество осадков на вертикальную стену за 1 дождь определяется по следующим формулам [Богданова, 1982]:

$$H_v = H \cdot U_d / U_0, \quad (4.33)$$

где H - количество осадков, выпадающих на горизонтальную поверхность за 1 дождь, мм; U_d – средняя скорость ветра при дожде, м/с; U_0 – скорость падения капель, м/с.

U_0 зависит от величины интенсивности дождя (I). В лаборатории Норвежского научно-исследовательского института по строительству на основе экспериментальных данных скорость падения капель определялась по формуле:

$$U_0 = 4,5 \cdot I^{0.107}, \quad (4.34)$$

где I – интенсивность дождя, мм/мин.

Значения H и I для каждого дождя следует выбирать из таблицы ТМ-14, а U_d – из таблицы ТМ-1.

Отнесение дождя к определенному направлению ветра производится по следующей схеме:

- ⇒ если направление ветра колеблется равномерно около одного из трёх румбов в течение примерно одинаковых промежутков времени, за основное принимается промежуточное направление;
- ⇒ если направление ветра колеблется между двумя румбами, за основное принимается направление ветра большей продолжительности;
- ⇒ если направление ветра колеблется между двумя румбами с равной продолжительностью, за основное принимается направление ветра, имеющего большую скорость.

Если скорость ветра во время дождя из-за отсутствия данных определить невозможно, то в формулу (4.33) нужно подставить скорость ветра в ближайший к дождю срок.

Для определения углов α , β , θ рассмотрим рис.4.10. Он иллюстрирует случай, когда стена здания, для которой определяется косой дождь, является наветренной.

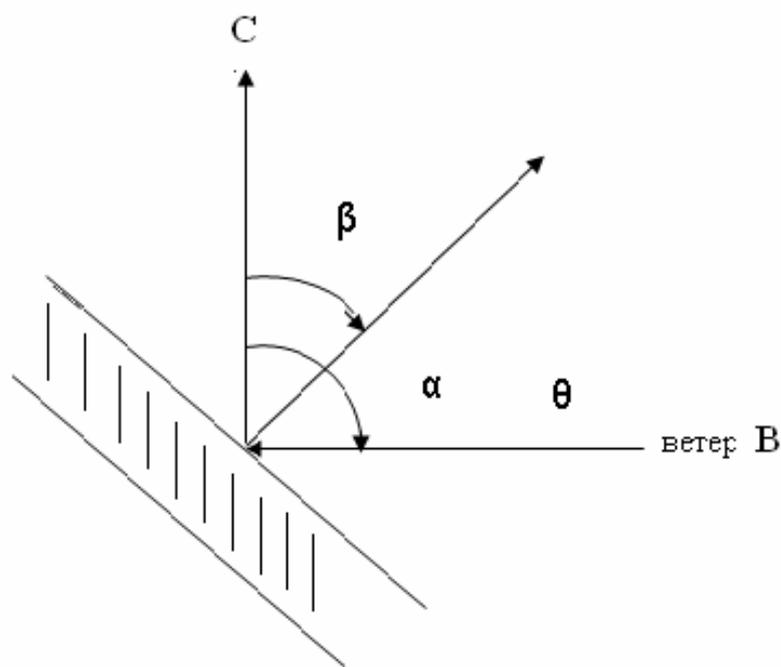


Рис.4.10. Иллюстрация к определению углов «косого дождя»

α - направление ветра (отсчитывается от С по часовой стрелке).

В данном примере ветер восточный, $\alpha = 90^\circ$

β - угол между нормалью к стене и направлением на север (отсчитывается от С по часовой стрелке)

θ - угол между нормалью к стене и направлением ветра $\theta = \alpha - \beta$

Очевидно, что знак θ не имеет значения, т.к. $\text{Cos}(-\theta) = \text{Cos} \theta$

Углы α и β удобно задавать в градусах. Метеорологические румбы связаны с градусами следующим образом:

С – 0° ; СВ – 45° ; В – 90° ; ЮВ – 135° ; Ю – 180° ; ЮЗ – 225° ; З – 270° ; СЗ – 315° .

Ясно, что дождь может попадать только на наветренные стены зданий. Поэтому, если $\theta \geq 90^\circ$, стена здания является подветренной, и учёт косого дождя может не производиться.

Среднее месячное количество осадков, выпадающих на вертикальные поверхности заданной ориентации, рассчитывается по формуле:

$$\bar{H}_B = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \sum_{B=1}^n H_B \text{Cos} \theta, \quad (4.35)$$

где θ - угол между средним направлением ветра и нормалью к рассматриваемой стене; n – число дождей в данном месяце; N - число лет.

Максимальное количество осадков, выпадающих на вертикальную поверхность, $H_{в макс.}$, выбирается из ряда $H_{в}$ за рассматриваемый период.

Годовое количество осадков, выпадающее на стену K - ой ориентации определяется по формуле:

$$\bar{H}_{в_k} = \frac{\sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^n H_{в_{ij}} \cos(\alpha - \beta_k)}{N}, \quad (4.36)$$

где n – число дождей в данном месяце, N – число лет, α – направление ветра, β_k – ориентация стены, $H_{в_k}$ – количество осадков на вертикальную стену за один дождь.

Расчёт количества осадков, попадающих на стену заданной ориентации, рассмотрим на конкретном примере (рис. 4.11).

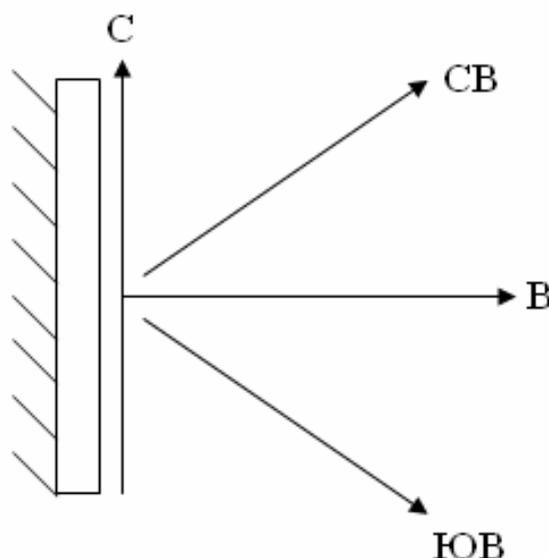


Рис.4.11 Иллюстрация к расчету количества осадков

Пусть стена ориентирована на восток. В этом случае на неё будут попадать осадки при ветрах СВ, В, ЮВ направлений. Следовательно, для каждого из этих направлений нужно рассчитать $\bar{H}_{в}$, по формуле (4.36).

Так, например, для СВ ветра мы получим в данном примере:

$$\bar{H}_{B_k} = \frac{\sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^n H_{B_{ij}(CB)} \cos(45 - 90)}{N} \approx 0.71 \frac{\sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^n H_{B_{ij}(Cj)}}{N}, \quad (4.37)$$

для В ветра:

$$\bar{H}_{B_k} = \frac{\sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^n H_{B_{ij}(Bj)}}{N}, \quad (4.38)$$

для ЮВ ветра:

$$\bar{H}_{B_k} = 0.71 \frac{\sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^n H_{B_{ij}(Oj)}}{N}, \quad (4.39)$$

Для того чтобы получить общее количество осадков, попадающих на стену заданной ориентации за конкретный месяц, надо сложить 3 значения количества осадков, рассчитанных для трёх направлений ветра, для которых данная стена является наветренной [Акентьева, 2004].

Надо отметить, что количество «косого дождя», попадающего на стену «неблагоприятной» ориентации обычно в несколько раз превышает суммы осадков на другие стены.

При невозможности проведения указанной обработки (недостаток времени, отсутствие первичного материала) возможен косвенный способ расчёта месячного количества “косого дождя” в данном районе без учета направления ветра и ориентации стены. Однако при этом следует помнить о приближённости получаемых характеристик.

Для расчётов этим способом используются следующие многолетние климатические данные за тёплый период года:

- месячное количество осадков - Н
- средняя продолжительность осадков за месяц - τ
- средняя месячная скорость ветра -U

Скорость ветра при дожде определяется по формуле:

$$U_d = U \cdot g$$

Значения g определяется по таблице 4.11.

Таблица 4.10

Зависимость коэффициента g от числа дней с дождём за месяц (n)

n	1-5	6-10	11-15	16-20	21-25	26-30
g	1.39	1.22	1.18	1.13	1.12	1.11

Тогда формулу (4.33) для средних многолетних данных с учётом соотношения (4.34) можно записать так:

$$\bar{H}_B = \frac{H \cdot g \cdot U}{4,5 \left(\frac{H}{\tau} \right)^{0,107}} \quad (4.40)$$

В формуле (4.40) пренебрегаем связностью H , U и τ .

Максимальное месячное количество осадков, попадающих на вертикальные стены, определяется по формуле Максвелла, связывающей среднее значение распределения с его максимумами различной вероятности:

$$H_{max} = K_p \cdot H_B \quad (4.41)$$

где K_p в соответствии с распределением Максвелла для $P = 0,95$ равно 1,8.

4.2 Конкретное проектирование.

Здание, независимо от назначения, по своей структуре представляет собой совокупность различных конструктивных элементов, взаимосвязанных между собой в определенном порядке, обеспечивающем прочность, устойчивость и долговечность как всей конструктивной системы в целом, так и ее отдельных элементов. Конструктивные элементы и сопряжение их между собой, т. е. конструктивные узлы, проектируются в соответствии с направлением внешних силовых и не силовых воздействий, величиной напряжений и других физических процессов, возникающих в конструкции.

Конструктивные элементы того или иного назначения в течение всего периода эксплуатации здания подвергаются различным видам внешних воздействий, которым они должны противостоять, сохраняя прочностные, изоляционные и другие эксплуатационные качества в соответствии с установленным сроком службы. При этом конструктивные решения должны удовлетворять требованиям индустриальности и экономической целесообразности.

На этапе проектирования здания возникает необходимость учитывать всю совокупность воздействий, вытекающих из природно-климатических условий, которым оно будет подвергаться.

Так могут произойти упругие и выходящие за пределы упругости деформации, перемещения, осадки, усадки, разбухание, периодическое или единовременное раскрытие швов в стыках, образование трещин. Могут происходить накопление влаги, различные структурные изменения, понижающие

изоляционные качества ограждения, могут интенсивно развиваться коррозия, меняться свойства материала, сокращать, тем самым, сроки службы и ухудшать эксплуатационные качества зданий.

При разных сочетаниях воздействий, последствия, накладываясь одно на другое, могут способствовать созданию более благоприятных условий или, наоборот, резко их ухудшать. Выявить все последствия, обусловленные основными видами климатических воздействий, с учетом вероятности их возникновения, повторяемости и совпадения - основная задача конкретного проектирования.

4.2.1 Тепловой режим зданий.

Тепловой режим зданий – это совокупность всех процессов, определяющих тепловое состояние его помещений. Помещения здания находятся под сложным воздействием внешних и внутренних факторов. Поступающие через наружные ограждения потоки теплоты и влаги воздуха, являются возмущающими воздействиями. Регулирующие потоки от системы отопления (О), охлаждения (ОХ), вентиляции (В) и кондиционирования воздуха (КВ) обеспечивают в помещениях необходимые температурные, аэродинамические и влажностные условия.

4.2.1.1 Теплозащита зданий (ограждающие конструкции)

Рациональный выбор параметров ограждающих конструкций зданий, обеспечивает, с одной стороны, создание комфортных условий внутри помещений, а с другой – энергосбережение ресурсов на поддержание необходимых параметров микроклимата их внутренних объемов, а также при производстве строительных материалов и изделий.

В расчетах теплозащиты зданий участвуют следующие специализированные климатические параметры:

Для холодного периода:

- ≡ температура воздуха наиболее холодных суток и наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 92 и 98%;
- ≡ абсолютная минимальная температура воздуха;
- ≡ средняя сумма градусодней отопительного периода;
- ≡ средняя продолжительность отопительного периода;
- ≡ средняя температура воздуха отопительного периода;
- ≡ средняя и максимальная суточная амплитуда температуры воздуха;

- ≡ средние и квантили сумм суммарной солнечной радиации при ясном небе по часовым интервалам и за сутки на вертикальную поверхность различной ориентации (южной, юго-восточной, юго-западной, западной);
- ≡ квантиль (80%) условного распределения скорости ветра при нормативных значениях температуры воздуха;

Для теплого периода

- ≡ температура воздуха наиболее жарких суток и наиболее жаркой пятидневки обеспеченностью 92 и 98%;
- ≡ абсолютный максимум температуры воздуха;
- ≡ продолжительность периода охлаждения (конденсации);
- ≡ средняя сумма градусодней периода охлаждения;
- ≡ средняя и максимальная суточная амплитуда температуры воздуха;
- ≡ средние и квантили сумм суммарной солнечной радиации при ясном небе по часовым интервалам и за сутки на вертикальную поверхность различной ориентации (южной, юго-восточной, юго-западной, восточной);
- ≡ минимальная из скоростей ветра по румбам за июль, повторяемость которой составляет 16% и более.
- ≡ средняя упругость водяного пара для теплого периода.

Перечисленные параметры содержатся в действующих главах СНиП “Строительная климатология” и “Отопление, вентиляция и кондиционирование”.

Наряду с температурой наиболее холодных и жарких суток и пятидневок, представленных в главе СНиП “Строительная климатология”, можно использовать близкие к ним альтернативные параметры экстремальных температур, помещенных в 7 части “Научно-прикладного справочника по климату СССР”. Это квантили различной обеспеченности распределения “срочных” значений температуры воздуха. Для холодного периода года определяются квантили обеспеченностью 99,9 и 99,5%, а для теплого - 99 и 98% квантили.

Ранжирование ряда “срочных” температур в холодное и теплое время года производится по разному. В холодный период года первым членом ряда служит самая высокая температура воздуха, которая имеет наименьшую суммарную вероятность. Следовательно указанная обеспеченность относится к значениям температуры воздуха меньшим и равным заданной. Например, пусть 99,9% квантиль температуры воздуха равна -15°C . Это значит, что в 99,9% всех случаев температура воздуха выше -15°C или равна ей. Более низкие температуры имеют вероятность меньше 0,1%.

Для теплого времени года ранжирование проводится в обратном порядке: первый член ряда - самая низкая температура воздуха. То есть в 99 и 98% случаев “срочные” температуры воздуха будут ниже квантили. Следует иметь в виду, что в холодный период 99,9%-ой квантили температуры воздуха соответствует приблизительно температуре воздуха наиболее холодных суток и заменяет ее в расчетах, а 99,5% квантили соответствует температура воздуха наиболее холодной пятидневки и также могут служить заменой ей.

Помимо перечисленных параметров для расчета теплопотерь ограждением или сопротивления теплопередаче (ограждающих конструкций), необходимо знать целый ряд параметров зданий, которые будут обозначены при описании методики таких расчетов.

Количество тепла, теряемого ограждением здания в час определяется по формуле:

$$Q = \alpha \cdot F (t_v - t_n) \quad (4.42)$$

α - коэффициент теплопередачи ограждения в ккал/м²·ч·град;

F - поверхность ограждения в м²;

t_v - температура воздуха в здании, °С

t_n - расчетная температура наружного воздуха, °С

К теплопотерям, рассчитываемым по данным формулам, согласно СНиП “Строительная теплотехника” вводится ряд поправок на поступление солнечной радиации, воздействие ветра и др.

Сопротивление теплопередаче ограждения R_0 (м²·ч·град/ ккал) или (м²·ч·град/ МДж) есть величина обратная коэффициенту теплопередачи, т.е. $R_0 = 1/\alpha$.

Величина R_0 определяется по формуле:

$$R_0 = R_v + \sum R + R_n \quad (4.43)$$

где R_v и R_n - сопротивление тепловосприятию внутренней и теплопередаче наружной поверхности ограждения;

$\sum R$ - сумма термических сопротивлений всех слоев ограждения, включая воздушные прослойки.

Термическое сопротивление слоя материала в ограждении определяется по формуле:

$$R = \frac{\delta}{\lambda} \quad (4.44)$$

где δ - толщина слоя, м (толщина однослойной стены);

λ - коэффициент, определяемый по таблице СНиП «Строительная теплотехника».

Формулу (4.43) можно записать в виде:

$$R_0 = \frac{1}{\alpha_a} + \sum R + \frac{1}{\alpha_f} \quad (4.45)$$

где α_a - коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции;

α_f - коэффициент теплоотдачи для зимних условий наружной поверхности ограждающей конструкции.

Эти коэффициенты определяются по таблице СНиП «Строительная теплотехника».

Согласно СНиП наружные ограждающие конструкции отапливаемых зданий должны иметь сопротивление теплопередаче не менее определяемого по формуле

$$R_0^{mp} = \frac{n(t_b - t_n)}{\Delta t \alpha_b} \cdot b \quad (4.46)$$

где t_a - расчетная температура внутреннего воздуха, °С, принимаемая по ГОСТ 12.1.005-76 и нормам проектирования соответствующих зданий и сооружений (обычно ее принимают равной 18 или 20°С);

t_a - расчетная зимняя температура воздуха (температура наиболее холодной пятидневки суток или абсолютный минимум в зависимости от назначения зданий с учетом тепловой инерции D.

$n, \Delta t, b$ - нормативные параметры зданий, принимаемые по таблице СНиП «Строительная теплотехника».

n - коэффициент, зависящий от положения наружной поверхности ограждающей конструкции (наружные стены - $n = 1$, чердачные перекрытия - $n = 0,9$ и т.д.);

b - коэффициент, зависящий от качества и веса теплоизоляции;

Δt - нормативный температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции.

Тепловая инерция ограждения D определяется по формуле:

$$D = R_1 S_1 + R_2 S_2 + \dots + R_N S_N \quad (4.47)$$

где R_1, R_2, \dots, R_N - термические сопротивления отдельных слоев, S_1, S_2, \dots, S_N - расчетные коэффициенты теплоусвоения, принимаемые по таблице СНиП «Строительная теплотехника».

Сравнивая требуемое сопротивление с сопротивлением, полученным для ограждения из определенных материалов, определяют пригодность выбранного ограждения.

Пример. Выбирается панель стены дома серии МГ-300, состоящая из 5 следующих слоев: 1 и 4 фактурные слои из тяжелого армированного бетона, 2 - из фибромета цементного, 3 - минераловатные плиты на фенольной связке, 5 - керамическая облицовка. Толщина слоев 85,75,50,36 и 4 мм соответственно. Тогда термическое сопротивление ограждения будет:

Сопротивление слоев:

$$1\text{-ого: } R_1 = 0.085/1.4 = 0.061$$

$$2\text{-ого: } R_2 = 0.075/0.13 = 0.577$$

$$3\text{-его: } R_3 = 0.05/0.06 = 0.833$$

$$4\text{-ого: } R_4 = 0.036/1.4 = 0.026$$

$$5\text{-ого: } R_5 = 0.04/0.7 = 0.006$$

Сопротивление теплопроводности $R_w = 0,133$;

Сопротивление теплопередачи $R_n = 0,05$.

Для всей панели $R_0 = 1,686 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{град} / \text{ккал} = 0,403 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{град} / \text{МДж}$.

Коэффициенты сопротивления теплопередачи и теплоотдачи, а также коэффициенты теплопроводности различных материалов определяются по таблицам, содержащимся в «Справочнике инженера строителя», том 1 или в главе СНиП «Строительная теплотехника».

Определим величину характеристики тепловой инерции D выбранной панели:

$$\text{железобетонный слой: } R_1 S_1 = 0.061 \cdot 13.4 = 0.82$$

$$\text{фибромет цементный: } R_2 S_2 = 0.577 \cdot 2.44 = 1.41$$

$$\text{минераловатная плита: } R_3 S_3 = 0.833 \cdot 0.75 = 0.62$$

$$\text{железобетонный слой: } R_4 S_4 = 0.026 \cdot 13.4 = 0.35$$

$$\text{керамическая облицовка: } R_5 S_5 = 0.006 \cdot 8.3 = 0.05$$

$$D = 3.25$$

При значениях D от 0 до 4 ограждение считается легким, при D от 4,1 до 7 - средней массивности, при $D > 7,1$ - массивными.

По формуле (4.46) рассчитываем R_0^{mp} , например, для Екатеринбурга. Так как выбранная в примере стена легкая ($D < 4$), то в качестве t_n принимаем температуру наиболее холодной пятидневки, которая для Екатеринбурга равна -37°C . Для жилого дома $\Delta t^n = 6^\circ\text{C}$ и $n = 1$, для минеральных плит $b = 1,2$.

$$R_0^{mp} = \frac{1 \cdot (20 + 37) \cdot 1,2}{6} \cdot 0,133 = 1,52 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{град} / \text{ккал} =$$

$$= 0,363 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{град} / \text{МДж}$$

Так как $R_0 > R_0^{mp}$ рассматриваемая панель пригодна для жилого здания в Екатеринбурге.

Приведенный пример демонстрирует расчет ограждения в самом общем виде. Стремление к энергосбережению заставляет рассчитывать экономически целесообразное сопротивление теплоизоляционного слоя, $R_{ym}^{эк}$. В этом случае $R_{ym}^{эк}$ добавляется в формулу (4.45). Рассчитывается $R_{ym}^{эк}$ по формуле:

$$R_{ym}^{эк} = \sqrt{\frac{n_{ym} (t_в - t_{он}) \cdot z_{он} \cdot m \cdot c_{\tau} \cdot l_{\tau}}{\lambda_{ym} \cdot c_{ym} \cdot E_{ин}}} \quad (4.48)$$

где:

$$n_{ym} = 0,85$$

$t_{он}$, $z_{он}$ - средняя температура воздуха и продолжительность отопительного периода соответственно;

c_{τ} и l_{τ} - стоимость тепловой энергии, руб/МДж и коэффициент, учитывающий ее изменение на перспективу (определяются по таблицам СНиП «Строительная теплотехника»;

λ_{ym} - расчетный коэффициент теплопроводности теплоизоляционного слоя;

c_{ym} - стоимость материала теплоизоляционного слоя;

$$E_{ин} = 0,08$$

В этом случае величина теплоизоляционного слоя определяется по формуле:

$$\delta_{ym} = R_{ym}^{эк} \lambda_{ym} \quad (4.49)$$

Экономически целесообразное сопротивление теплопередаче $R_o^{эк}$ ($\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{град} / \text{МДж}$) ограждающей конструкции следует принимать исходя из условия обеспечения наименьших приведенных затрат, П., руб/м², определяемых расчетом для вариантов ограждающих конструкций с различным сопротивлением теплопередаче R_o по формуле:

$$\Pi = C_{\text{д}} + \frac{(t_{\text{в}} - t_{\text{оп}}) \cdot z_{\text{оп}} \cdot m \cdot c_{\tau} \cdot l_{\tau}}{R_{\text{о}} \cdot E_{\text{нп}}} \quad (4.50)$$

где $C_{\text{д}}$ - единовременные затраты (себестоимость строительно-монтажных работ, руб/м²), определяется по действующим для конкретного района нормативам для расчета сметной стоимости строительства.

В настоящее время Департамент строительства, в связи с необходимостью энергосбережения, должен следовать новым требованиям к теплозащите зданий (увеличивать толщину стен) в связи с указанным выше изменением №3 СНиП II-3-79.

Разработанные новые принципы и нормативные требования обеспечивают в среднем около 40% сбережения потребности в тепловой энергии на отопление.

В практике строительства и эксплуатации российских зданий и сооружений в недалеком прошлом был узаконен непроизводительный расход энергетических ресурсов на поддержание необходимых параметров микроклимата их внутренних объемов, а также при производстве строительных материалов и изделий.

Фонд построенных в России в прошлом жилых и общественных зданий с точки зрения энергоиспользования оказался неэффективным. Достаточно сказать, что при высоком в целом уровне энергопотребления на отопление зданий в России расходуется около 34% произведенной в стране тепловой энергии, тогда как в западных странах эта доля составляет 20-22%.

Поэтому в основу новых нормативов в 1995 г. был положен принцип поэтапного снижения потребности в тепловой энергии на отопление зданий с тем, чтобы к началу 2000 г. снизить уровень энергопотребления строящихся и реконструируемых зданий не менее чем на одну треть. Исходя из поставленной задачи снижения потерь тепла, были установлены нормы для различных районов страны с учетом продолжительности отопительного периода и средней температуры наружного воздуха за этот период введением показателя суровости климата. Именно эти климатические характеристики, выраженные в градусо-сутках отопительного периода, определяют общий расход тепла на отопление здания. Из планируемого снижения уровня энергопотребления были рассчитаны новые требования по сопротивлению теплопередаче для отдельных элементов ограждающих конструкций, величины которых были увязаны с градусо-сутками отопительного периода, а не с расчетной температурой наружного воздуха в зимний период (СНиП II-3-79*, таблицы 1а* для первого этапа и 1б* для второго). Причем эти требования касались так называемых приведенных сопротивлений теплопередаче ограждающих конструкций.

Снижение энергопотребления зависит от региона строительства и объемно-планировочных решений зданий и в среднем составляет около 40% по сравнению с нормами до внесения изменений.

Например, для жилых зданий таблица соотношения градусосуток отопительного периода и приведенное сопротивление ограждающих конструкций выглядит так:

Градусосутки отопительного периода, °С	Приведенное сопротивление ограждающих конструкций, м · ч · °С/ Вт
2000	1,2
4000	1,6
6000	2,0
8000	2,4
и т.д.	

После завершения расчетов толщины стен зданий исходя из условий холодной половины года в районах со средней месячной температурой июля 21°С и выше проводятся дополнительные расчеты “на летние условия”. Проверяется соответствие амплитуды колебаний температуры внутренней поверхности ограждающих конструкций $A_{тв}$ требуемой амплитуде $A_{тв}^{mp}$, °С которая определяется по формуле:

$$A_{тв}^{mp} = 2,5 - 0,1(t_n - 21) \quad (4.51)$$

Амплитуда колебаний температуры внутренней поверхности ограждающих конструкций $A_{тв}$ следует определять по формуле:

$$A_{тв} = \frac{A_{тн}^{pac}}{\vartheta} \quad (4.52)$$

где:

$A_{тн}^{pac}$ - расчетная амплитуда колебаний температуры наружного воздуха;
 ϑ - величина затухания расчетной амплитуды колебаний температуры наружного воздуха $A_{тн}^{pac}$ в ограждающей конструкции.

Формула затухания расчетной амплитуды колебаний температуры наружного воздуха имеет вид:

$$A_{in}^{pac} = 0,5 \cdot A_{in} + \frac{\rho \cdot (J_{max} - J_{cp})}{\alpha_n} \quad (4.53)$$

где:

A_{in} - максимальная амплитуда суточных колебаний температуры наружного воздуха в июле;

ρ - коэффициент поглощения солнечной радиации материалом наружной поверхности ограждающей конструкции;

J_{max}, J_{cp} - максимальное и среднее значение суммарной солнечной радиации, поступающей на вертикальную поверхность западных ориентаций (для крыш - на горизонтальную поверхность);

α_n - коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции по летним условиям определяется по формуле:

$$\alpha_n = 5 + 10 \cdot \sqrt{v} \quad (4.54)$$

где v - минимальная из средних скоростей ветра по румбам за июль, повторяемость которой составляет 16 % и более.

Величину затухания расчетной амплитуды колебаний температуры наружного воздуха ϑ в ограждающей конструкции следует определять по формуле:

$$\vartheta = 0,9 \cdot e^{\frac{D}{\sqrt{2}}} \cdot \frac{(S_1 + \alpha_s)(S_2 + Y_1) \dots (S_n + Y_{n-1})(\alpha_n + Y_n)}{(S_1 + Y_1)(S_2 + Y_2) \dots (S_n + Y_n) \cdot \alpha_s} \quad (4.55)$$

где $Y_1, Y_2, \dots, Y_{n-1}, Y_n$ - коэффициенты теплоусвоения наружной поверхности отдельных слоев ограждающей конструкции, являющиеся функциями $S_1, S_2 \dots S_n$. Определяются по таблицам СНиП "Строительная теплотехника".

Сравнение $A_{тв}$ с $A_{тв}^{mp}$ позволяет решить вопрос о теплоустойчивости выбранной ограждающей конструкции. Амплитуда колебаний внутренней поверхности выбранного ограждения должна быть меньше требуемой. Если это не так, то следует увеличить толщину стен для сохранения оптимальных условий в помещении в летнее время. Для того, чтобы решить на какую величину следует увеличивать толщину стен при тех же самых строительных материалах, следует снова выполнить расчеты R_0 . Для определения необходимой толщины стены следует определить новое R :

$$R = \frac{D}{S} \quad (4.56)$$

а затем по формуле (4.44) найти толщину стены δ , как $R \cdot \lambda$.

Рассмотрим пример расчета толщины стены при разных значениях J_{\max} . В одном случае полагаем J_{\max} равной среднему часовому значению самого жаркого месяца, а в другом - 99% квантили и определим на сколько нужно увеличить толщину стены в последнем случае.

Пусть ограждающая конструкция состоит из одного слоя керамзитобетона. Для нее $\lambda = 0,52$ Вт/м²·градС, $S = 6,77$ Вт/м²·градС. Все расчеты представлены в таблице 4.11.

Таблица 4.11

Расчет толщины стен

№	Вычисляемая характеристика	Ее значение
1	Средняя месячная температура воздуха в июле (t_n), °С	23,3
2	$A_{te}^{mp} = 2,5 - 0,1(t_n - 21)$, °С	2,3
3	Максимальная амплитуда наружного воздуха в июле (A_{in}), °С	19,4
4	Минимальная скорость западного ветра в июле (v), м/с	2,2
5	$\alpha_n = 1,16(5 + 10)$	23,0
6	ρ	0,7
7	ρ / α_n	0,03
8	I_{\max} , МДж/м ²	2,00
9	I_{99} , МДж/м ²	1,81
10	I_{cp} , МДж/м ²	1,12
11	$J_{99} = I_{99} + d_{верт}$, МДж/м ²	2,56
	$J_{cp} = I_{cp} + d_{гор}$, МДж/м ²	1,87
	$J_{\max} - J_{cp}$, МДж/м ² и Вт/см ²	0,13 и
	$J_{99} - J_{cp}$, МДж/м ² и Вт/см ²	36,14
		0,6995 и
		1,92
12	$A_{in,1}^{pac} = 0,5 \cdot t_n + \rho / \alpha_n \cdot (J_{\max} - J_{cp})$, °С	12,7
	$A_{in,2}^{pac} = 0,5 \cdot t_n + \rho / \alpha_n \cdot (J_{99} - J_{cp})$, °С	17,4
13	$\vartheta_1 = A_{in,1}^{pac} / A_{te}^{mp}$	5,53
	$\vartheta_2 = A_{in,2}^{pac} / A_{te}^{mp}$	7,57

14	S , Вт/м ² ·градС	4,13
15	α_e , Вт/м ² ·градС	8,70
16	$Y = S$, Вт/м ² ·градС (однослойная конструкция)	4,13
17	$0,9 \cdot \frac{(S + \alpha_e)(\alpha_n + Y_n)}{(S + Y) \cdot \alpha_e}$	1,37
18	$D_1 = \left(\ln \frac{\vartheta_1}{1,37} \right) \cdot \sqrt{2}$ $D_1 = \left(\ln \frac{\vartheta_2}{1,37} \right) \cdot \sqrt{2}$	1,97 2,42
19	$R_1 = D_1 / S$ $R_2 = D_2 / S$	0,48 0,58
20	λ , Вт/м ² ·градС	0,52
21	$\delta_1 = R_1 \cdot \lambda$, м $\delta_2 = R_2 \cdot \lambda$, м	0,25 0,30

Таким образом, при проектировании стен на летние условия в рассматриваемом регионе необходимо было увеличить их толщину на 5 см.

В завершение расчетов ограждающих конструкций следует предусмотреть необходимое сопротивление паропрооницанию, чтобы не допустить накопление влаги в ограждающей конструкции. Требуемое сопротивление паропрооницанию за год определяется по формуле:

$$R_n^{mp} = \frac{(e_v - E)R_{n.n.}}{E - e_n} \quad (4.57)$$

где:

e_v , e_n - упругость водяного пара внутреннего воздуха и средняя годовая упругость пара наружного воздуха;

E - упругость водяного пара в плоскости возможной конденсации;

$R_{n.n.}$ - сопротивление паропрооницанию части ограждающей конструкции, расположенной между наружной поверхностью ограждающей конструкции и плоскостью возможной конденсации.

Сопротивление паропрооницанию каждого слоя рассчитывается по формуле:

$$R_n = \frac{\delta}{\mu} \quad (4.58)$$

где δ - толщина слоя, м; μ - расчетный коэффициент паропроницаемости материала слоя ограждающей конструкции [г/ (м · ч · мм рт.ст.)], принимаемый по таблице СНиП “Строительная теплотехника”.

Процесс введения климатической информации в расчеты ограждающих конструкций изложен здесь достаточно подробно, т.к. одной из важных задач энергосбережения при отоплении зданий, стоящей на повестке дня, является усиление теплозащиты зданий, другими словами, утолщение стен. Климатологи, зная процесс использования климатических данных для расчетов, могут способствовать решению поставленной задачи. Так, например, возможен учет ожидаемого изменения климата или использование уточненных параметров климата. При этом, важно показать к каким результатам приведет введение новой информации. Последнее возможно лишь в случае доведения расчетов до конца, т.е. до выдачи потребителю рекомендаций по выбору материалов, числу слоев и толщине ограждения.

4.2.1.1.1 Расчеты некоторых специализированных климатических характеристик

Вычисление некоторых из перечисленных в п. 4.2.1.1 параметров требует пояснений. Одной из наиболее важных характеристик термического режима, которую следует учитывать при проектировании ограждающих конструкций, является среднее число градусодней. Этот показатель дает представление о суммарном удельном теплоснабжении зданий с учетом режимов эксплуатации зданий и используется в расчетах не только ограждающих конструкций, но и при выборе типа зданий, габаритов систем отопления, вентиляции и кондиционирования (СОКВ) и определении запасов топлива.

Среднее число градусо-дней определяется как сумма разностей между температурами помещения (базовой температурой) и внешней среды за все дни отопительного сезона.

Базовая температура в нашей стране для большей части зданий составляет 18 °С. Расчеты выполняются косвенным способом по данным многолетних средних месячных температур воздуха.

Так как в течение отопительного периода все суточные температуры ниже базовой, число градусо-дней вычисляется по формуле

$$Q = \sum (T_B - T) * n \quad (4.59)$$

где Q — среднее число градусо-дней за отопительный сезон; T_B — температура воздуха в помещении, равная 18 °С; T — средняя многолетняя температура месяца, °С; n — число дней в месяце.

Пример: Определить продолжительность и среднюю температуру воздуха периодов со средней суточной температурой ниже -5 , 8 и выше 15°C для пункта Куйбышев.

Средняя месячная температура воздуха, $^{\circ}\text{C}$, для пункта Куйбышева равна:

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
-13,8	-13	-6,8	4,6	14	18,7	20,7	19	12,4	4,2	-4,1	-10,7

По этим данным строим график годового хода температуры воздуха (рис. 4.12).

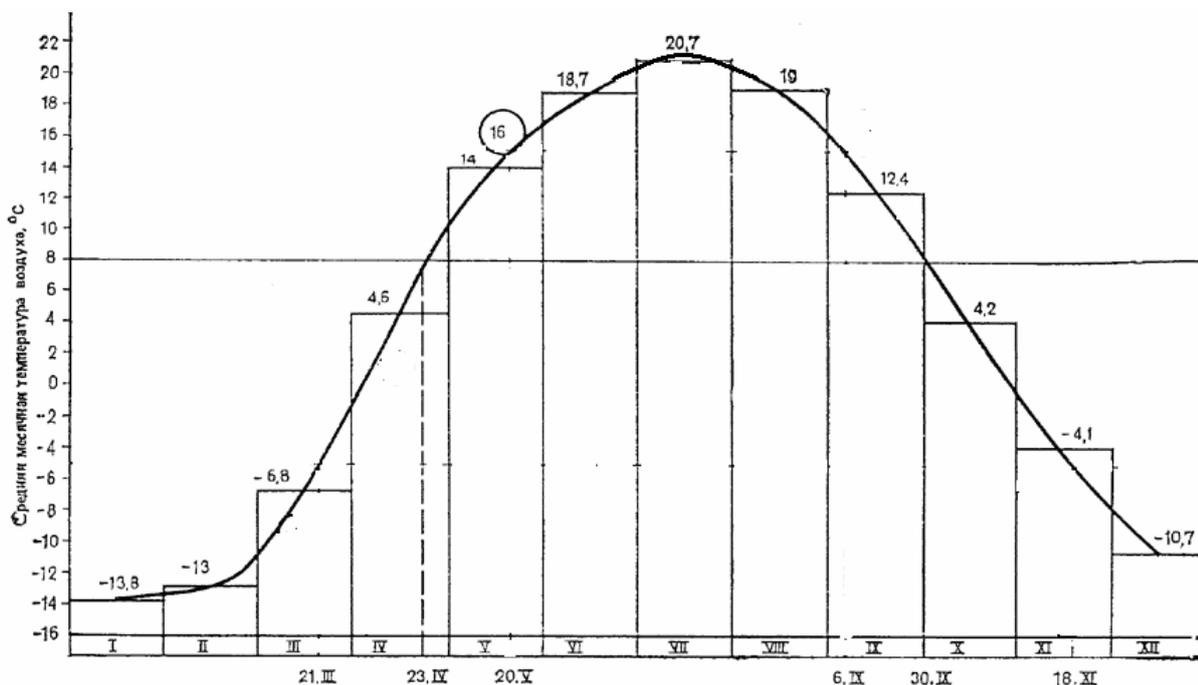


Рис.4.12. Гистограмма Шепелевского

цифра в кружочке — средняя температура воздуха за неполный месяц апрель; 30.IX, 23.IV - даты начала и конца периода со средней суточной температурой воздуха, равной и ниже 8°C (отопительный период)

С графика снимаем даты перехода средней суточной температуры воздуха через 8°C . Определяем продолжительность этих периодов: 1 сутки (сентябрь) + 31 (октябрь) + 30 (ноябрь) + 31 (декабрь) + 31 (январь) + 28 (февраль) + 31 (март) + 23 (апрель) = 206 суток;

Рассчитываем сумму температур, $^{\circ}\text{C}$, за полные месяцы. Она равна соответственно: $(4,2^{\circ}\times 31) + (-4,1^{\circ}\times 30) + (-10,7^{\circ}\times 31) + (-13,8^{\circ}\times 31) + (-13,0^{\circ}\times 28) + (-6,8^{\circ}\times 31) = -1327,1^{\circ}$;

Сумма температур, °С, за неполные месяцы равна соответственно:
 $(12,4 \times 1) + (3,1^\circ \times 23) = 83,7^\circ$

Определим среднюю температуру, °С, периодов со средней суточной температурой воздуха ниже 8°C :

$$\frac{-1327^\circ + 83,7^\circ}{206} = -6,0^\circ$$

Общее число градусо-дней за этот период: $Q = (18^\circ - (-6,0^\circ)) \cdot 206 = 4944$.

Для автоматизации расчетов можно по средним месячным температурам восстановить значения за каждый день месяца аналитическим способом. В Главной геофизической обсерватории был предложен метод [Хлебникова] восстановления суточных значений, основанный на применении рядов Фурье. Ниже будет приведен алгоритм для составления программы расчета.

Пусть $X(t)$ - значение суточной температуры в момент времени t (t - время в месяцах, отсчитываемое от начала года). Будем искать $X(t)$ в виде:

$$X(t) = a_0 + 2 \sum_{k=1}^5 (a_k \cos \frac{\pi k}{6}(t - 6.5) + b_k \sin \frac{\pi k}{6}(t - 6.5)) + a_6 \cos(\pi(t - 6.5)) \quad (4.60)$$

Коэффициенты a_k ($k=0, 1, \dots, 6$) и b_k ($k=1, 2, \dots, 5$) можно найти из условий:

$$\int_{i=1}^i X(t) dt = f_i \quad (i=1, 2, \dots, 12) \quad (4.61)$$

Где f_i - средние значения моментов в i -тый месяц, которые предполагаются известными.

Решая систему (4.61), получаем

$$a_0 = \frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} f_i$$

$$a_k = \frac{\pi k}{12 \sin(\pi k / 12)} \cdot \frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} f_i \cos\left(\frac{\pi k}{6}(i - 7)\right) \quad k = (1, \dots, 6);$$

$$b_k = \frac{\pi k}{12 \sin(\pi k / 12)} \cdot \frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} f_i \sin\left(\frac{\pi k}{6}(i - 7)\right) \quad k = (1, \dots, 5)$$

В ГГО этот метод восстановления годового хода суточных температур по средним месячным был успешно апробирован.

Расчетные температуры воздуха наиболее холодного периода, наиболее холодных суток и наиболее холодной пятидневки или их аналоги в виде квантилей заданной обеспеченности также имеют первостепенное значение при расчете ограждающих конструкций.

Для их расчета из метеорологических ежемесячников производят выборку температуры воздуха наиболее холодных суток и наиболее холодной пятидневки за 30 — 50 лет.

Эти данные располагаются в убывающем порядке с присвоением каждой величине порядкового номера. Температура воздуха наиболее холодных суток и наиболее холодной пятидневки округляется до 0,5°C.

Пример. Определить температуру наиболее холодных суток для Санкт-Петербурга.

Порядковый номер	1	2	3	...	34	35	36	37	38
Температура воздуха наиболее холодных суток, °С	14.4	-14.5	-14.9	...	-26.2	-26.5	-28	-28.9	-31.3

На этой основе строятся интегральные кривые распределения температуры воздуха наиболее холодных суток (наиболее холодной пятидневки) на клетчатке нормального распределения. Кривые строят до обеспеченности 0,25 (рис. 4.13).

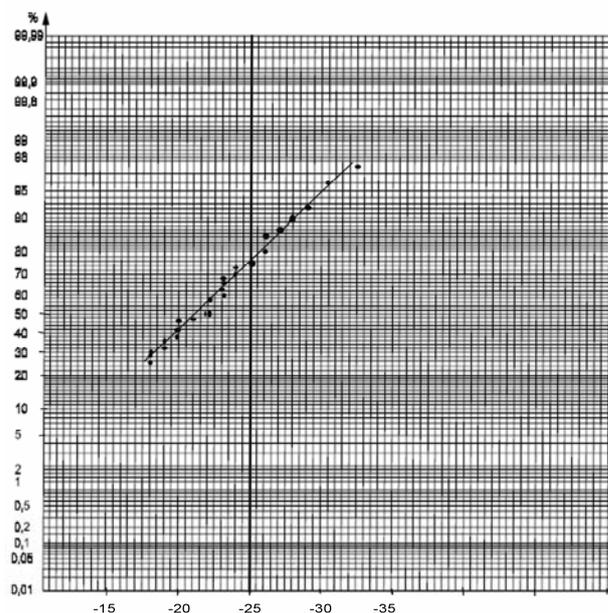


Рис.4.13. Интегральные кривые температуры воздуха наиболее холодных суток

С кривых снимается температура воздуха наиболее холодных суток (наиболее холодной пятидневки) заданной обеспеченности.

Интегральную вероятность (обеспеченность) P рассчитывают по формуле

$$P = m / (n + 1), \quad (4.62)$$

где m — порядковый номер; n — число членов ряда, равное числу принятых к обработке лет наблюдений.

Следует упомянуть о том, как устанавливаются и как определяются **расчетные температуры воздуха при проектировании ограждений зданий специального назначения**. Одним из видов таких зданий являются здания для хранения и переработки с/хозяйственной продукции, которые могут функционировать всю зиму или только в осенний сезон. Для сезонного овощехранилища все параметры рассчитываются для осени (температура наиболее холодных суток, пятидневки, абсолютный минимум и т.д.). Для зданий, функционирующих весь год, при расчетах ограждающих конструкций необходимо учитывать внутреннее тепло, выделяемое хранящимися овощами. Учет этого тепла (в разном количестве в зависимости от вида овощей) приводит к необходимости использовать разные климатические параметры.

При проектировании зданий и сооружений специального назначения важно обеспечить минимальные расходы на энергию в период хранения овощей, исходя из климатических условий. Прежде всего необходимо выработать принципы системного подхода к установлению параметров температуры, входящих в расчеты типового режима овощехранилищ.

Для определения уровней расчетных температур при проектировании ограждающих конструкций, отопления и вентиляции требуется знать, как изменяется температура наружного воздуха зимой. Так как абсолютный минимум температуры воздуха — явление кратковременное, температурный режим внутри помещения зависит от характера спада температуры к минимуму. С этой целью строятся графики спада средней суточной температуры воздуха к абсолютному минимуму зимой при обеспеченностях 0,7, 0,9, 0,92, 0,95, 0,98.

Прежде всего следует составить эмпирические совокупности средних суточных температур за наиболее холодные сутки и за 1—7 сут до и после наступления минимума за период не менее 20 лет.

По сформулированным совокупностям рассчитывается обеспеченность средней суточной температуры за каждые 15 выбранных суток по известной формуле

$$P_{mk} = \frac{m - 0.3}{n + 0.4}, \quad (4.63)$$

где m — номер порядкового числа средней k -дневной температуры; n — число членов ряда; $k = 1, 2, \dots, 7$ — номер суток в обе стороны от дня наступления минимума ($k = 0$).

В дальнейшем при выборе расчетной k-дневки для того или иного типа хранилищ следует ориентироваться на полученные расчетные температуры.

Для ограждений, обладающих тепловой инерцией, определяется показатель сквозного затухания колебаний температуры, наружного воздуха v_{Π} по формуле

$$v_{\Pi} = v_{\text{мин}} \eta \quad (4.64)$$

где $v_{\text{мин}}$ — показатель сквозного затухания колебаний температуры наружного воздуха для безынерционных зданий; η — коэффициент относительной тепловой инерционности, который задается проектным учреждением ($\eta = 1,0 \dots 2,3$).

Известно, что

$$T_{\text{ам}} \leq T_x - v_{\Pi} A_T^{\text{д}}; \quad (4.65)$$

$$v_{\Pi} = A_V / A_H,$$

где $T_{\text{ам}}$ — абсолютный минимум температуры воздуха, °С; T_x — расчетная температура, °С; $A_T^{\text{д}}$ — допустимая амплитуда колебаний температуры воздуха в хранилище, °С. Она зависит от вида сохраняемой продукции и задается заказчиком. Примерные допустимые и оптимальные значения $A_T^{\text{д}}$ для разных видов сельскохозяйственной продукции представлены в табл. 4.12.

Таблица 4.12

Амплитуда колебаний температуры воздуха внутри помещения и нормируемый перепад между температурой поверхности стены и воздуха в помещении

Хранимая культура	Средняя температура хранения, °С	Амплитуда колебаний температуры, °С		ΔТ °С
		оптимальная	допустимая	
Картофель	3,0	1,0	3,0	3,0
Капуста:				
продовольственная	-0,5	0,5	2,5	2,5
маточники	0,5	0,5	2,5	2,5
Морковь:				
продовольственная	-0,5	0,5	0,5	2,5
маточники	0,5	0,5	1,0	2,5
Свекла	0,5	0,5	1,0	2,5
Лук:				
продовольственный	-2,0	1,0	6,0	3,0
маточники	7,0	3,5	6,0	3,0

A_H и A_B — изменения температуры наружного и внутреннего воздуха соответственно.

Используя уравнения теплоустойчивости и выполнив ряд подстановок, получим

$$T_{ам} = T_x (1 + A_T^D \eta / \Delta T_H) - A_T^D T_B \eta / \Delta T_H, \quad (4.66)$$

где T_B — температура внутреннего воздуха, °С; ΔT_H — нормативный перепад между температурами наружного воздуха и внутренней поверхности ограждающей конструкции (зависит от содержимого овощехранилища), °С.

По этой формуле для различных значений η , ΔT_H и A_T^D (которые зависят от содержимого овощехранилищ) строятся графики связи искомой расчетной температуры с абсолютной минимальной температурой (рис. 4.14).

По оси ординат откладывают значения абсолютного минимума, по оси абсцисс — расчетной температуры. Ниже оси абсцисс помещены еще несколько температурных шкал, для средних температур 1, 3, 5, 7 и 9-х суток. В графики входят со значениями $T_{ам}$, имеющими обеспеченность 0,9 и 0,98. На шкалах к-днейвок отмечают температуры с обеспеченностью не менее 0,92.

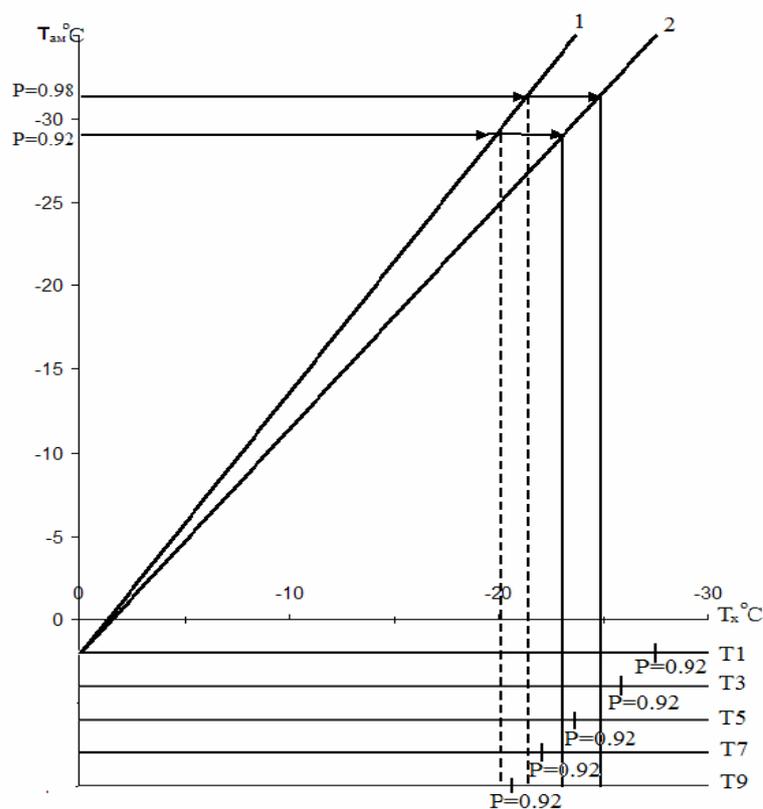


Рис. 4.14. График для определения расчетных уровней температуры наружного воздуха (ст. Ростов-на-Дону, культура — лук продовольственный).

1 - $\eta = 1,22$; 2 - $\eta = 2,07$.

Пример. Выписав из таблицы ТМ-1 средние суточные температуры воздуха за 7 сут до наступления минимума, в день минимума и за 7 сут после него, получаем 15 выборок за каждый из указанных дней за период не менее 20 лет. Так же необходимо составить выборку из абсолютных минимумов за этот период.

Затем по сформированным совокупностям рассчитываем обеспеченности средней суточной температуры по формуле (4.63). Значения температуры располагаем в порядке убывания (ряд ранжируется).

Результаты расчетов представляем в виде графика.

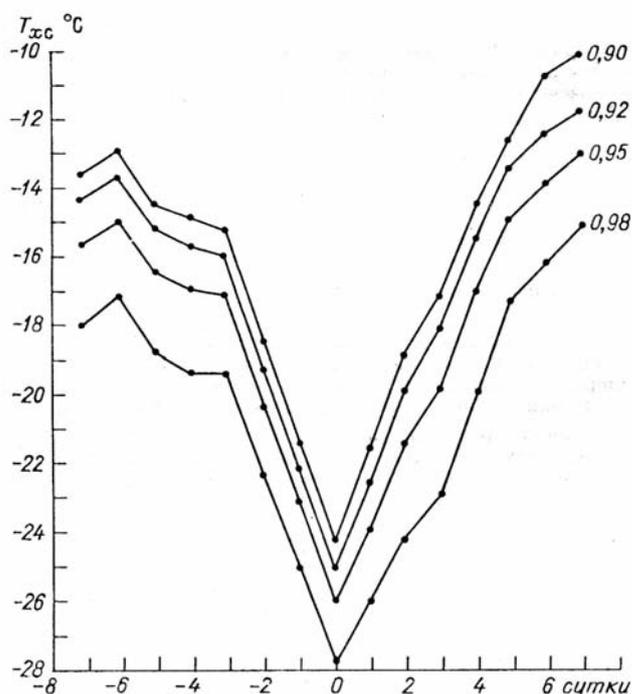


Рис. 4.15. Ход средней суточной многолетней температуры воздуха T_{xc} различной обеспеченности в окрестностях наиболее холодных суток.

На рис. 4.15 показан ход температуры воздуха для ст. Ростов-на-Дону. С этого графика снимаем температуры наиболее холодных 1, 2, 3, 5, 7 и 9-дневок с различной обеспеченностью и заносим в таблицу:

к	Обеспеченность			
	0,90	0,92	0,95	0,98
1	-24,2	-24,8	-25,9	-27,7
3	-22,4	-23,0	-24,2	-26,2
5	-20,7	-21,5	-22,8	-25,1
7	-19,4	-20,2	-21,5	-23,9
9	-18,3	-19,2	-20,5	-22,9

Затем по формуле (4.66) определяем зависимость между абсолютным минимумом и значением расчетной температуры.

Выбираем расчетные к-дневные температуры при конструировании малоинерционных ($\eta = 1,22$) и более инерционных хранилищ ($\eta = 2,07$) для создания оптимальных условий хранения продовольственного лука.

По нормативам (см. табл.4.12) $T_{в} = -2,0$ °С; $A_{Гн} = 3$ °С; $A^* = 1$ °С.

Тогда

$T_{ам} = 1,69 T_{х} + 1,38$ для $\eta = 2,07$;

$T_{ам} = 1,41 T_{х} + 0,82$ для $\eta = 1,0$.

По указанным зависимостям строим график связи расчетной температуры с абсолютным минимумом (см. рис. 4.14). Ниже оси абсцисс наносим значения средних температур наиболее холодных к-дней с обеспеченностью 0,9—0,98. Войдя в график со значениями $T_{ам}$, имеющими обеспеченности от 0,90 до 0,98, опускаем перпендикуляры на ось, на которой отложены температуры к-дней, и определяем, что для малоинерционных зданий в качестве расчетной следует взять температуру 5-дневки, а для зданий с $\eta = 2,07$ - 9-дневки.

4.2.1.3 Энергетика зданий (системы отопления, вентиляции, кондиционирования).

Проектирование энергосистем зданий, т.е. систем отопления, вентиляции и кондиционирования (СОКВ) должно увязываться с проектированием теплозащиты зданий, т.е. ограждающих конструкций. Совокупность теплозащиты и энергетики зданий, а также потребляемое ими топливо, обеспечивают оптимальный и допустимый санитарными нормами тепловой режим помещений. Поэтому требования к нормативным климатическим параметрам для проектирования СОКВ во многом совпадают с таковыми, используемыми для проектирования ограждающих конструкций.

Основными задачами при проектировании СОКВ являются:

- расчет установочной мощности СОКВ и производительности СКВ;
- выбор оптимального режима обработки воздуха системами СКВ;
- выбор системы и типа кондиционеров и вентиляторов.

Два первых типа задач решаются с учетом теплопотерь и теплопоступлений через ограждающие конструкции. Методика расчета теплопотерь и теплопоступлений с учетом ветра и солнечной радиации подробно изложена в книге [Гандин, Анапольская, 1973]. Она относится как к проектированию СКВ, так и ограждающих конструкций. Упрощенный способ расчета теплопотерь и теплопоступлений, который до сих пор используется в практике строительного проектирования, опирается на климатические параметры на-

ружного воздуха, содержащиеся в главе СНиП “Отопление, вентиляция, кондиционирование”.

Нормативными параметрами наружного воздуха служат параметры А, Б, В (параметр В используется лишь в исключительных случаях). Каждый из этих параметров состоит из трех климатических показателей: температуры воздуха ($^{\circ}\text{C}$), удельной энтальпии (кДж/кг), скорости ветра (м/с). Для теплого периода года температура параметра А принимается на $1,8^{\circ}\text{C}$ ниже средней месячной температуры наиболее жаркого месяца, а для параметра Б - на $2,8^{\circ}\text{C}$ выше средней месячной температуры наиболее жаркого месяца. Для холодного периода года температура параметра А принимается равной средней температуре наиболее холодного периода, а для параметра Б - равной температуре наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0.92. Для определения удельной энтальпии в СНиП “Отопление, вентиляция, кондиционирование” приведены карты, с которых и снимаются значения энтальпии. Нормативная скорость ветра также содержится в таблице СНиП. Более правильно принимать в качестве нормативной квантили температуры воздуха и соответствующие им значения энтальпии из годовой совокупности срочных значений, представленной в виде совместного распределения температуры воздуха и энтальпии. Краткая методика их расчета, а также значения для различных пунктов представлены в Научно-прикладном справочнике по климату СССР. Там же описана методика и приведены значения расчетных скоростей ветра. Ниже рассмотрим эти методики более подробно.

Вариантное проектирование и автоматизация СКВ опираются на другие климатические показатели.

Системы кондиционеров различаются способами обработки поступающего наружного воздуха. Для технико-экономического обоснования выбранной системы кондиционирования или вентиляции необходимо рассчитать затраты на нагревание, охлаждение и увлажнение воздуха в системах в процессе его обработки. В расчеты затрат или, как говорят инженеры, годовых расходов тепла, холода и влаги входят климатические данные.

В формулы расчета энергозатрат входит повторяемость энтальпии I (Дж/кг) и влагосодержания d (кг/кг). Исходные данные для расчетов повторяемости I и d по температуре и влажности можно получить лишь в отдельных точках территории, число которых весьма ограничено (не более 100 станций по территории России) Для непрерывного пространственного представления требуемой для расчета энергозатрат информации по I и d целесообразно использовать расчетные методы. Суть этих методов состоит в том, что для расчета повторяемости температуры, энтальпии и влажности

одномерные распределения этих величин аппроксимируются некоторыми известными функциями. Первоначально распределение температуры описывалось нормальной, а распределение энтальпии и влагосодержания - логнормальной функцией. Однако годовые распределения всех этих величин являются или двухвершинными, или плосковершинными. Поэтому авторы предложили использовать для описания этих распределений более подходящий композиционный закон либо двух нормальных распределений, либо нормальной и равномерной плотности.

Годовые расходы тепла и холода могут быть выражены через суммы:

$$\sum_{-\infty}^{J_k} p_i \quad \text{и} \quad \sum_{-\infty}^{J_k} J_i p_i \quad \text{или} \quad \sum_{-\infty}^{t_k} p_i \quad \text{и} \quad \sum_{-\infty}^{t_k} t_i p_i \quad (4.67),$$

а годовые расходы влаги - через суммы:

$$\sum_{-\infty}^{d_k} p_i \quad \text{и} \quad \sum_{-\infty}^{d_k} d_i p_i \quad (4.68)$$

Так как плотность распределения композиционного закона нормальной и равномерной плотности имеет вид:

$$f(x_n) = \frac{1}{b-a} \left[\Phi \frac{x_k - a}{\sigma} - \frac{x_k - b}{\sigma} \right] \quad (4.69)$$

где вместо x_k подставляется либо t_k либо J_k ;

k - конечное состояние системы (например, t_k - значение температуры до которой охлаждается или нагревается приточный воздух в системе);

x_n - нормированное значение x_k , т.е. $x = \frac{x_k - a}{\sigma}$;

a, b и σ - параметры композиционного распределения:

$$a, b = \bar{x} \mp \sqrt[4]{2.5m_2^2 - 5m_4 / 6}$$

$$\sigma^2 = m_2 \mp \sqrt[4]{2.5m_2^2 - 5m_4 / 6} \quad (4.70)$$

где \bar{x} - среднегодовое значение температуры воздуха или энтальпии;

m_2 и m_4 - второй и четвертый центральные моменты распределения суточных значений температуры и энтальпии

$$m_2 = \frac{\sum_1^N (x_i - \bar{x})^2 p_i}{N} \quad (4.71)$$

$$m_4 = \frac{\sum_1^N (x_i - \bar{x})^4 p_i}{N}$$

Значения a, b, σ картированы (см. [Сотников, 1983]).

Суммы повторяемости суточных значений температуры воздуха и энтальпии до достижения ими конечного состояния, а также взвешенные суммы самих значений температуры и энтальпии с учетом формулы (4.69) могут быть записаны:

$$\sum_{-\infty}^{J_k} p_i = \frac{1}{b-a} \int_{-\infty}^{J_k} \left[\Phi\left(\frac{J-a}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{J-b}{\sigma}\right) \right] dJ \quad (4.72)$$

Введя обозначения $(b-a)/\sigma = \gamma$ преобразуем (3.26) к виду:

$$\sum_{-\infty}^{J_k} p_i = \frac{1}{\gamma} [I_1(x) - I_1(x-\gamma)] \quad (4.73)$$

где $I_1(x)$ - интеграл от интегральной функции нормированного аргумента

$$x = (I_k - a) / \sigma$$

Для приближенного вычисления этого интервала приведена таблица 4.18.

В пределе при $I_k \rightarrow \infty$ выражение (4.81) стремится к единице, т.к. разность интегралов $I_1(x) - I_1(x-\gamma)$ равна разности их аргументов. При вычислении

$\sum p_i$ в пределах от J_k до $+\infty$ пользуются известным соотношением:

$$\sum_{J_k}^{\infty} p_i = 1 - \sum_{-\infty}^{J_k} p_i \quad (4.74)$$

При вычислении $\sum p_i$ в пределах от I_{k1} до I_{k2} расчеты по формуле (4.81) производят дважды при аргументах I_{k1} и I_{k2} , а результаты вычитают один из другого.

Аналогично получим выражение для $\sum I_i p_i$ в интервале энтальпий от $-\infty$ до I_k

$$\begin{aligned} \sum_{-\infty}^{J_k} J_i p_i &= \frac{1}{b-a} \int_{-\infty}^{J_k} \left[\Phi\left(\frac{J_H - a}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{J_H - b}{\sigma}\right) \right] J_H dJ_H \\ &= \frac{\sigma}{\gamma} [I_2(x) - I_2(x - \gamma) - aI_1(x) + (\gamma - a)I_1(x - \gamma)] \end{aligned} \quad (4.75)$$

Формула для расчета годового расхода теплоты имеет вид:

$$Q_t = 8766 \psi c_p \left[t_k \sum_{-\infty}^{t_k} p_i - \sum_{-\infty}^{t_{Hc}} t_{Hc} p_i \right] G_{\min} \quad (4.76)$$

где 8766 - годовое количество часов;

G_{\min} - количество нагреваемого воздуха.

Пример. Определить годовой расход теплоты на нагревание наружного воздуха в количестве $G_{\min} = 1$ кг/ч до конечной температуры $t_k = +10^\circ\text{C}$ в климатических условиях Москвы для непрерывной работы объекта ($\psi_{\text{см}} = 1$).

Для Москвы параметры: $a = -12,5^\circ\text{C}$; $b = 20,5^\circ\text{C}$; $\sigma = 7,2^\circ\text{C}$. Комплекс $\gamma = (b - a) / \sigma = [10 - (-12,5)] / 7,2 \approx 3,1$. Вычисляем аргумент

$x - \gamma = 3,1 - 4,5 = -1,4$ и $\gamma - \alpha = 4,5 - (+12,5) / 7,2 = 2,67$. По табл. 4.18 вычисляем: $I_1(x) = I_1(3,1) = 3,1$; $I_1(x - \gamma) = I_1(-1,4) = -0,037$; $I_2(x) = I_2(3,1) = 4,31$; $I_2(x - \gamma) = I_2(-1,4) = -0,66$.

В соответствии с условием примера вычисляем вероятность в интервале от $-\infty$ до $t_k = +10^\circ\text{C}$ по формуле (4.81):

$$\sum_{-\infty}^{t_{H=+10^\circ\text{C}}} p_i = \frac{1}{4,5} [3,1 - 0,037] = 0,605$$

По формуле (4.83) вычисляем сумму $\sum t_{Hi} p_i$ в интервале от $-\infty$ до $t_k = +10^\circ\text{C}$:

$$\sum_{-\infty}^{t_{H=+10^\circ\text{C}}} t_{Hi} p_i = \frac{7,2}{4,5} \left[4,4 - (-0,07) + \frac{12,5}{7,2} \cdot 3,1 - 2,67 \cdot 0,037 \right] = -1,91^\circ\text{C}$$

По формуле, аналогичной (4.84), находим искомый годовой расход теплоты на нагревание наружного воздуха в количестве $G_H = 1$ кг/час

$$Q_t = 8766 \psi_{cm} c_p \left[t_k \sum_{-\infty}^{t_k=10^\circ} p_i - \sum_{-\infty}^{t_k=10^\circ} t_{Hc} p_i \right] = 8677 \cdot 1 \cdot 1 \cdot [10 \cdot 0,605 - (-1,91)] =$$

=70 тыс./год

Расходы тепла, холода и влаги служат основой для выбора кондиционеров, в том числе и бытовых. Однако предварительно необходимо оценить количество переизбытка тепла, поступающего в помещение. В помещение тепло поступает через ограждающие конструкции и главным образом через окна, выделяется внутри помещения людьми и электробытовыми и другими приборами, выделяющими тепло. Для оценки количества поступающего тепла следует иметь параметры квартиры.

Таблица 4.13

Таблица функций

x_1	$I_1(x_1)$	$I_2(x_1)$	x_1	$I_1(x_1)$	$I_2(x_1)$
-3,0	$0,375 \cdot 10^{-3}$	-0,0012	9,0	9,0	40,000
-2,8	$0,754 \cdot 10^{-3}$	-0,0023	9,2	9,2	41,820
-2,6	0,00146	-0,0042	9,4	9,4	43,680
-2,4	0,00271	-0,0073	9,6	9,6	45,580
-2,2	0,00488	-0,0123	9,8	9,8	47,520
-2,0	0,00848	-0,0198	10,0	10,0	49,500
-1,8	0,0143	-0,0308	10,2	10,2	51,520
-1,6	0,0232	-0,0460	10,4	10,4	53,580
-1,4	0,0367	-0,0667	10,6	10,6	55,680
-1,2	0,0561	-0,0912	10,8	10,8	57,820
-1,0	0,0833	-0,121	11,0	11,0	59,999
-0,8	0,120	-0,154	11,2	11,2	62,220
-0,6	0,169	-0,188	11,4	11,4	64,479
-0,4	0,230	-0,218	11,6	11,6	66,780
-0,2	0,307	-0,241	11,8	11,8	69,120
0,0	0,399	-0,250	12,0	12,0	71,50
0,2	0,507	-0,239	12,2	12,2	73,92
0,4	0,630	-0,202	12,4	12,4	76,38
0,6	0,769	-0,132	12,6	12,6	78,88
0,8	0,920	-0,026	12,8	12,8	81,42
1,0	1,083	0,121	13,0	13,0	84,00
1,2	1,256	0,311	13,2	13,2	86,62
1,4	1,437	0,546	13,4	13,4	89,28
1,6	1,623	0,826	13,6	13,6	91,98
1,8	1,814	1,151	13,8	13,8	94,72

Продолжение таблицы 4.13

2,0	2,008	1,520	14,0	14,0	97,50
2,2	2,205	1,932	14,2	14,2	100,321
2,4	2,403	2,387	14,4	14,4	103,181
2,6	2,602	2,884	14,6	14,6	106,081
2,8	2,801	3,442	14,8	14,8	109,022
3,0	3,0	4,001	15,0	15,0	112,002
3,2	3,2	4,621	15,2	15,2	115,023
3,4	3,4	5,280	15,4	15,4	118,087
3,6	3,6	5,980	15,6	15,6	121,184
3,8	3,8	6,720	15,8	15,8	124,325
4,0	4,0	7,500	16,0	16,0	127,505
4,2	4,2	8,320	16,2	16,2	130,726
4,4	4,4	9,180	16,4	16,4	133,986
4,6	4,6	10,080	16,6	16,6	137,287
4,8	4,8	11,020	16,8	16,8	140,627
5,0	5,0	12,000	17,0	17,0	144,007
5,2	5,2	13,020	17,2	17,2	147,427
5,4	5,4	14,080	17,4	17,4	150,887
5,6	5,6	15,180	17,6	17,6	154,387
5,8	5,8	16,320	17,8	17,8	157,926
6,0	6,0	17,500	18,0	18,0	161,505
6,2	6,2	18,720	18,2	18,2	165,124
6,4	6,4	19,980	18,4	18,4	168,788
6,6	6,6	21,280	18,6	18,6	172,428
6,8	6,8	22,620	18,8	18,8	176,221
7,0	7,0	24,000	19,0	19,0	179,999
7,2	7,2	25,420	19,2	19,2	183,817
7,4	7,4	26,880	19,4	19,4	187,675
7,6	7,6	28,830	19,6	19,6	191,573
7,8	7,8	29,920	19,8	19,8	195,511
8,0	8,0	31,500	20,0	20,0	199,489
8,2	8,2	33,120			
8,4	8,4	34,780			
8,6	8,6	36,480			
8,8	8,8	38,220			

Пример расчета поступающего в помещение тепла для выбора кондиционера.

Параметры комнаты: площадь - 20 м^2 ; окно: ширина - 2.7м, высота - 1.7м. Через окно поступает максимум солнечной энергии - 700 Вт/м^2

Примерно половина этой энергии расходуется в следствие солнцезащиты (шторы) и на нагрев предметов в комнате. Таким образом, через окно в комнату попадает $350 \cdot 4.58 = 1606.5 \text{ Вт}$, т.е. около 1.6 кВт. Если в комнате проживают два человека, то они выделяют дополнительное тепло около 80 Вт. Таким образом, необходимо, чтобы количество холода, подаваемое кондиционером, соответствовало примерно 2 кВт. В этом случае при средней суточной температуре наружного воздуха, например 23°C , температура в комнате будет соответствовать санитарно-гигиенической норме ($22\text{-}24^\circ\text{C}$).

Главная трудность расчета состоит в определении дополнительных выделений тепла, которые, например, в кухне будут достаточно велики. Если в квартире несколько комнат, то расчеты ведутся по каждой комнате. После того, как будет определен необходимый расход холода, следует с полученной информации обращаться в фирму, торгующую кондиционерами, которая укажет наиболее соответствующую выбранной квартире марку кондиционера (мощностью 1.0; 1.5; 2.0 и более кВт).

Выбор оптимального режима обработки воздуха в системах кондиционирования и вентиляции обычно осуществляется на так называемой I-d диаграмме. На этой диаграмме практически связаны все параметры, определяющие тепловлажностное состояние воздуха: температура, энтальпия, влагосодержание и другие характеристики влажности.

В процессах кондиционирования и вентиляции постоянно происходит переход влажного воздуха из одного состояния в другое. Воздух, подаваемый в помещение, предварительно подвергают обработке в специальных камерах и, придавая определенные параметры, нагревают и охлаждают, осушают и увлажняют, смешивают воздушные массы, находящиеся в различных состояниях. Все возможные процессы изменения состояния воздуха могут быть изображены и прослежены на I-d диаграмме.

В большинстве случаев расходы тепла, холода и электроэнергии на обработку воздуха можно сократить, изменив порядок обработки воздуха в кондиционере (или в вентиляторе). В кондиционере воздух обычно обрабатывается в два этапа: обеспечивается, во-первых, заданное влагосодержание, во-вторых, заданная температура.

Различают 3 метода регулирования влагосодержания приточного воздуха: точки росы, второй рециркуляции и обвода «мокрой камеры». По первому методу наружный воздух (или его смесь с уходящим из помещения) доводится в так называемой «мокрой» камере до параметров, близким к параметрам приточного (подаваемого в помещение) воздуха; по второму методу

наружный воздух (или его смесь с уходящим из помещения) доводится в мокрой камере до температуры более низкой, чем температура точки росы приточного воздуха. После этого он смешивается с уходящим воздухом в такой пропорции, чтобы новая смесь имела влагосодержание приточного воздуха; по третьему методу, часть наружного воздуха (или его смесь с уходящим из помещения) доводится в мокрой камере до температуры более низкой, чем температура приточного воздуха. После этого он смешивается с необработанной частью воздуха, пропущенной по обводному каналу мимо мокрой камеры в такой пропорции, чтобы новая смесь имела влагосодержание приточного воздуха. При всех трех методах температуру воздуха по необходимости повышают в калориферах второго подогрева. Чтобы оценить экономичность этих методов и выбрать один из них, оценить возможность естественной вентиляции и использования солнечного отопления, а также решить еще целый ряд задач по достижению комфортности пользуются I-d диаграммой (рис. 4.16)

На оси ординат диаграммы отложена температура воздуха, на оси абсцисс - упругость водяного пара; на прямых линиях под углом 135° к оси X отложены значения энтальпии, пучок кривых соответствует различным значениям относительной влажности. При построении I-d диаграммы использована зависимость влагосодержания d от относительной влажности воздуха. Как видно из рис. 4.16 на I-d диаграмме выделен ряд зон, в частности: зона комфорта, зона естественной вентиляции, зона необходимого охлаждения воздуха, зона охлаждения посредством испарения. Отмечена также зона, где целесообразно использовать пассивное солнечное отопление. На эту I-d диаграмму наносятся климатические ежесуточные данные по температуре и влажности воздуха для 8 сроков наблюдений, а при отсутствии ежесуточных - данные за 8 сроков среднего дня по каждому месяцу (за теплую половину году). Точки, соответствующие определенным значениям температуры и влажности, соединяются линией. Обычно в зону комфорта на I-d диаграмме попадает лишь ряд значений, нанесенных на диаграмму. Следовательно, целесообразно пользоваться кондиционированием. Выбор метода обработки воздуха зависит от того, в какую зону I-d диаграммы попали данные. Если высокая температура воздуха сочетается с высокой влажностью (значительная часть точек расположена в верхней левой части I-d диаграммы), значит должно проектироваться естественное или механическое вентиляционное охлаждение и дополнительно следует использовать затенение помещения. Если при высокой температуре воздуха наблюдается низкая влажность (правая нижняя часть I-d диаграммы), целесообразно использовать охлаждение воздуха методом испарения.

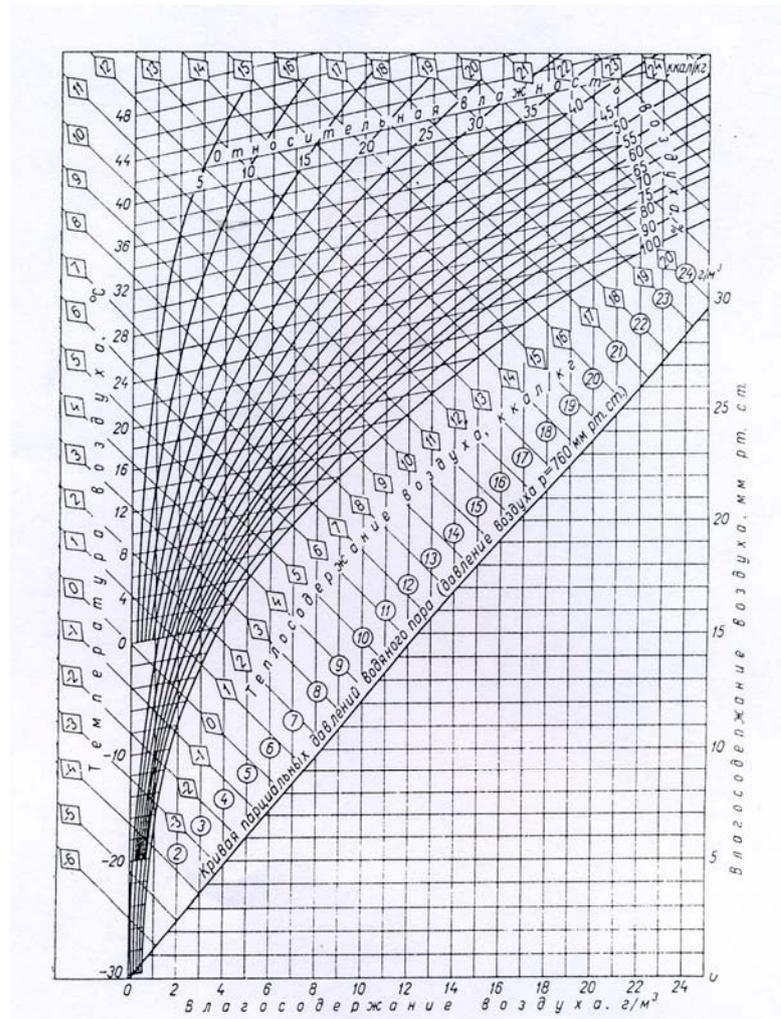


Рис. 4.16 I-d диаграмма

Для того, чтобы детализировать методику кондиционирования, т.е. выбрать один из методов регулирования влагосодержания приточного воздуха, описанных выше, по I-d диаграмме рассчитывают расходы холода для всех трех методов. Проектировщик выявляет с помощью I-d диаграммы области изменения параметров наружного воздуха по каждому методу в данном конкретном пункте. Затем каждую область разбивают на участки с одинаковым режимом работы кондиционера. После этого в центральных точках каждой области определяется по нанесенным ранее значениям температуры и влажности воздуха определяют мгновенные расходы тепла, по которым затем рассчитывают с использованием весовых коэффициентов расход холода (и теплоты). Здесь мы не излагаем подробности последней процедуры по той причине, что она требует специальных знаний. Роль климатолога в данном случае заключается в нанесении на I-d диаграмму области реального климата в заданном пункте кондиционирования. Эта информация, наряду с изложенной в следующем параграфе, предлагается фирмам, торгующим кондиционерами и вентиляторами.

В заключение следует отметить, что I-d диаграмма может служить также для решения ряда других задач. Например, по ней можно определить энтальпию, зная температуру и влажность воздуха. или определить величину КЛЮ, т.е. установить вид одежды, необходимой для здоровья человека и т.д.

4.2.2 Несущие конструкции

Несущими называются конструкции, испытывающие нагрузку от сооружения. Это основания и фундаменты зданий, каркасы зданий, кровли, колонны и т.д. Некоторые стены также могут называться несущими конструкциями.

От климатических условий зависит в первую очередь проектирование оснований и фундаментов зданий, а также кровель.

Очевидно, что для проектирования оснований и фундаментов наиболее важны данные о глубине промерзания и протаивания почвы.

Основной характеристикой сезонного промерзания грунтов является глубина промерзания под оголенной поверхностью. Именно эта характеристика используется при проектировании зданий и сооружений. Вместе с тем полезно иметь информацию и о глубине промерзания под естественным покровом. Эти данные необходимы при проектировании различных магистральных трубопроводов, которые в основном располагаются не под оголенной, а под естественной поверхностью. Кроме того, дома в новых районах строятся на значительном расстоянии друг от друга, тротуары проходят в некотором удалении от стен зданий, поэтому часть площадки, примыкающая к фундаменту здания, остается в какой-то степени покрытой снегом зимой и травой летом.

Для расчета глубины сезонного промерзания почвы под снегом используется формула

$$\xi = 1.2 \left(-\bar{S} + \sqrt{\bar{S}^2 + \frac{2\lambda_m / \bar{T}_{B3} / \tau}{Q'_\omega}} \right) - \varepsilon \sqrt{a_T \tau} \quad (4.77)$$

$$Q'_\omega = Lv_{CK}(\omega_C - \omega_H) - 0,3c_M \bar{T}_{B3}; \quad \bar{S} = \lambda_m \bar{h}_C / \lambda_C \quad (4.78)$$

где ξ — глубина промерзания, м; \bar{S} — эквивалентный слой, характеризующий теплоизоляцию, м; λ_m и λ_C — коэффициенты теплопроводности соответственно мерзлой почвы и снега, кДж/(с * м * °С); Q'_ω — расход тепла на замерзание единицы объема почвы, кДж/м³; h_C — высота снежного покрова, м; L — теплота таяния льда, кДж/кг; ω_C и v_{CK} — соответственно суммарная влажность (%) и плотность скелета пород, кг/м³; ω_H — содержание незамерзшей воды (%) при средней годовой температуре почвы T_0 , °С; c_T и c_M — объ-

емная теплоемкость соответственно талой и мерзлой почвы, кДж/(м³ * °С); T_{ВЗ} — средняя температура воздуха за весь период промерзания, °С; τ — время промерзания, с; a_Т — коэффициент температуропроводности в талой зоне, м/с; ε — вспомогательный параметр, который определяется по табл. 4.14 в зависимости от двух критериев:

Таблица 4.14

Зависимость параметра ε от критериев K_а и K_с

K _с	K _а					
	0,005	0,1	0,15	0,2	0,3	0,4
0,01	0,007	0,007	0,008	0,008	0,008	0,009
0,02	0,013	0,014	0,015	0,015	0,016	0,017
0,03	0,019	0,021	0,022	0,023	0,024	0,025
0,04	0,025	0,027	0,030	0,030	0,032	0,034
0,05	0,032	0,034	0,036	0,036	0,040	0,042
0,06	0,037	0,040	0,042	0,044	0,047	0,050
0,07	0,043	0,046	0,049	0,051	0,055	0,057
0,08	0,043	0,052	0,054	0,058	0,062	0,065
0,09	0,054	0,058	0,062	0,064	0,069	0,073
0,10	0,059	0,064	0,068	0,071	0,076	0,080
0,12	0,069	0,075	0,080	0,084	0,090	0,095
0,14	0,078	0,086	0,092	0,096	0,103	0,108
0,16	0,087	0,096	0,103	0,108	0,116	0,122
0,18	0,095	0,106	0,113	0,119	0,128	0,136
0,20	0,103	0,115	0,124	0,13	0,140	0,149
0,25	0,120	0,137	0,148	0,156	0,169	0,179
0,30	0,136	0,157	0,170	0,180	0,195	0,208
0,35	0,150	0,174	0,190	0,201	0,220	0,234
0,40	0,162	0,190	0,208	0,222	0,243	0,259
0,45	0,173	0,205	0,225	0,240	0,264	0,282
0,50	0,182	0,218	0,240	0,257	0,284	0,304
0,60	0,198	0,241	0,268	0,288	0,319	0,343
0,70	0,211	0,260	0,291	0,315	0,351	0,379
0,80	0,221	0,276	0,311	0,338	0,378	0,410

$$K_c = c_T \bar{T}_0 / Q'_\omega; \quad K_a = \lambda_M |T_{II}| / (a_T Q'_\omega)$$

$$\bar{T}'_0 = \bar{T}_0 - 0.5; \quad \bar{T}'_{II} = \bar{T}_{B3} \eta \quad (4.79)$$

\bar{T}_{II} — средняя температура почвы под снегом, °С; η — вспомогательный параметр, который определяется по табл. 4.14 в зависимости от критерия

$$K_3 = \bar{S}^2 Q'_w / (\lambda_M | \bar{T}_{B3} | \tau) \quad (4.80)$$

Таблица 4.15

Зависимость вспомогательного параметра η от критерия K_3

ε	η	K_3	η	K_3	η	K_3	η	K_3	η
0,00	1,00	0,10	0,64	0,5	0,35	1,4	0,22	4,00	0,10
0,01	0,87	0,15	0,58	0,6	0,33	1,6	0,20	5,00	0,08
0,02	0,82	0,20	0,54	0,7	0,32	1,80	0,18	6,00	0,07
0,03	0,78	0,25	0,50	0,8	0,30	2,00	0,17	8,00	0,06
0,04	0,75	0,30	0,47	0,9	0,29	2,5	0,15	10,00	0,05
0,05	0,73	0,35	0,44	1,00	0,27	3,00	0,13	15,00	0,03
0,07	0,69	0,40	0,42	1,20	0,24	3,5	0,12	20,00	0,00

Пример. Расчет глубины сезонного промерзания почвы под снегом в Игарке за зиму 1973-74 г.

Исходные данные: почва суглинистая; $L = 3,35 \cdot 10^2$ кДж/кг; $\nu = 1500$ кг/м³; $\omega_c = 30\%$; $\omega_n = 10\%$; $\lambda_M = 1,42 \cdot 10^{-3}$ кДж/(см×м×°С); $c_{T.} = 3,14 \cdot 10^3$ кДж/(м³×°С); $c_M = 2,41 \cdot 10^3$ кДж/(м кДж/(м³×°С)); $a_T = 0,04 \cdot 10^{-5}$ м²/с; $\bar{T}_{B3} = -19,2$ °С; $\bar{T}_o = -1,5$ °С; $\tau = 243$ сут = $21,0 \cdot 10^6$ с; $h_c = 0,46$ м; $\lambda_c = 0,26 \cdot 10^{-3}$ кДж/(см×м×°С).

Порядок расчета:

1) $\bar{S} = 1,42 \cdot 10^{-3} \times 0,46 / (0,26 \cdot 10^{-3}) = 2,5$ м;

2) $Q'_w = 3,35 \cdot 10^2 \times 1500 \times (0,30 - 0,10) - 0,3 \times 2,41 \cdot 10^3 - (-19,2) = 11,4 \cdot 10^4$ кДж/м³;

3) $K_3 = 2,5^2 \times 11,4 \cdot 10^4 / (1,42 \cdot 10^{-3} \times (-19,2) \times 21,0 \cdot 10^6) = 1,24$.

Далее из табл. 4.14 по $K_3 = 1,24$ находим, что $\eta = 0,24$. Тогда

$\bar{T}_{II} = -19,2 \times 0,24 = -4,6$ °С.

Для определения вспомогательного параметра ε рассчитываем значения критериев K_a и K_c

$K_a = 1,42 \cdot 10^{-3} \times 0,46 / (0,04 \cdot 10^{-5} \times 11,4 \cdot 10^4) = 0,14$;

$\bar{T}'_o = \bar{T}_o + 0,5 = 2$ °С;

$K_c = 3,14 \cdot 10^3 \times 2 / (11,4 \cdot 10^4) = 0,06$.

Из табл. 4.14 по $K_a = 0,14$ и $K_c = 0,06$ находим, что $\varepsilon = 0,042$. Таким образом, по формуле (4.77) получаем

$$\varepsilon = 1,2 \left(-2,5 + \sqrt{6,25 + \frac{2 \times 1,42 \times 10^{-3} \times (-19) \times 21,0 \times 10^{-6}}{11,4 \times 10^4}} \right) - 0,042 \times \sqrt{0,04 \times 10^{-5} \times 21,0 \times 10^6}$$

$$= 1,2 \times (-2,5 + 4,05) - 0,12 = 1,74 \text{ м}$$

Зависимость (4.77) при $\bar{S} = 0$ и без коэффициента 1,2 перед скобкой определяет глубину промерзания оголенной почвы.

Предложенная методика дает возможность рассчитать природную глубину промерзания. Кроме этого, в соответствии с требованием строительных норм и правил определяют нормативную глубину промерзания грунта. Согласно СНиП 2.02.01-83, она принимается равной средней из ежегодных максимальных глубин сезонного промерзания грунта (по данным наблюдений за период не менее 10 лет) на открытой, оголенной от снега горизонтальной площадке при уровне подземных вод, расположенном ниже глубины сезонного промерзания грунта.

Нормативную глубину сезонного промерзания грунта d_{fn} при отсутствии данных многолетних наблюдений следует определять на основе теплотехнических расчетов. Для районов, где глубина промерзания не превышает 2,5 м, ее нормативное значение (м) допускается вычислять по формуле

$$d_{fn} = d_0 \sqrt{M_T} \quad (4.81)$$

где M_T — безразмерный коэффициент, численно равный сумме абсолютных значений средних месячных отрицательных температур за зиму в данном районе, принимаемых по СНиП 2.01.01-82, а при отсутствии в них данных для конкретного пункта или района строительства — по результатам наблюдений гидрометеорологической станции, находящейся в аналогичных условиях с районом строительства; d_0 — постоянное значение, равное 0,23 м для суглинков и глин, 0,28 м для супесей, песков мелких и пылеватых, 0,30 м для песков гравелистых, крупных и средней крупности, 0,34 м для крупнообломочных грунтов.

Значение d_0 для грунтов неоднородного сложения определяется как средневзвешенное в пределах глубины промерзания.

Пример. Расчет нормативной глубины промерзания почвы в Свирице. Исходные данные: почва суглинистая; температура наружного воздуха в январе $-9,5$ °С, в феврале $-9,6$ °С, в декабре $-6,8$ °С; $d_0 = 0.23$.

По формуле (4.71) вычисляем d_{fn} :

$$d_{fn} = 0,23 \times \sqrt{25,9} = 1,17 \text{ м}$$

Расчетная глубина сезонного промерзания грунта (м) определяется по формуле

$$d_f = d_{fn} \times k_h \quad (4.82)$$

где k_h — коэффициент, учитывающий влияние теплового режима сооружения, принимается:

— для наружных фундаментов отапливаемых сооружений - по табл. 4.16;

— для наружных и внутренних фундаментов неотапливаемых сооружений $k_h = 1,1$, кроме районов с отрицательной средней годовой температурой.

Таблица 4.16

Значения коэффициента k_h в зависимости от расчетной средней суточной температуры воздуха T в помещении, примыкающем к наружным фундаментам

Особенности сооружения	T °С				
	0	5	10	15	20 и более
без подвала, с полами, устраиваемыми по грунту	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5
без подвала, с полами, устраиваемыми на лагах по грунту	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6
по утепленному цокольному перекрытию	1,0	1,0	0,9	0,8	0,7
с подвалом или техническим подпольем	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4

Пример. Определение расчетной глубины сезонного промерзания грунта в г. Свирице для отапливаемых сооружений с подвалом при расчетной средней суточной температуре воздуха в помещении 17 °С.

По табл. 4.16 находим, что $k_h = 0,6$, так как при промежуточных значениях температуры воздуха коэффициент k_h принимается с округлением до ближайшего меньшего значения, указанного в таблице.

Из предыдущего примера по формуле (4.81) получим, что $d_{fn} = 1,17$ м.

Таким образом, по формуле (4.82) находим $d_f = 0,5 \cdot 1,17 = 0,59$ м.

В районах с отрицательной средней годовой температурой воздуха расчетная глубина промерзания грунта для неотапливаемых сооружений определяется из теплотехнического расчета в соответствии с требованиями СНиП 2.02.04-88.

Нормативная глубина (м) сезонного промерзания вечномерзлого грунта d_{fn} [15] определяется по формуле

$$d_{fn} = d'_f \times \frac{k_{wc}}{k_w} \sqrt{\frac{(T_{fm} - T_{bf}) \times t_{fm}}{(T_f - T_{bf}) \times t_f}} \quad (4.83)$$

где d'_f — наибольшая глубина сезонного промерзания грунта в годовом периоде, устанавливаемая по данным натуральных наблюдений в соответствии с ГОСТ 2484—81, м; T_{fm} и t_{fm} — соответственно средняя по многолетним данным температура воздуха за период отрицательных температур (°С) и продолжительность этого периода (ч); T_f и t_f — соответственно средняя температура воздуха (°С) за период отрицательных температур и продолжительность этого периода (ч) в год проведения наблюдений, принимаемые по метеорологическим данным; k_w и k_{wc} — коэффициенты, принимаемые по табл. 4.16 в зависимости от суммарной влажности грунта W_{tot} (в долях единицы), устанавливаемой за время эксплуатации сооружения, и влажности грунта в период наблюдений; T_{bf} — температура начала замерзания грунта (°С), определяемая по табл. 4.17.

Таблица 4.17

Значения коэффициентов k_w и k_{wc} при различной суммарной влажности грунта W_{tot}

Грунты	W_{tot}					
	0.05	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
Песчаные	1,0	0,92	0,83	0,75	0,70	
Пылевато-глинистые		1,03	0,94	0,86	0,85	0,83

Таблица 4.18

Температура начала замерзания грунта T_{bf} (°С) в зависимости от концентрации перового раствора c_{ps}

Грунты	c_{ps}					
	0	0,005	0,01	0,02	0,03	0,04
Песчаные	0	-0,6	-0,8	-1,6	-2,2	-2,8
Пылевато-глинистые супеси	-0,1	-0,6	-0,9	-1,7	-2,3	-2,9
Пылевато-глинистые суглинки и глины	-0,2	-0,6	-1,1	-1,8	-2,5	-3,2

в зависимости от вида грунта и вспомогательного коэффициента c_{ps} , который вычисляется по формуле

$$c_{ps} = \frac{D_s}{D_s + W_{tot}} \quad (4.84)$$

(D_s - степень засоленности грунта, определяемая по ГОСТ 25100—82, доли единицы).

При проектировании кровель необходимо учитывать снеговые нагрузки. Методика расчета снеговых нагрузок, изложена в главе 4.2.3

4.2.3 Нагрузки и воздействия

Метеорологические нагрузки оказывают негативное влияние на различные объекты. Под их воздействием происходит ускоренное старение сооружений, а в некоторых случаях и их разрушение.

Неучет нагрузок при проектировании сооружений может привести, с одной стороны, к удорожанию сооружений (когда запас прочности, а следовательно, и его стоимость значительно выше уровня нагрузок в данном районе), а с другой стороны, к разрушению сооружения (запас прочности меньше уровня нагрузок), что в конечном счете также приводит к излишним затратам на восстановление разрушенного. Таким образом, учет нагрузочно-климатических ресурсов позволяет уменьшить неблагоприятное воздействие нагрузок, минимизировать затраты на строительство сооружений, проводить более гибкую стратегию в строительстве (для регионов с различными нагрузочно-климатическими ресурсами возводить не однотипные сооружения, а приспособленные к данным климатическим условиям, использовать оптимальные для данных районов строительные материалы и т. д.). Учет нагрузочно-климатических ресурсов производится на стадии проектирования сооружений, при этом для различных сооружений некоторые виды нагрузок могут не приниматься в расчет, в то время как другие имеют решающее значение. Например, для линий связи (ЛС) и электропередачи (ЛЭП) основными являются гололедные и гололедно-ветровые нагрузки, а снеговые в расчет не принимаются. Снеговые же нагрузки являются основными при проектировании различных покрытий.

Использование нагрузочно-климатических ресурсов — пассивное — заключается в проведении мероприятий, которые позволяют снизить негативное воздействие нагрузок. Это достигается, например, при помощи такого расположения сооружений на местности, а также придания им такой формы, которые уменьшают воздействие нагрузок: в районах с

большими ветровыми нагрузками — расположение сооружений таким образом, чтобы сопротивление ветру было минимальным; в градостроительстве — такая планировка кварталов, чтобы скорость ветра в застройке была минимальная; в районах с большими снеговыми нагрузками — сооружение покатых крыш и т. д. Большое значение приобретают разработка и учет специализированных показателей. Например, учет информации о скорости ветра по направлениям может существенно снизить затраты на строительство ЛЭП и ЛС, так как для этих объектов наибольшую опасность представляет скорость ветра, направленного по нормали к проводам. По другим румбам скорость ветра может быть меньше, чем без учета направления.

В зависимости от класса сооружения и срока его эксплуатации нагрузки рассчитываются с разной обеспеченностью (периодом повторения). При расчете нагрузочно-климатических ресурсов принимались нагрузки, возможные 1 раз в 20 лет.

Основными видами метеорологических нагрузок являются: ветровая, снеговая, гололедная и гололедно-ветровая.

Расчет нагрузок состоит в формировании рядов месячных, годовых или сезонных (для расчета снеговых или гололедных нагрузок) метеоэлемента. Затем полученные данные аппроксимируются какой-либо функцией распределения. В климатологии для определения редко наблюдаемых явлений методом статистической экстраполяции наиболее широкое применение нашли такие виды экспоненциальных функций как: распределение Гумбеля (первое предельное распределение), второе предельное распределение Фишера-Типпета, распределение Гудрича, (третье предельное распределение, которое используется для расчета максимальных скоростей ветра) с использованием всей совокупности данных и распределение Дженкинсона.

4.2.3.1 Ветровая нагрузка.

Ветровая нагрузка определяется как сумма средней статической и пульсационной составляющих. Статическая ветровая нагрузка учитывается при проектировании зданий высотой более 40 м, а для таких сооружений, как телевизионные и радиомачты, башни, опоры линий электропередачи (ЛЭП), дымовые трубы, ветровая нагрузка является основной. Так, увеличение расчетной скорости ветра от 25 до 32 м/с приводит к увеличению расхода арматуры колонн сооружений на 25 %. Стоимость опор ЛЭП для ветров с максимальной скоростью не выше 30 м/с снижается в среднем на 44 % по сравнению со стоимостью ЛЭП для максимально возможных скоростей более 40

м/с. Статическая ветровая нагрузка Q_m , нормальная к поверхности сооружения или к его элементу, определяется по формуле:

$$Q_m = k C_x q \quad (4.85)$$

где C_x — аэродинамический коэффициент (коэффициент лобового сопротивления сооружения), зависящий от типа сооружения (определяется по приложению 4 СНиП 2. 01, 07. - 85*); q — скоростной напор ветра (давление ветра на единицу поверхности), кг/м², k — коэффициент, учитывающий изменение давления ветра по высоте (определяется по табл. 4.9)

Климатическим показателем является скоростной напор ветра q . Динамическая составляющая ветровой нагрузки обусловлена порывистостью ветра. Она является кратковременной, однако по значению часто превосходит статическую составляющую. Динамическая составляющая в значительно большей степени, чем статическая, зависит от динамических свойств сооружения. Вопросы учета динамической составляющей ветровой нагрузки на сооружения разработаны недостаточно полно и выходят за пределы области строительной климатологии.

Нормативное значение давления ветра q находится по формуле:

$$q = V^2 / 16 \quad (4.86)$$

где V — скорость ветра 10-минутного осреднения на высоте 10 м над поверхностью земли.

Таким образом, основным климатическим параметром ветровой нагрузки можно считать нормативную скорость ветра V .

В табл.4.19 наряду с коэффициентом k , приведен также коэффициент $k_v(z) = \sqrt{K}$, который учитывает изменение нормативной скорости ветра по высоте.

Таблица 4.19

Коэффициенты k и k_v , учитывающие соответственно изменение давления ветра (числитель) и его скорости (знаменатель) по высоте

Высота над поверхностью земли, м	Тип местности		
	А	В	С
≤5	0,75/0,87	0,5/0,71	0,40/0,63
10	1,00/1,00	0,65/0,81	0,40/0,63
20	1,25/1,12	0,85/0,92	0,55/0,74
40	1,50/1,23	1,10/1,05	0,80/0,90

Продолжение таблицы 4.19

60	1,70/1,30	1,30/1,14	1,00/1,00
80	1,85/1,36	1,45/1,21	1,15/1,07
100	2,00/1,42	1,60/1,27	1,25/1,12
150	2,25/1,50	1,90/1,38	1,55/1,25
200	2,45/1,57	2,10/1,45	1,80/1,34
250	2,65/1,63	2,30/1,52	2,00/1,42
300	2,75/1,66	2,50/1,58	2,20/1,48
350	2,75/1,66	2,75/1,66	2,35/1,53
≥480	2,75/1,66	2,75/1,66	2,75/1,66

Примечание. Тип местности: А — открытое побережье морей, озер и водохранилищ, пустыня, степь, лесостепь, тундра; В — городская территория, лесной массив и другая местность, равномерно покрытая препятствиями высотой более 10 м; С — городские районы с застройкой зданиями высотой более 25 м. Сооружение считается расположенным в местности данного типа, если ее характер сохраняется с наветренной стороны сооружения на расстоянии $30z$ при его высоте до 60 м и на расстоянии 2 км при большей высоте сооружения.

Из формулы (4.86) видно, что скорость ветра является переменной, которая должна определяться как можно точнее, поскольку в формулу она входит в квадрате. В результате занижения расчетных ветровых нагрузок по сравнению с действительными возникают аварии (иногда происходит полное разрушение сооружения). При завышении ветровых нагрузок обеспечивается большой запас прочности проектируемого сооружения, но стоимость сооружения может увеличиться настолько, что превзойдет возможные убытки от аварий. В зависимости от типа сооружения, от предполагаемой продолжительности его эксплуатации может быть задана обеспеченность, с которой наблюдается большая скорость ветра и определен предел скорости, который может быть достигнут или превзойден в заданное число лет. Интегральные повторяемости рассчитываются либо по всей совокупности наблюдений за скоростью ветра, либо по ряду выборок, состоящих из годовых или месячных максимумов скорости ветра.

4.2.3.1.1. Определение расчетных скоростей ветра по неоднородным рядам наблюдений

В тех случаях, когда для расчета ветрового давления используются скорости ветра, определенные по разным приборам, следует иметь в виду, что они различаются между собой. Объясняется это тем, что, во-первых, период

осреднения у флюгера (двух минутное осреднение) и анемометра (десяти минутное осреднение) неодинаков; во-вторых, скорость ветра при больших скоростях флюгером систематически завышается.

В этом случае ряды флюгерных и анемометрических наблюдений обрабатываются отдельно. Расчетные скорости ветра определяются отдельно для флюгерной и анемометрической частей ряда. Затем производится приведение расчетной скорости ветра, определенной по данным наблюдений по флюгеру $V_p(\text{фл})$ к данным по анемометру (к $V_p(\text{ан})$) по формуле:

$$V_p(\text{ан}) = 0.72 V_p(\text{фл}) + 2 \quad (4.87)$$

После пересчета производится объединение скоростей за разные периоды (по разным приборам) по формуле:

$$V_p = \frac{V_p^n(\text{ан})n_1 + V_p(\text{ан})n_2}{n_1 + n_2}, \quad (4.88)$$

где n_1 и n_2 - длина периодов, в которые велись наблюдения соответственно по флюгеру и анемометру; $V_p^n(\text{ан})$ - расчетная скорость, определенная по данным наблюдений по флюгеру и приведенная к данным анеморумбометра; $V_p(\text{ан})$ - расчетная скорость ветра по данным за период, когда измерения велись анеморумбометром.

Если ряд наблюдений неоднородный (вначале флюгер с легкой доской, затем анеморумбометр), причем наблюдения по анеморумбометру продолжались не менее 15 лет, а в период наблюдений по флюгеру с легкой доской отмечались скорости ветра свыше 20 м/с, то часть ряда, когда наблюдения велись по флюгеру с легкой доской, исключается из обработки как недостаточно надежная.

4.2.3.1.2. Годовые и месячные максимумы скорости ветра

Если ряды наблюдений достаточно длинные (≥ 20 лет), флюгерная часть наблюдений проводилась по флюгеру с тяжелой доской и при этом не наблюдались скорости ветра > 40 м/с, то в этом случае исходными рядами для расчетов нормативных скоростей ветра могут служить выборки их годовых или месячных максимумов. Для аппроксимации эмпирических рядов годовых или месячных максимумов скорости ветра используются распределения Гумбеля, второе предельное распределение (Фишера-Типпета) и распределение Дженкинсона. К настоящему времени накопились достаточно длинные ряды, поэтому целесообразнее при расчетах использовать годовые максимумы скорости ветра, что облегчает расчеты.

Ряд годовых и месячных максимумов скорости ветра можно скорректировать на непрерывность наблюдений введением повышающего коэффициента k_n по табл. 4.20.

Таблица 4.20

Значения k_n по градациям скоростей ветра, измеренных анеморумбометром М-63М.

Число сроков наблюдений	Скорость ветра, м/с					
	4 - 7	8- 11	12 - 15	16 - 19	20 - 27	>28
4	1.40	1.25	1.15	1.10	1.10	1.05
8	1.30	1.20	1.10	1.10	1.05	1.05

Однако эти коэффициенты невелики и обычно их не вводят в ряды годовых или месячных максимумов.

4.2.3.1.3 Распределения для расчета ветровых нагрузок

1. Распределение Гумбеля (первое предельное распределение):

Данное распределение имеет вид:

$$P(x) = \exp[-e^{-y}] \quad (4.89)$$

где $P(x)$ - вероятность того, что, что величина нагрузки не превзойдет величины x

Расчет нагрузок производится по данным годовых и месячных максимумов. Это распределение применяется в большинстве зарубежных стран и в России. Такое широкое использование этого типа распределения объясняется простотой его применения: параметрами распределения являются среднее эмпирического ряда (\bar{X}) и его среднее квадратическое отклонение (σ), а расчет нагрузки, возможной один раз в заданное число лет (T) аналитическим методом производится по формуле:

$$X_T = \sigma \frac{(y - \bar{y}(n))}{\sigma_y(n)} + \bar{X} \quad (4.90)$$

где $\sigma_y(n)$ и $\bar{y}(n)$ параметры, зависящие от длины исходных рядов (n) и определяются по табл.4.21.

Таблица 4.21

Значения табличных параметров $\sigma_y(n)$ и $\bar{y}(n)$ в зависимости от числа членов ряда (n)

n	$\bar{y}(n)$	$\sigma_y(n)$	n	$\bar{y}(n)$	$\sigma_y(n)$
7	0,4780	0,8700	31	0,5371	1,1159
8	0,4843	0,9043	32	0,5380	1,1193
9	0,4902	0,9288	33	0,5388	1,1226
10	0,4952	0,9497	34	0,5396	1,1255
11	0,4996	0,9676	35	0,5403	1,1285
12	0,5035	0,9833	36	0,5410	1,1313
13	0,5070	0,9972	37	0,5418	1,1339
14	0,5100	1,0095	38	0,5424	1,1363
15	0,5128	1,0206	39	0,5430	1,1388
16	0,5157	1,0316	40	0,5436	1,1413
17	0,5181	1,0411	50	0,5485	1,1607
18	0,5202	1,0493	60	0,5521	1,1747
19	0,5220	1,0566	70	0,5548	1,1854
20	0,5236	1,0628	80	0,5569	1,1938
21	0,5252	1,0696	90	0,5586	1,2007
22	0,5268	1,0754	100	0,5600	1,2065
23	0,5283	1,0811	150	0,5646	1,2253
24	0,5296	1,0864	200	0,5672	1,2360
25	0,5309	1,0914	250	0,5688	1,2429
26	0,5320	1,0961	300	0,5699	1,2479
27	0,5332	1,1004	400	0,5714	1,2545
28	0,5343	1,1047	500	0,5724	1,2588
29	0,5353	1,1086	750	0,5738	1,2651
30	0,5362	1,1124	1000	0,5745	1,2685

$$y = -\text{Ln} \left[-\text{Ln} \left(1 - \frac{1}{NT} \right) \right] \quad (4.91)$$

Здесь T – период повторения нагрузки. По данным годовых максимумов N=1, а по данным месячных максимумов N=12.

Таким образом, расчет нагрузки, возможной один раз в T лет производится по формуле:

$$X_T = \bar{X} + \frac{\sigma}{\sigma_y(n)} \left[-Ln \left(-Ln \left(1 - \frac{1}{NT} \right) \right) - \bar{y}(n) \right] \quad (4.92)$$

Готовые таблицы для расчета $K = \frac{y - \bar{y}(n)}{\sigma_y(n)}$ (по данным годовых максимумов) для различных периодов повторения (T) величины нагрузки и длины ряда (n) представлены в табл. 4.22, т. е расчет производится по формуле:

$$X_T = \bar{X} + \sigma \cdot K \quad (4.93)$$

Таблица 4.22

Зависимость периода повторения от длины ряда

Длина ряда (N), лет	Период повторения (T), лет				
	5	10	20	50	100
10	-0.13	1.85	2.61	3.59	4.61
15	-0.14	1.70	2.41	3.32	4.33
20	-0.14	1.62	2.30	3.18	4.01
25	-0.15	1.58	2.23	3.09	3.74
30	-0.15	1.54	2.19	3.02	3.66
31	-0.15	1.53	2.18	3.01	3.64
32	-0.15	1.53	2.17	3.00	3.63
33	-0.15	1.52	2.17	2.99	3.62
34	-0.15	1.52	2.16	2.99	3.61
35	-0.15	1.52	2.15	2.98	3.61
36	-0.15	1.51	2.15	2.97	3.59
37	-0.15	1.51	2.14	2.96	3.58
38	-0.15	1.50	2.14	2.95	3.57
39	-0.15	1.50	2.13	2.95	3.56
40	-0.15	1.50	2.13	2.94	3.56
50	-0.15	1.47	2.09	2.89	3.5
60	-0.16	1.45	2.06	2.85	3.45
70	-0.16	1.43	2.04	2.82	3.41
80	-0.16	1.42	2.02	2.80	3.39
90	-0.16	1.41	2.01	2.78	3.36
100	-0.16	1.40	2.00	2.77	3.35

Очень часто используется графический способ методики Гумбеля. С этой целью для данного закона распределения построена клетчатка вероятностей, на которой кривая распределения спрямляется. Экстраполируя прямую, можно получить значения нагрузок редкой повторяемости. На оси абсцисс данной клетчатки откладываются значения нагрузок. Данная ось равномерная, поэтому на ней можно откладывать любые равномерные значения (не только те, что указаны на ней). На оси ординат отложены вероятности (в %). Кроме того на ней жирными линиями выделены обеспеченности, соответствующие различным периодам повторения (для годовых максимумов). Данная шкала билогарифмическая. Расчеты производятся в следующем порядке:

Эмпирический ряд годовых или месячных максимумов ранжируется в возрастающем порядке.

Каждый член ранжированного ряда нумеруется (для первого члена ряда $m = 1$, для последнего – $m = n$), здесь m – номер члена ряда, n – общее число членов ряда.

Для каждого члена ряда рассчитывается обеспеченность P по формуле (4.62)

$$P_m = \frac{m}{n+1} \cdot 100\%$$

Величина нагрузки и соответствующее ей значение P_m наносятся на клетчатку.

По данным точкам проводится прямая, так, чтобы количество точек справа и слева от прямой было примерно одинаково.

Связь между обеспеченностью и периодом повторения имеет следующий вид:

$$P(x) = 1 - \frac{1}{NT} \tag{4.94}$$

Для годовых максимумов $N = 1$, для месячных максимумов $N = 12$.

С данной прямой в соответствии с обеспеченностью (периодом повторения) снимается величина нагрузки. Графический метод носит до некоторой степени субъективный характер. Однако он позволяет подкорректировать интегральную прямую. Так, как правило, несколько первых точек (малой обеспеченности) на сетчатке плохо ложатся на нее. Их обычно не учитывают.

Однако, строго говоря, применение I типа распределения правомочно только при фиксированном значении коэффициента асимметрии исходного ряда, а именно при $C_s = 1,14$. При значениях коэффициента асимметрии, отличных от значения 1,14, расчетные скорости ветра редкой повторяемости будут либо занижаться (при $C_s > 1,14$), либо завышаться (при $C_s < 1,14$).

2. Распределение Дженкинсона.

Распределение Дженкинсона свободно от этого недостатка, его применение возможно при любом значении коэффициента асимметрии. Дженкинсон представил все три типа предельных распределения в общей форме.

Для практического применения этого распределения необходимо рассчитать меру кривизны кривой распределения, равную отношению σ_1/σ_2 .

Для расчета σ_1 и σ_2 предлагаются следующие формулы:

$$\sigma_1 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n x_i^2}{n-1} - \frac{n}{n-1} \left(\frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \right)^2} \quad (4.95)$$

$$\sigma_2 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n f_i x_i^2}{N-1} - \left(\frac{\sum_{i=1}^n f_i x_i}{N} \right)^2} \quad (4.96)$$

здесь σ_1 – стандарт ряда годовых (месячных) максимумов эмпирического ряда, x_i – экстремальные значения, расположенные в возрастающем порядке, m – порядковый номер члена выборки, n – общее число членов выборки, $f_i = 2m - 1$,

$$N = \sum_{i=1}^n f_i \quad (4.97)$$

Предварительно эмпирический ряд ранжируется в возрастающем порядке. Первому (наименьшему члену ряда) присваивается номер 1 ($m = 1$), последнему – n .

Для первого члена ряда $f = 1$, для второго члена $f = 3$ и т. д.

Чем больше отношение σ_1/σ_2 по абсолютной величине отличается от 1, тем меньше оснований для аппроксимации распределения данного эмпирического ряда распределением Гумбеля.

Расчет нагрузок по методу Дженкинсона можно представить в виде:

$$X_T = KD\sigma_1 + \bar{X} \quad (4.98)$$

X_T - величина нагрузки, возможная один раз в T лет, \bar{X} - среднее из годовых максимумов.

Вычислив σ_1 , σ_2 по формулам (4.95 и 4.96) по соотношению σ_1/σ^2 в табл (4.23) легко найти значение расчетной величины нагрузки, возможной один раз в T лет. В этой таблице представлены значения коэффициента KD (по данным годовых максимумов). В последнем столбце этой таблицы представлены значения коэффициента K , который определяет тип распре-

деления. При $K < 0$ имеем II тип распределения, если $K > 0$ – III тип распределения, при $K = 0$ – I тип распределения.

Таблица 4.23.

Коэффициенты K_D для вычисления X_T методом Дженкинсона.

σ_1/σ_2	Период повторения (T), лет						K
	10	25	50	100	250	1000	
0,85	1,05	1,95	2,76	3,71	5,22	8,22	-0,23
0,86	1,08	1,98	2,78	3,70	5,15	7,97	-0,22
0,87	1,10	2,00	2,78	3,68	5,07	7,71	-0,20
0,88	1,13	2,02	2,79	3,65	4,98	7,46	-0,18
0,89	1,15	2,03	2,78	3,62	4,89	7,21	-0,17
0,90	1,17	2,05	2,78	3,59	4,80	6,97	-0,15
0,91	1,19	2,05	2,77	3,55	4,70	6,73	-0,14
0,92	1,21	2,06	2,76	3,51	4,60	6,50	-0,12
0,93	1,23	2,07	2,74	3,47	4,51	6,28	-0,10
0,94	1,24	2,07	2,73	3,42	4,41	6,06	-0,09
0,95	1,26	2,07	2,71	3,38	4,31	5,85	-0,07
0,96	1,27	2,07	2,69	3,33	4,22	5,65	-0,06
0,97	1,28	2,06	2,67	3,28	4,12	5,46	-0,04
0,98	1,29	2,06	2,64	3,23	4,03	5,28	-0,03
0,99	1,30	2,05	2,62	3,19	3,94	5,10	-0,01
1,00	2,20	2,94	3,49	4,04	4,75	5,84	0,00
1,01	1,31	2,04	2,57	3,09	3,77	4,78	0,01
1,02	1,32	2,03	2,54	3,04	3,68	4,62	0,03
1,03	1,32	2,02	2,51	2,99	3,60	4,48	0,04
1,04	1,33	2,01	2,49	2,94	3,52	4,34	0,06
1,05	1,33	1,99	2,46	2,90	3,44	4,20	0,07
1,06	1,33	1,98	2,43	2,85	3,37	4,08	0,08
1,07	1,34	1,97	2,40	2,80	3,29	3,95	0,10
1,08	1,34	1,96	2,37	2,76	3,22	3,84	0,11
1,09	1,34	1,94	2,35	2,72	3,15	3,73	0,12
1,10	1,34	1,93	2,32	2,67	3,09	3,62	0,14
1,11	1,34	1,91	2,29	2,63	3,02	3,52	0,15
1,12	1,34	1,90	2,26	2,59	2,96	3,42	0,16
1,13	1,34	1,89	2,24	2,55	2,90	3,33	0,18
1,14	1,34	1,87	2,21	2,51	2,84	3,24	0,19
1,15	1,33	1,86	2,18	2,47	2,78	3,16	0,20

Продолжение таблицы 4.23

1,16	1,33	1,84	2,16	2,43	2,73	3,08	0,21
1,17	1,33	1,83	2,13	2,39	2,67	3,00	0,23
1,18	1,33	1,81	2,11	2,35	2,62	2,93	0,24
1,19	1,32	1,80	2,08	2,32	2,57	2,86	0,25
1,20	1,32	1,78	2,05	2,28	2,52	2,79	0,26
1,21	1,32	1,77	2,03	2,25	2,48	2,73	0,28
1,22	1,31	1,75	2,01	2,21	2,43	2,67	0,29
1,23	1,31	1,74	1,98	2,18	2,39	2,61	0,30
1,24	1,31	1,72	1,96	2,15	2,34	2,55	0,31
1,25	1,30	1,71	1,93	2,12	2,30	2,50	0,32
1,26	1,30	1,69	1,91	2,09	2,26	2,44	0,33
1,27	1,29	1,68	1,89	2,06	2,22	2,39	0,34
1,28	1,29	1,66	1,87	2,03	2,19	2,34	0,36
1,29	1,28	1,65	1,85	2,00	2,15	2,30	0,37
1,30	1,28	1,63	1,82	1,97	2,11	2,25	0,38

3. Второе предельное распределение (Фишера-Типпета)

Второе предельное распределение записывается в виде:

$$\varphi(x) = \exp\left[-(x/u)^{-\alpha}\right] \quad (4.99)$$

Здесь $\varphi(x)$ - вероятность того, что величина нагрузки не превзойдет величину x ,

u и α - параметры распределения.

Прологарифмировав функцию (4.99) дважды получим:

$$\ln[-\ln\varphi(x)] = -\alpha(\ln x - \ln u) \quad (4.100)$$

Для этого распределения построены клетчатки вероятности. На оси абсцисс отложен логарифм величины нагрузки, а на оси ординат – билогарифм функции (интегральная повторяемость нагрузки). Если эмпирические интегральные повторяемости достаточно хорошо описываются функцией $\varphi(x)$, то точки, по которым они строятся в указанной системе координат, будут укладываться на прямую линию. Связь между обеспеченностью и периодом повторения выражается формулой (4.94). Так, как шкала абсцисс в этом распределении логарифмическая, а не равномерная, как в распределении Гумбеля, то произвольно наносить величины нагрузок на эту ось невозможно. Для различных видов нагрузок построены свои клетчатки вероятности. Расчет нагрузок различной обеспеченности с использованием данного распределения ана-

логичен графическому методу Гумбеля, т. е. эмпирический ряд ранжируется в возрастающем порядке, каждому члену ранжированного ряда присваивается порядковый номер, для каждого члена ряда рассчитывается интегральная обеспеченность. Данные наносятся на клетчатку, проводится прямая, с которой и снимаются величины нагрузок, т. е. алгоритм расчета нагрузок аналогичен расчету по методу Гумбеля.

Для расчета величин нагрузок с повторяемостью 5 – 25 лет выбор функции распределения не имеет существенного значения. Величины нагрузок редкой повторяемости (один раз в 100 или 1 раз в 10000 лет) зависят от выбора функции распределения.

В таблице 4.24 приведены данные для расчета ветровых нагрузок по методу Гумбеля (аналитическим и графическим вариантами), Дженкинсона и с использованием второго предельного распределения по данным годовых максимумов.

Таблица 4.24

V м/с в хронологическом порядке	V м/с в возрастающем порядке	m	$\frac{m}{n+1}100\%$	f_m	$f_m V_m^2$	$f_m V_m$
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)		
16	14	1	3.3	1	196	14
18	14	2	6.7	3	588	42
16	14	3	10.0	5	980	70
20	14	4	13.3	7	1372	98
18	14	5	16.7	9	1764	126
20	15	6	20.0	11	2475	165
18	15	7	23.3	13	2925	195
24	16	8	26.7	15	3840	240
24	16	9	30.0	17	4352	272
22	16	10	33.3	19	4864	304
28	17	11	36.7	21	6069	357
20	18	12	40.0	23	7452	414
18	18	13	43.3	25	8100	450
25	18	14	46.7	27	8748	486
17	18	15	50.0	29	9396	522
18	18	16	53.3	31	10044	558
22	18	17	56.7	33	10692	594
20	20	18	60.0	35	14000	700

Продолжение таблицы 4.24

15	20	19	63.3	37	14800	740
14	20	20	66.7	39	15600	780
14	20	21	70.0	41	16400	820
15	20	22	73.3	43	17200	860
14	22	23	76.7	45	21780	990
14	22	24	80.0	47	22748	1034
20	24	25	83.3	49	28224	1176
24	24	26	86.7	51	29376	1224
14	24	27	90.0	53	30528	1272
16	25	28	93.3	55	34375	1375
18	28	29	96.7	57	44688	1596

В первом столбце данной таблицы представлены данные о максимальных скоростях ветра в хронологическом порядке, во втором – максимумы скорости ветра в возрастающем порядке, в третьем столбце – номер ранжированного ряда, в 5 – 7 столбцах приведены данные для расчета скоростей ветра по методу Дженкинсона (для определения параметра σ_2). Для определения расчетных скоростей ветра различной обеспеченности (периода повторения) графическим методом данные второго и четвертого столбцов наносятся на клетчатку для распределений Гумбеля и второго предельного распределения (рис.4.17, 4.18). С данных клетчаток снимаем расчетные скорости ветра. На клетчатке для второго предельного распределения (рис. 4.18) реперные линии (линии периодов повторения, выделенные жирными линиями) даны для месячных максимумов. Обеспеченность для годовых максимумов рассчитывается по формуле (4.94) при $N=1$.

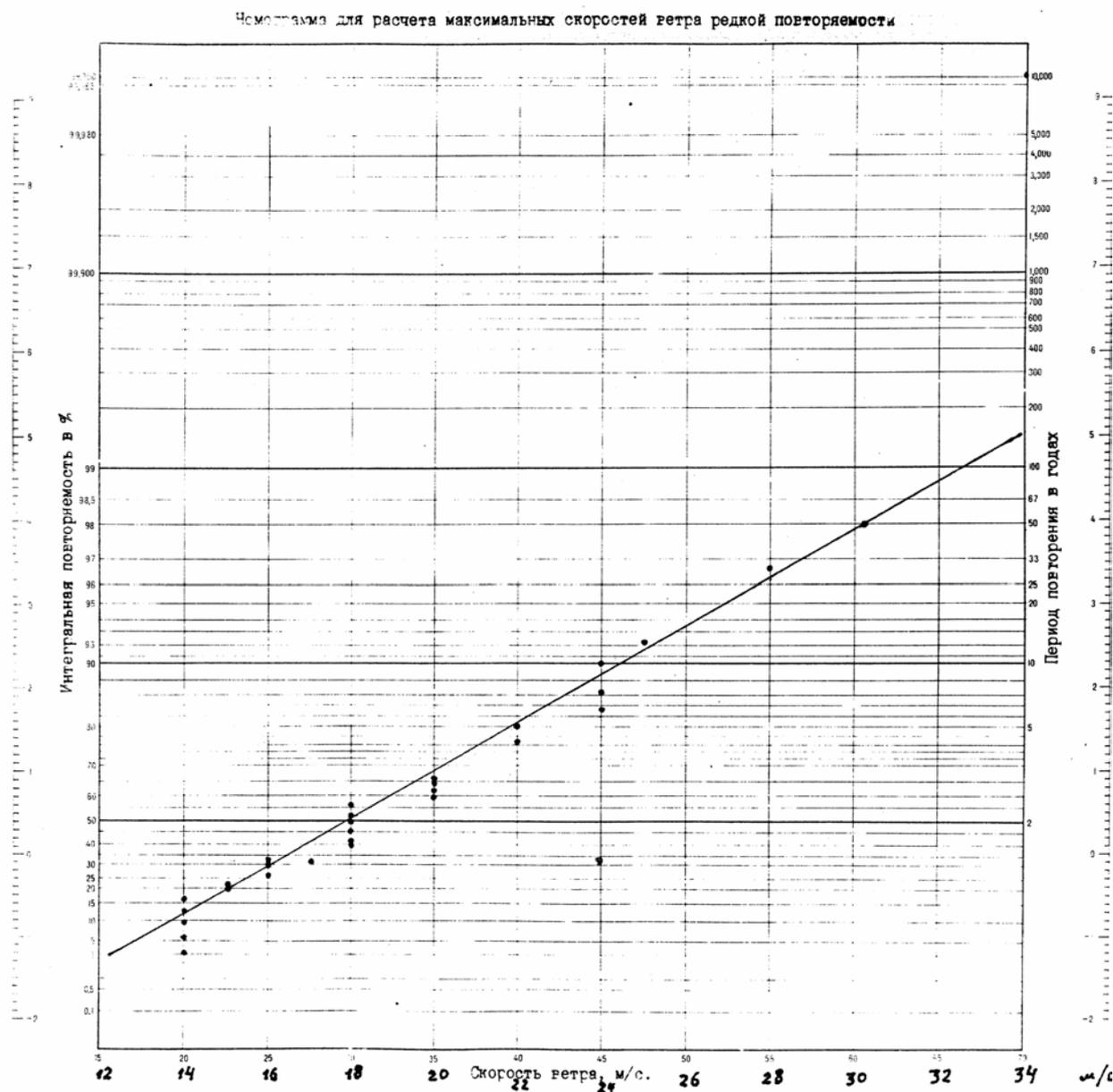


Рис. 4.17. Распределение годовых максимумов скорости ветра на клетчатке Гумбеля.

№2

НОМЕРЫМЯ ДЛЯ РАСЧЕТА МАКСИМАЛЬНЫХ СКОРОСТЕЙ ВЕТРА РАЗЛИЧНОЙ ПОВТОРЯЕМОСТИ.

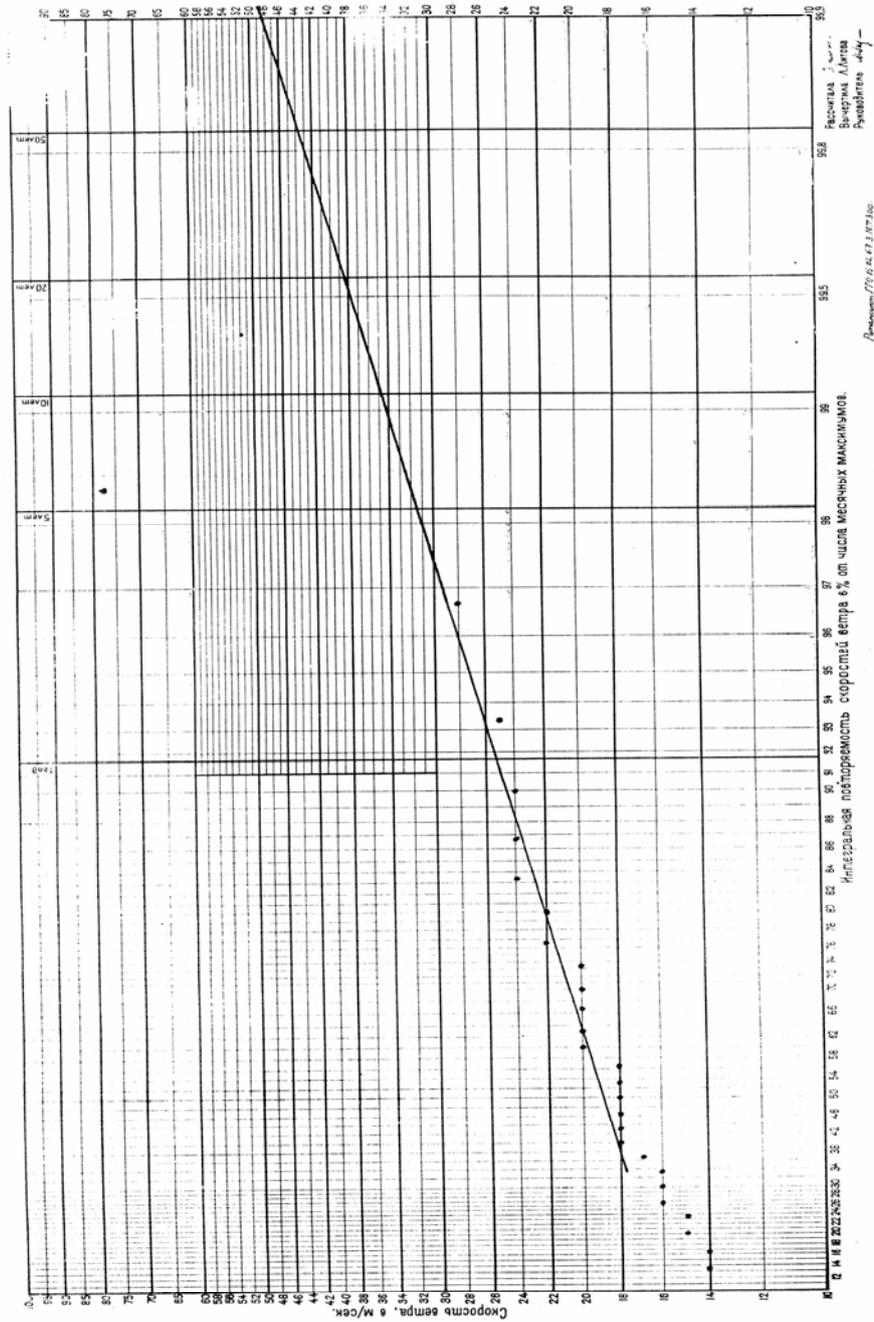


Рис. 4.18. Распределение годовых максимумов скорости ветра на клетчатке второго предельного распределения (Фишера-Типпета).

Для данного ряда годовых максимумов скорости ветра стандарт отклонения (σ_1) равен 3.84, среднее эмпирического ряда – 19.1 м/с. Применяя эмпирический метод распределения Гумбеля по формуле (4.93) и таблице 4.22 для $n = 29$ получаем расчетные скорости ветра, возможные один раз в 50 и 100 лет:

$$V_{50} = 3.02 \cdot 3.84 + 19.1 = 28 \text{ м/с}$$

$$V_{100} = 3.66 \cdot 3.84 = 19.1 = 33 \text{ м/с}$$

Столбцы 5 – 7 предназначены для расчета параметра σ_2 распределения Дженкинсона по формуле (4.96). По формуле (4.97) определяем N

$$N = \sum_1^{29} f_m, \quad N = 841 \text{ (5 столбец)}.$$

Левая часть подкоренного выражения формулы (10) (по данным 6 столбца) равна:

$$\frac{373576}{480} = 444.73, \text{ правая часть этого выражения (по данным 7 столбца)}$$

равна:

$$\left(\frac{17474}{481} \right)^2 = 431.71, \text{ все подкоренное выражение равно:}$$

$$444.73 - 431.71 = 13.02$$

$$\sigma_2 = \sqrt{13.02} = 3.61$$

$$\text{Отношение } \frac{\sigma_1}{\sigma_2} = 1.06$$

По данным таблицы 4.23 в соответствии с величиной отношения

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_2} = 1.06 \text{ и периодом повторения 50 и 100 лет находим коэффициенты}$$

K_{D50} и K_{D100} , которые равны соответственно 2.43 и 2.85. Согласно формуле (4.98) находим расчетные скорости ветра по методу Дженкинсона:

$$V_{50} = 2.43 \cdot 3.84 + 19.1 = 28 \text{ м/с}$$

$$V_{100} = 2.85 \cdot 3.84 + 19.1 = 30 \text{ м/с}.$$

Данные, снятые с клетчатки Гумбеля для периодов повторения 50 и 100 лет соответственно равны 30 м/с и 33 м/с, а с клетчатки для второго предельного распределения – 31 и 34 м/с.

Пример. Определение расчетных скоростей ветра методом моментов по данным о месячных максимумах скорости ветра с использованием распределения Гумбеля.

Пусть среднее значение месячных максимумов $\bar{V} = 17 \text{ м/с}$, среднее квадратическое отклонение месячных максимумов $\sigma = 3.7 \text{ м/с}$, длина исходного ряда 195 членов. Необходимо определить расчетную скорость ветра, возможную один раз в 5 лет ($T=5$).

$$\text{Определим значение } F(V>x) = 1 - 1/NT = 1 - 1/(12 \cdot 5) = 0.98.$$

По табл. 4.21 находим значения $\bar{y}(n)$ и $\sigma_y(n)$, соответствующие длине исходного ряда - 195:

$\bar{y}(n) = 0.5669$ и $\sigma_y(n) = 1.2349$. Используя выражение (4.92) получим:

$$V_5 = 17 + \frac{3.7}{1.2349} [-\text{Ln}(-\text{Ln}0.98) - 0.5669] = 27.6 \text{ м/с.}$$

Искомая скорость ветра, возможная 1 раз в 5 лет, равна 27.6 м/с

Общая совокупность наблюдений

При расчете по всей совокупности наблюдений за многолетний период в качестве аппроксимационной функции принимается функция, предложенная Л. С. Гандиным (метод ГГО).

$$F(x) = \exp[-(x/\beta)^\gamma], \quad (4.101)$$

здесь $F(x)$ - вероятность того, что скорость ветра достигнет или превзойдет величину x ; β и γ - параметры распределения.

После двойного логарифмирования получаем:

$$\text{Ln}[-\text{Ln}F(x)] = \gamma(\text{Ln}x - \text{Ln}\beta); \quad (4.102)$$

где γ - тангенс угла наклона прямой к оси X , β - значение скорости ветра (V) с вероятностью 0,368.

В указанных координатах получаем уравнение прямой линии.

Связь между периодом повторения нагрузки и обеспеченностью определяется по формуле:

$$T = \frac{1}{NF(x)} \quad (4.103)$$

N - при восьмисрочных наблюдениях равно 2920, а при четырехсрочных 1460.

Для расчета максимальных скоростей ветра различной повторяемости построена соответствующая клетчатка. Данные для расчета расчетных скоростей ветра методом ГГО сгруппированы по градациям скоростей.

Пример: В табл. 4.25 приведены данные восьмисрочных наблюдений скорости ветра по градациям для ст. Петропавловск, маяк за период 1966 – 80 г.г.

Таблица 4.25

0-1	2-3	4-5	6-7	8-9	10-11	12-13	14-15	16-17	18-21	22-25	≥26
12,3	17,4	16,4	14,0	15,8	8,6	7,0	4,3	2,6	1,3	0,3	0,1
100	87,8	70,4	54,0	40,0	24,2	15,6	8,6	4,3	1,7	0,4	0,1

Здесь в первой строке представлены градации скоростей ветра (м/с), во второй – их повторяемость (%). В третьей – накопленные вероятности (обеспеченности). Суммирование начинается с последней градации. На клетчатку наносятся нижние пределы градаций и соответствующие данной градации обеспеченности. (рис. 4.19).

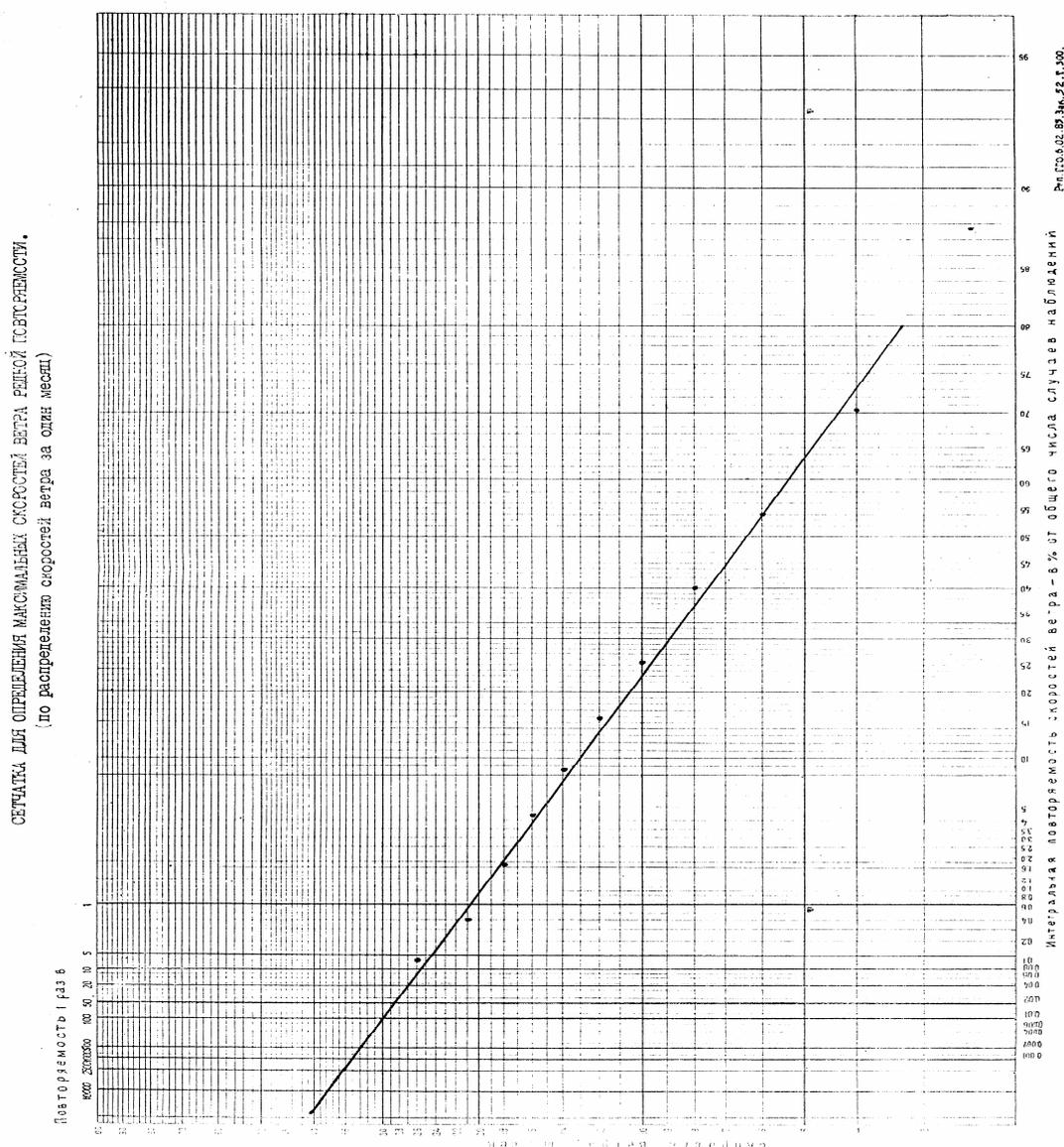


Рис. 4.19. Распределение скоростей ветра на клетчатке для третьего распределения (общая совокупность наблюдений, метод ГГО).

Связь между периодом повторения нагрузки и обеспеченностью определяется формулой (4.103). Периоды повторения скорости ветра на данной клетчатке указаны для четырехсрочных наблюдений. Следует иметь в виду, что расчетная скорость ветра с периодом повторения скорости ветра 1 раз в n лет по данным восьмисрочных наблюдений равна расчетной скорости с периодом повторения 1 раз в $2n$ лет из четырехсрочных наблюдений. Таким об-

разом, чтобы определить скорость ветра, возможную один раз в 5 лет по восьмисрочным наблюдением с данной клетчатки снимаем скорость ветра, возможную один раз в 10 лет (25 м/с).

4.2.3.1.4 Определение расчетных скоростей ветра при отсутствии длиннорядной станции в районе площадки строительства

Если в районе строительства сооружения имеется длиннорядная (опорная) станция, находящаяся в сходных с ним физико-географических условиях и условиях ветровой защищенности, то расчетную скорость ветра определяют по данным этой станции. Если опорная станция отличается по местоположению от района строительства, но имеется короткорядная станция, расположенная в аналогичных ему условиях, то в этом случае для введения поправок к данным опорной станции необходимо использовать параллельные наблюдения за короткий период на этой временной (короткорядной) станции. При этом длительность ряда наблюдений за ветром на временной станции может быть существенно меньше 10 лет. Должно соблюдаться условие, что ряды параллельных наблюдений на временной и опорной станциях получены по одинаковой методике. В том случае, если длина периода с параллельными наблюдениями на опорной и временной станциях менее 10 лет, следует использовать всю совокупность параллельных наблюдений (а не годовые или месячные экстремумы). Наиболее удобным в практическом применении является «метод усеченной кривой».

1. За период параллельных наблюдений на временной и опорной станциях подсчитывается повторяемость числа случаев со скоростями ветра ≥ 10 , ≥ 15 , ≥ 20 м/с.

2. Вычисляется относительная повторяемость (в % от общего числа наблюдений за параллельный период) числа случаев со скоростями ветра ≥ 10 , ≥ 15 , ≥ 20 м/с.

3. Значения интегральных повторяемостей $F(v \geq x)$ для трех градаций скорости наносятся на вероятностную клетчатку ГГО.

4. Экстраполяцией графика, спрямленного на вероятностной клетчатке распределения $F(v \geq x)$, получаем расчетные скорости ветра заданной обеспеченности на временной и опорной станциях.

5. За период параллельных наблюдений для заданного периода повторения находим коэффициент c , равный отношению скоростей на временной и опорной станциях.

6. Полученное таким образом значение поправки на условия экспозиции (коэффициент c) вводится в расчетную скорость, полученную по данным наблюдений на опорной станции.

Если же площадка строительства по характеру своего местоположения отличается от условий как опорной (длиннорядной), так и временной (короткорядной) станции, то в этом случае расчетные скорости для площадки строительства должны быть скорректированы путем введения в данные опорной станции поправок по табл. 4.26

Таблица 4.26

Значения поправочного коэффициента к расчетной скорости ветра редкой повторяемости $C_э$ на условия рельефа по сравнению с открытым ровным местом

Формы рельефа	$C_э$
Возвышенности с плоскими вершинами и пологими в верхней части склонами: вершины, верхние части склонов, независимо от экспозиции	1,20
средние и верхние части наветренных и параллельных ветру склонов	1,15
средние и нижние части подветренных склонов	0,85
Долины, лощины, овраги: дно и нижние части склонов: продуваемых ветром	1,25
не продуваемых ветром	0,75
замкнутых	0,60
Средние и верхние части склонов: продуваемых ветром	1,15
не продуваемых ветром	0,85
замкнутых	0,60

Сначала расчетные скорости ветра на опорной станции V_C приводятся по данным табл. 4.26 к скорости ветра в условиях открытого ровного места V_P по формуле:

$$V_P = \frac{V_C}{C_э} \quad (4.104)$$

Затем по данным той же таблицы 4.26 согласно форме рельефа площадки строительства находят коэффициент $C_э^i$ и вычисляют расчетную скорость ветра V_P по формуле:

$$V_{Pn} = C_{\Sigma}^i V_P \quad (4.105)$$

Особую сложность вызывает определение расчетных скоростей ветра для горных районов, занимающих значительную долю территории России. Орoграфически незащищенные участки склонов хребтов практически не освещены данными ГМС. В то же время такие участки склонов занимают основную часть горной территории и характеризуются повышенными или очень высокими значениями максимальных скоростей ветра. В этом случае для получения фактических данных о максимальных скоростях ветра в неосвещенных районах используются данные специальных микроклиматических съемок и даже данные 1—2-месячных наблюдений.

Привязка данных съемки одного или нескольких пунктов к более длинным рядам наблюдений может быть сделана путем сравнения полученных на них выборок и ответа на вопрос: имеют ли сравниваемые выборки только случайные различия (и тогда они равны или однородны) или различия между ними статистически значимы. Однородность или равенство выборок позволяет распространить вероятностную оценку максимальной скорости ветра, найденную по относительно длинному ряду, на все остальные пункты, участвующие в сравнении. Для этого статистически требуется проверить основную нулевую гипотезу H_0 : наблюдаемые различия выборок чисто случайны, т. е. их функции распределения $F_i = (x_i)$ равны, т.е. $F_1(x_1) = F_2(x_2) \dots = F_m(x_m)$

Для проверки нулевой гипотезы используются непараметрические тесты: критерий Вилкоксона (для пары выборок), критерий Крускала—Уоллиса (более чем для двух выборок) и др. При этом важно, что синхронность сравниваемых выборок необязательна, они могут относиться к разным годам и иметь различную длительность. Для привязки микроклиматических съемок к более длинным рядам используется также корреляционно-регрессионный метод, который заключается в нахождении уравнений корреляции между длиннорядной станцией и пунктом микросъемок. Если надежность регрессии не вызывает сомнений, то она может быть использована для оценки максимальной скорости ветра в пункте микросъемки по предварительно найденному значению данного периода повторения на длиннорядной станции. Если в районе строительства имеются посты с длительностью наблюдений 1—5 лет, то подбираются теоретические кривые распределения непосредственно к данным каждого поста. Для постов, расположенных на открытых участках склонов и гребней хребтов, межгодовая изменчивость буревых процессов в 2—5 раз меньше, чем на предгорных равнинах и в межгорных впадинах, поэтому в относительном выводе их наблюдения равноценны наблюдениям ГМС названных районов с периодом наблюдений от 3 до 5—10 лет. При этом целесообразно для скорости

ветра формировать выборки из суточных максимумов или максимумов буревых периодов. Целесообразно в качестве аппроксимирующих использовать простые 1—2-параметрические законы, которые будут отражать статистически только наиболее важные свойства выборок (Пуассона, Пирсона X типа, предельные 1—3 типов и т. д.).

4.2.3.2 Снеговая нагрузка.

Снеговая нагрузка возникает вследствие давления снежного покрова на покрытие сооружений, учитывается при проектировании различных типов покрытий зданий, теплиц, наземных трубопроводов. Определяется массой снежного покрова на единицу площади покрытия:

Величина снеговой нагрузки на различные покрытия определяется по формуле:

$$P_n = C P_0 \text{ кг/м}^2, \quad (4.106)$$

где P_0 – нагрузка на 1 м горизонтальной поверхности земли,

C – коэффициент пересчета от поверхностной снеговой нагрузки на земле (P_0) к поверхностной снеговой нагрузке на покрытие, зависящий от угла наклона и конструкции покрытия;

P_n – снеговая нагрузка на покрытие.

Климатическим параметром в формуле является величина P_0 , которая определяется запасом воды в снежном покрове. Этот запас, выраженный в миллиметрах водяного столба, эквивалентен массе снежного покрова, выраженной в кг/м^2 .

Исходными данными для расчета вероятностных значений снеговой нагрузки являются сезонные максимумы (за каждый зимний сезон) запаса воды в снеге по данным снегомерных съемок. Эти данные помещены в «Метеорологических ежемесячниках». Снегомерные съемки дают более полное представление о снегозалегании на окружающей местности, чем данные по постоянной рейке. Они производятся на участке наиболее характерном для данного района – «поле», «лес», «поляна в лесу» – один раз в декаду в течение всей зимы. Для районов с мягкой зимой, неустойчивым снежным покровом и оттепелями вид участка наблюдений не имеет существенного значения. В районах с многоснежной и продолжительной зимой наиболее показательными являются участки лиственного леса и поляна в лесу. Запасы воды в снеге в хвойных лесах меньше, чем в лиственных за счет задержания снега кронами хвойных деревьев.

При снегомерной съемке определяется высота снежного покрова и его плотность, а по ним рассчитывается запас воды (в мм).

Для районов с устойчивым снежным покровом достаточно располагать климатическими рядами сезонных максимумов длительностью 15 – 20 лет. В зонах с неустойчивым снежным покровом и активной циклонической деятельностью требуются ряды длительностью 30 – 35 лет.

Предварительно сезонные данные по запасу воды в снежном покрове проверяются на неоднородность, которая может быть обусловлена тремя причинами:

1. сменой участка снегосъемок,
2. изменением методики измерений.
3. ошибками при расчетах.

Неоднородность, вызванная первыми двумя причинами, выявляется при коррелировании данных по максимальным за зиму запасам воды на двух соседних станциях. Если зависимость между этими данными изобразить в форме корреляционного графика, то неоднородность ряда наблюдений одной из сравниваемых станций хорошо будет видна на графике в виде излома. На графике наносятся максимальные запасы воды за каждую зиму. Возможно, также, использование параметрического критерия Стьюдента или непараметрического критерия Вилкоксона. Ошибки при подсчете выявляются при коррелировании максимального запаса воды в снеге и высоты снежного покрова, приходящихся на одну и ту же декаду. Если имеются ряды максимумов по данным снегосъемок, например, в лесу и в поле, то они обрабатываются отдельно.

Для определения величины снеговой нагрузки различной обеспеченности (периода повторения) сезонные максимумы запаса воды в снежном покрове аппроксимируются определенными законами распределения: Гумбеля, Дженкинсона или используется метод Чегодаева – Алексева.

Для построения кривых обеспеченности по методу Чегодаева – Алексева сезонные максимумы запаса воды в снежном покрове располагаются в ряд в убывающем порядке, где каждый член ряда нумеруется от единицы до n . Таким образом первым членом является максимальное значение запаса воды в снеге за весь период наблюдений, а последним - минимальное. Обеспеченность вычисляется по формуле (4.63):

$$P_m = \frac{m - 0.3}{n + 0.4} 100 \%$$

Здесь P_m - обеспеченность члена ряда в %,

m – порядковый номер члена ряда,

n – общее число членов ряда (число сезонов).

По значениям P_m и соответствующим им запасам воды в снежном покрове на клетчатке строятся интегральные обеспеченности. Для эмпирических

рядов, коэффициент асимметрии которых $C_s < 1$ используется клетчатка (вероятностная бумага) с умеренной асимметричностью, а для рядов с $C_s \geq 1$ – со значительной асимметричностью.

Кривая обеспеченности на графике проводится плавно, без перелома, Если крайняя верхняя точка оказывается в стороне от общей совокупности, то кривую проводить через нее не следует, т. к. в этом случае можно получить искаженное значение снеговой нагрузки. Затем с кривой снимаются значения запаса воды в снеге с заданным уровнем обеспеченности P . Переход от обеспеченности к периоду повторения (T) снеговой нагрузки производится по формуле:

$$T = \frac{1}{P}$$

где T – период повторения, (лет).

Рассчитать величину снеговой нагрузки очень редкой повторяемости данным методом невозможно, т. к. экстраполяция кривой, а не прямой, как, например, в методике Гумбеля, в область редкой повторяемости носит весьма субъективный характер.

Для расчета нагрузок очень редкой повторяемости лучше подходят распределения Гумбеля (аналитический и графический варианты) и Дженкинсона, которые позволяют аппроксимировать эмпирический ряд в область редкой повторяемости.

Пример:

Определение величины снеговой нагрузки методом Чегодаева – Алексева.

Данные для расчета снеговой нагрузки методом Чегодаева – Алексева представлены в табл. 4.27.

Таблица 4.27

Запас воды (хронологический ряд)	Запас воды в убывающем порядке	m	P, %
75	165	1	2,76
40	122	2	6,70
60	96	3	10,6
96	88	4	14,6
36	87	5	18,5
40	78	6	22,4

Продолжение таблицы 4.27

62	75	7	26,4
88	74	8	30,3
45	72	9	34,3
48	70	10	38,2
39	67	11	42,1
27	62	12	46,1
70	60	13	50,0
32	57	14	53,9
122	48	15	57,9
57	45	16	61,8
38	40	17	65,7
11	40	18	69,7
165	39	19	73,6
87	38	20	77,6
67	36	21	81,5
78	32	22	85,4
74	27	23	89,4
72	11	24	93,3

Здесь в первом столбце представлены сезонные значения максимального запаса воды в снежном покрове в хронологическом порядке, во втором столбце – ряд этих максимумов в убывающем порядке, в третьем столбце – их порядковый номер, а в последнем столбце – обеспеченность максимумов в %. По данным второго и четвертого столбцов на вероятностной бумаге строится график, где по оси абсцисс откладывается обеспеченность, а по оси ординат – максимальные запасы воды в снеге (рис. 4.20).

Клетчатка вероятностей для кривых
с умеренной асимметричностью

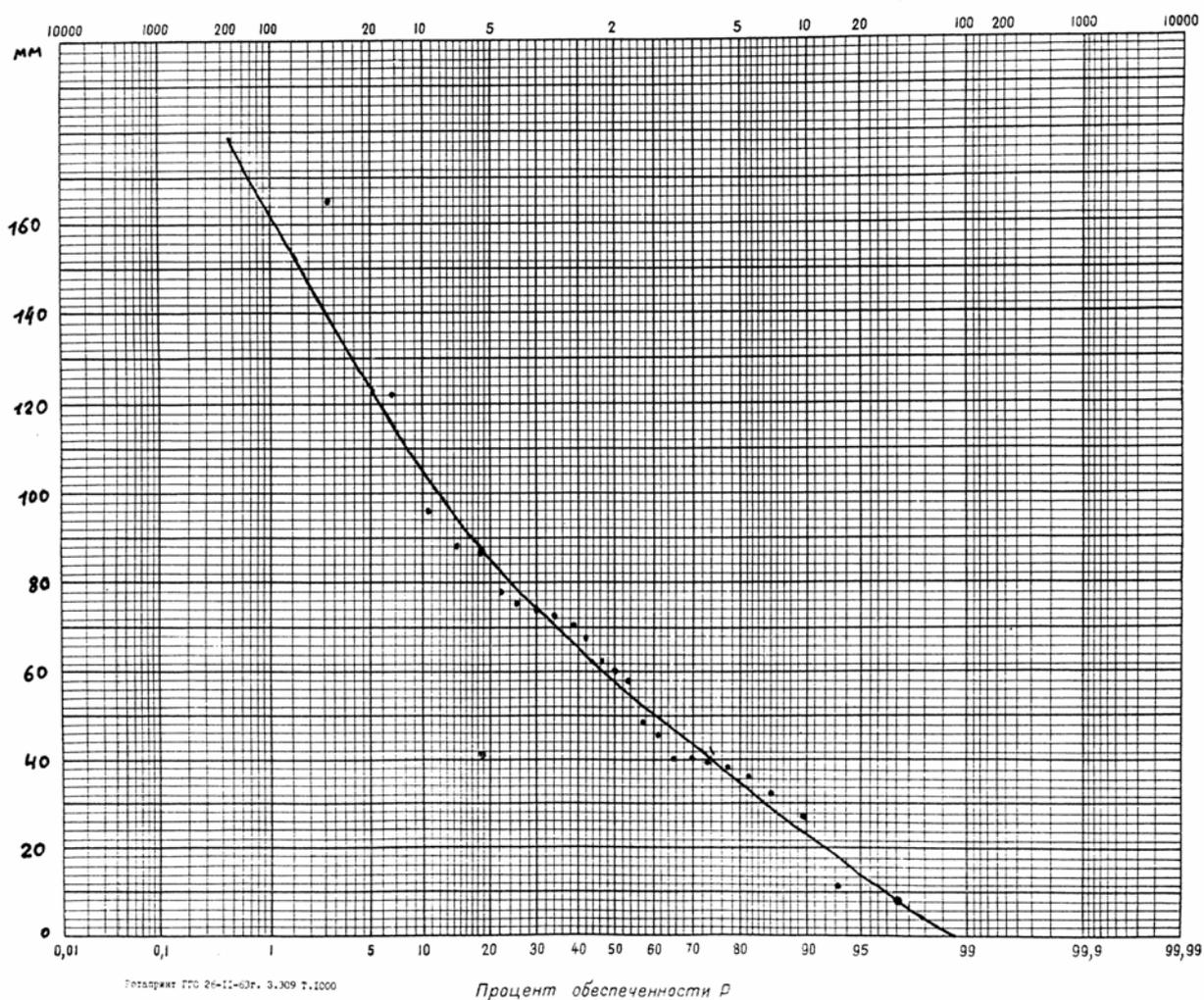


Рис. 4.20. Интегральная повторяемость сезонных максимумов запаса воды в снежном покрове (клетчатка с умеренной асимметричностью).

Сравнение результатов, полученных тремя методами: Гумбеля, Дженкинсона, Чегодаева – Алексеева показало, что расхождения между значениями максимального влагосодержания снежного покрова, полученными этими методами, наибольшие при подсчете 2% обеспеченности. Как правило, значения запаса воды в снежном покрове редкой повторяемости, полученные методом Гумбеля, превышают соответствующие значения, вычисленные методом Чегодаева – Алексеева. Данные, полученные по методу Дженкинсона, имеют в основном промежуточные значения.

В ЦНИИСК им. Кучеренко были разработаны поправочные коэффициенты к значениям веса снегового покрова земли, измеряемого на полевых маршрутах, для получения количества выпадающих осадков на покрытия зданий. Они представлены в табл. 4.28.

Таблица 4.28.

t °C	V м/с					
	2	3	4	5	6	7
-5	1,0	1,0	1,05	1,12	1,29	1,45
-10	1,0	1,05	1,14	1,29	1,44	1,60
-15	1,05	1,11	1,28	1,45	1,62	1,80
≤-20	1,12	1,25	1,43	1,62	1,80	2,00

Здесь V - средняя многолетняя скорость ветра за зимний период. Определяется по карте 2 приложения к СНиП 2. 01. 07 – 85*

t - средняя месячная температура воздуха в январе. Определяется по карте 5 данного приложения.

Таким образом величину нагрузки, полученной по данным снегосъемок в поле умножаем на данный коэффициент и получаем нормативное значение снеговой нагрузки заданной обеспеченности.

Расчеты снеговых нагрузок по распределениям Гумбеля и Дженкинсона аналогичны расчетам ветровых нагрузок.

4.2.3.3 Гололедные и гололедно-ветровые нагрузки.

Гололедные и гололедно-ветровые нагрузки учитываются при проектировании и эксплуатации линий электропередачи и линий связи, а также различных ажурных сооружений. Выделяют гололедную нагрузку (массу отложения), ветровую нагрузку при гололеде и гололедно-ветровую (результатирующую) нагрузку. Данные для расчета этих нагрузок помещены в «Метеорологических ежемесячниках» в таблице «Данные наблюдений за гололедно – изморозевыми отложениями». В этой таблице представлены данные о величине (весе отложения) на гололедном станке, скорости ветра при достижении максимума веса или размеров для случаев обледенения, которые требуются для расчетов нагрузок.

4.2.3.3.1 Гололедная нагрузка.

Гололедная нагрузка возникает вследствие осаждения того или иного вида гололедного отложения, в результате чего появляется дополнительная нагрузка на сооружение. Климатическим параметром является нагрузка на провод диаметром 10 мм и высотой подвеса 10 м. Наблюдения за отложением проводятся на гололедном станке, где диаметр провода составляет 5 мм., высота повеса 2 м

Порядок расчета гололедной нагрузки следующий:

1. За каждый зимний сезон из всех случаев обледенения выбирается тот, когда отмечался максимальный вес отложения на гололедном станке. В том случае, когда вес отложения не рассчитывался, а имеются только размеры отложения (большой и малый диаметры a и c), то вес отложения рассчитывается по формуле:

$$P = \gamma \cdot 78 (a \cdot c - d^2) \text{ г/см}, \quad (4.107)$$

где a и c большой и малый диаметры отложения соответственно, включая диаметр провода, ($d=0,5$ см.), γ - плотность отложения, г/см.

Плотность отложения зависит от вида отложений и от метеоусловий данной станции, поэтому следует для каждого вида отложения на данной станции (или для группы станций, находящихся в сходных условиях местоположения) рассчитать среднюю плотность по всем случаям, когда измерялись вес и размеры отложений по формуле:

$$\gamma = P / 78(a \cdot c - d^2) \quad (4.108)$$

Если такие данные невозможно получить, то следует воспользоваться осредненными для всей территории России данными, представленными в табл. 4.29.

Таблица 4.29

Средние плотности отложений (г/см³)

гололед	Зернистая изморозь	Кристаллическая изморозь	Смешанное отложение	Мокрый снег
0.75	0.10	0.05	0.20	0.20

2. Вес отложения, измеренный на проводе гололедного станка пересчитывается на провод диаметром 10 мм и высотой подвеса 10 м. с помощью коэффициента K_{pdh} . Его значения представлены в табл. 4.30

Таблица 4.30.

Масса отложения P_{ca} (г)	<100	100 - 150	151 - 300	301 - 450	451 - 600	>600
K_{pdh}	3,4	2,9	2,6	2,2	2,2	1,5

Здесь в первой строке представлена масса отложения на гололедном станке (P_c), во второй строке - значения коэффициента K_{pdh} . Максимальная масса отложения на проводе диаметром 10 мм и высотой подвеса 10 м (P_{max}) за каждый зимний сезон равна:

$$P_{max} = P_c \cdot K_{pdh} \quad (4.109)$$

3. Пересчитанные веса располагаем в возрастающем порядке.

В качестве примера в табл.4.31 приведены данные для расчета гололедных и гололедно-ветровых нагрузок. Здесь в первом столбце приведены данные сезонных максимумов гололедной нагрузки P_{max} , в хронологическом порядке, а в десятом – в возрастающем порядке.

Таблица 4.31

P_{max} x	Q_{pm}	Q_m	P	R_{Pm}	R_{Qm}	R_{max}	m	(m/n+1) 100%	P_{max} , возр	Q_{max} возр	R_m возр
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
82	0	60	25	282	233	282	1	8,3	36	18	236
36	0	18	8	236	209	236	2	16,7	54	19	254
82	14	41	16	282	220	282	3	25,0	82	25	282
272	6	47	21	472	226	472	4	33,3	82	33	282
54	0	33	36	254	238	254	5	41,7	82	41	282
299	0	133	27	499	263	499	6	50,0	82	46	282
190	19	25	54	391	256	391	7	58,3	83	47	283
82	0	47	68	282	272	282	8	66,7	19	47	391
83	2	19	25	283	226	283	9	75,0	245	60	445
82	0	46	56	282	261	282	10	83,3	272	97	472
245	4	97	16	445	237	445	11	91,7	299	133	499

На практике вместо массы гололеда используется стенка гололеда, имеющего форму цилиндра, плотность $0,9 \text{ г/см}^3$ на проводе, диаметр которого равен 10 мм и высота подвеса 10 м. Зависимость толщины стенки гололеда от массы (веса) отложения P определяется формулой:

$$b = (\sqrt{P/283 + 0.25} - 0.5) \cdot 10 \text{ (мм)} \quad (4.110)$$

Для упрощения расчетов на рис. 4.21 представлена номограмма.

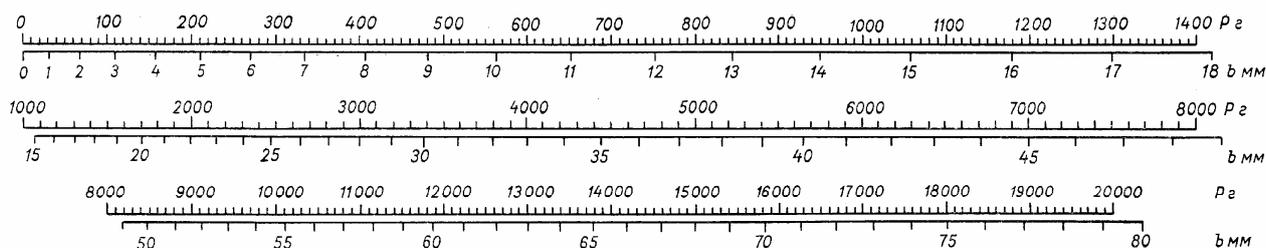


Рис. 4.21 Номограмма для определения толщины нормативной стенки гололеда.

4.2.3.3.2 Ветровые нагрузки при гололеде.

Ветровая нагрузка при гололеде возникает в результате ветрового давления на обледенелый провод. Она зависит от скорости ветра при гололеде и размеров отложения. Расчетная формула для определения ветровой нагрузки на погонный метр обледеневшего провода имеет вид:

$$Q = C_x q S_n \quad (4.111)$$

где, C_x – аэродинамический коэффициент ; q – скоростной напор ветра (определяется по формуле : $q = V^2 / 16$), S_n – площадь осевого сечения одного метра обледеневшего провода. Она равна произведению среднего геометрического значения большого и малого диаметров отложения на длину провода т. е. S_n равна:

$$S_n = \sqrt{acl} \quad (4.112)$$

где, a и c диаметры отложения (вместе с проводом); l – длина провода (один метр).

При расчетах ветровой нагрузки на провода воздушных линий (диаметр провода – 10 мм. и высота подвеса – 10 м.) необходимо размеры (площади отложений на гололедном станке) пересчитать на провода воздушных линий. Пересчет осуществляется с помощью коэффициентов K_{Ddh} , которые представлены в табл.4.32

Таблица 4.32.

а·с, мм ²	скорость ветра, м/с		
	1.0 – 8.0	8.1 - 16	>16
≤ 50	2.50	2.65	2.80
51 – 100	2.15	2.45	2.65
101 – 200	2.00	2.30	2.50
201 – 800	1.85	2.15	2.35
>800	1.70	2.05	2.25

Порядок расчета максимальных ветровых нагрузок при гололеде следующий:

1. Из «Метеорологических ежемесячников» выбирается период обледенения, когда величина отложения достигла максимума (тот же период, что и для расчета гололедной нагрузки).
2. По данным о скорости ветра при достижении максимума отложения и размерам отложения (диаметры a и c) по табл. (4.32) определяется значение коэффициента K_{Ddh}
3. Произведение ac умножается на коэффициент K_{Ddh} .
4. По формуле (4.111) рассчитывается величина ветровой нагрузки Q_{pm} при достижении максимума отложения (P_{max}) (второй столбец табл.)
5. Для определения максимальной ветровой нагрузки (Q_m), возможной не при годовом максимуме отложения, выбирается период отложения, когда наблюдалась максимальная скорость ветра.
6. Аналогично определению Q_{pm} рассчитывается Q_m . Данные о Q_m в хронологическом порядке представлены в табл.4.31 (третий столбец). В четвертом столбце представлены гололедные нагрузки для данного периода обледенения, пересчитанные с гололедного станка на провод диаметром 10 мм и высотой подвеса 10 м т. е. соответствующие данной скорости ветра.
7. Из ветровых нагрузок рассчитанных для периода с максимальным отложением (Q_{pm}) и периода отложения с максимальной скоростью ветра (Q_m) за каждый сезон выбирается максимальная (Q_{max}).
8. Ряд годовых (сезонных) максимумов ветровых нагрузок (Q_{max}) ранжируется в возрастающем порядке (11 столбец).

4.2.3.3 Гололедно – ветровые (результатирующие) нагрузки

Чтобы оценить суммарную (гололедную и ветровую) нагрузку на провода воздушных линий производят расчет результирующей гололедно – ветровой нагрузки (R), которая представляет собой геометрическую сумму двух одновременно действующих компонент – вертикальной нагрузки, определяемой весом гололеда и весом провода, и горизонтальной нагрузки, зависящей от воздействия ветра, т. е.

$$R = \sqrt{(P + p)^2 + Q^2} \quad \text{г/м} \quad (4.113)$$

где, P - гололедная нагрузка на провод ВЛ, p - вес 1 метра провода (200 г.); Q - ветровая нагрузка.

Для того, чтобы определить годовой максимум R необходимо рассчитать результирующие гололедно - ветровые нагрузки во-первых, для периода обледенения, когда вес отложения был максимальный. Расчет производится по максимальному весу отложения (P_{max}) и соответствующей ему ветровой нагрузке (Q_{pm}) (1 и 2 столбцы таблицы) - (R_{pm}) (5 столбец). И, во-вторых, для периода, когда отмечалась максимальная скорость ветра. Расчет производится по максимальной ветровой нагрузке (Q_m) и соответствующей ей гололедной нагрузке (P) (3 и 4 столбцы) - (R_{Qm}) (6 столбец). Из полученных значений R_{pm} и R_{Qm} выбирается наибольшее за каждый сезон (R_{max}).

Ряды сезонных максимумов R_{max} ранжируются в возрастающем порядке (12 столбец табл. 4.31). Ранжированные ряды сезонных максимумов P_{max} , Q_{max} и R_{max} нумеруются от 1 до n . По формуле (4.62) рассчитывается интегральная обеспеченность. Связь между обеспеченностью и периодом повторения определяется по выражению (4.93) при $N=1$.

Для аппроксимации ранжированных рядов используются распределения Гумбеля (аналитический и графический варианты), графический вариант второго предельного распределения. Для гололедных и гололедно-ветровых нагрузок для второго предельного распределения построены специальные клетчатки вероятностей. На рис. 4.22 представлена одна из таких клетчаток с нанесенными данными по данным табл.(4.30).

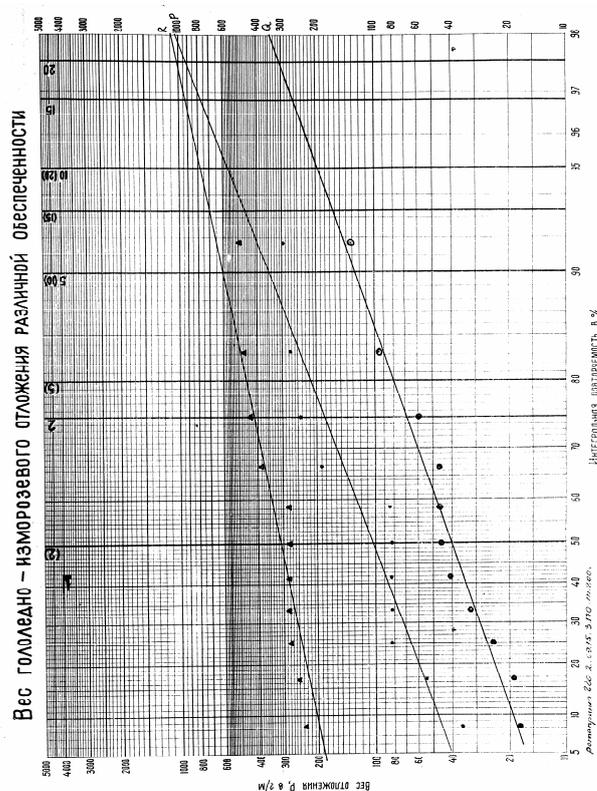


Рис. 4.22. Распределение сезонных максимумов гололедных, ветровых и результирующих нагрузок на клетчатке для второго распределения.

Для расчета гололедных нагрузок при составлении 7 части «Научно – прикладного справочника по климату СССР» использовалось распределение Гумбеля. Возможно, также, использование распределения Дженкинсона. Расчеты по методам Гумбеля и Дженкинсона аналогичны расчетам ветровых нагрузок.

Изменение толщины стенки гололеда с высотой принимается по табл. 4.33.

Таблица 4.33.

Высота над поверхностью земли, м	5	10	20	30	50	70	100
Коэффициент к	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0

Коэффициент, учитывающий изменение толщины стенки гололеда в зависимости от диаметра элементов кругового сечения принимается по табл. 4.34

Таблица 4.34.

Диаметр провода, мм	5	10	20	30	50	70
Коэффициент k_1	1.1	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6

4.2.4 Водоотведение и водоочистка

На территории Российской Федерации для проведения гидравлического расчета канализационных сетей обычно привлекаются следующие данные:

1. Максимальное суточное количество осадков (мм), которое входит в формулы расчетных расходов сточных вод. Для ограниченного числа пунктов эта информация содержится в Научно-прикладном справочнике по климату СССР. Ее можно также получить из Метеорологических ежемесячников.

2. Значения интенсивности дождя продолжительностью 20 мин 63% обеспеченности и среднего годового количества дождей, необходимые для определения расчетных расходов дождевых вод. В СНиП 2.04.03-85 «Канализация. Наружные сети и сооружения» помещена карта этой характеристики. Однако она очень мелкомасштабна и построена по устаревшим данным. По-

этому можно рекомендовать непосредственный расчет указанной интенсивности для конкретного пункта.

3. Максимальное суточное количество жидких осадков зимой.

4.2.4.1 Квантиль интенсивности осадков за 20 минутный интервал

Согласно СНиП 2.04.03-85 «Канализация. Наружные сети и сооружения», расход дождевых вод определяется по формуле:

$$q_r = \frac{z_{mid} A^{1,2} F}{t_r^{1,2n-0,1}} \quad (4.114)$$

где q_r — расход дождевых вод, л/с; z_{mid} — коэффициент, характеризующий поверхность бассейна стока; F — расчетная площадь стока, га; t_r — расчетная продолжительность дождя, мин; A — параметр, который вычисляется по формуле:

$$A = q_{20} \cdot 20^n \left(1 + \frac{\lg P}{\lg m_r} \right)^\gamma \quad (4.115)$$

где q_{20} — интенсивность дождя (л/с) продолжительностью 20 мин на 1 га данной местности при $P = 1$ год,

P — период однократного превышения расчетной интенсивности дождя, принимаемый по таблице СНиП,

m_r — среднее количество дождей за год.

Параметры z_{mid} , n , F , t_r , m_r , P , γ определяются проектировщиками по таблицам СНиП. Там же приведена и карта значений интенсивности дождя q_{20} для территории России. Карта, приведенная в СНиП, основывается на старых данных. Масштаб ее очень мелкий, и точность данных в конкретном пункте, интересующем потребителя, может быть недостаточна для выполнения проектировочных работ. Поэтому q_{20} для конкретного пункта нужно получать следующим образом.

Из „Метеорологического ежемесячника" (ч. II) по табл. „Осадки — интенсивность дождей по пювиографу" или из таблиц ТМ-14 следует выбрать ежегодные максимумы интенсивности осадков за 20-минутный интервал. Рассматриваемый период должен охватывать не менее 20—25 лет, причем достаточно проанализировать лишь теплую часть года (май—сентябрь), так как максимальная интенсивность дождей может наблюдаться только в это время.

Так как количество осадков по пювиографу отмечается за 10-минутные интервалы, среднюю интенсивность осадков за 20 мин определяют методом скользящего осреднения с 10-минутным сдвигом периода осреднения.

Пример. В 1972 г. в Курске наибольшая интенсивность дождя была отмечена 10 июля. При этом наблюдалась следующая ситуация:

Время		Количество осадков от начала дождя, мм	Количество осадков за 10 мин., мм	Средняя интенсивность дождя за 20-минутный интервал, мм/мин
часы	минуты			
14	20	0,0		
	30	0,9	0,9	0,11
	40	2,2	1,3	0,13
	50	3,5	1,3	0,14
15	00	4,9	1,4	0,16
	10	6,7	1,8	0,18
	20	8,6	1,9	0,12
	30	9,1	0,5	

Следовательно, в 1972 г. в Курске максимальная интенсивность осадков за 20-минутный интервал была равна 0,18 мм/мин.

Имея данные за отдельные годы, можно рассчитать q_{20} для $P=1$ год. По СНиП эта величина соответствует q_{20} 63% обеспеченности и определяется по ранжированному ряду ежегодных максимальных значений q_{20} .

Так как в метеорологических справочниках интенсивность осадков дана в мм/мин, для перевода ее в л/с на 1 га нужно умножить полученное значение интенсивности осадков в мм/мин на 166.

Пример. Интенсивность дождя за 20-минутный интервал 63% обеспеченности в Курске за период 1966-2000 гг. равна 0,55. Тогда искомое значение интенсивности осадков, используемое при расчете дождевых сетей равно $0,55 \cdot 166 = 91$ л/с на 1 га.

Одним из нерешенных вопросов при строительстве городов и поселков городского типа в приполярных районах является отведение не только дождевого стока, но и талого стока с селитебных территорий. Рекомендация из СНиП 2.04.03-85. «Канализация. Наружные сети и сооружения» ориентирована только на дождевой сток, что является вполне достаточным для районов с отсутствием как вечномёрзлых грунтов, так и неглубокого проникновения нулевой температуры в почву (менее 2.0-2.5 м). Однако в приполярных районах таким способом невозможно достигнуть требуемого уровня благоустройства, т.к. нельзя ограничиться отведением поверхностного стока закрытой сетью дождевой канализации. Северные города и поселки городского типа возводятся на вечномёрзлых грунтах. Это тундровая зона с крайне малыми уклонами плоского рельефа. В этой зоне имеются два фактора, требующих тщательного учета

талых вод - отсутствие дренажа и малый сток. Испарение в весенние месяцы здесь мало и не превышает 8-9 мм. Известно, что глубина заложения канализационных трубопроводов (по лотку) должна быть на 0.3 м меньше, чем наибольшая глубина проникновения в грунт нулевой температуры.

В качестве примера района проектирования селитебной зоны можно указать г. Новый Уренгой, где средняя многолетняя глубина сезонного промерзания песчаных грунтов превышает 3 м, а в суглинках достигает 4 м. Для района Уренгоя по данным о максимальной часовой интенсивности снеготаяния (см. п. 5.3.3) за годы, близкие к нормальным и экстремальным условиям (наиболее раннее и наиболее позднее весеннее снеготаяние), а также по величинам суточного (дневного) хода снеготаяния были разработаны конструкции дождеприемных колодцев, обеспечивающих оптимальный прием и надежное отведение талых и дождевых вод.

4.2.4.2 Определение интенсивности дождей за различные промежутки времени, возможной 1 раз в 50, 100 и 200 лет.

Основой для расчетов интенсивности дождей за различные промежутки времени служат данные, представленные в Научно-прикладном справочнике по климату СССР, а также информация об интенсивности осадков из Метеорологических ежемесячников. При проектировании канализационных сетей и сооружений наибольший интерес у проектировщиков вызывает максимальная интенсивность осадков за интервалы времени 2, 5, 10, 20, 30, 60, 120, 240, 480, 960 и 1440 минут, возможная 1 раз в 50, 100 и 200 лет. Поэтому вначале было построено распределение наблюдаемых максимальных интенсивностей дождей за интервалы времени 2, 5, 10, 20, 30, 60, 120, 240, 480, 960 и 1440 минут.

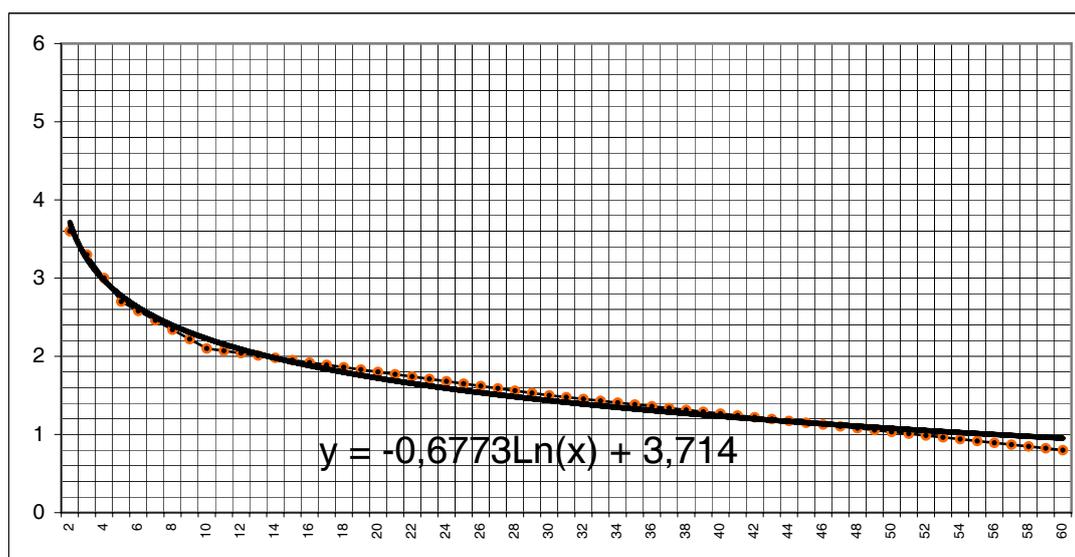


Рис. 4.23. Распределение максимальной интенсивности за период от 2 до 60 минут, мм/мин

В качестве примера на рисунке 4.23 представлена максимальная интенсивность осадков в Москве за периоды от 2 минут до 1 часа. Полученное распределение было аппроксимировано указанной на графике эмпирической формулой.

Используя данную формулу и привлекая информацию о суточных максимумах осадков различной обеспеченности, удалось получить следующие данные об ожидаемой максимальной интенсивности дождей за различные промежутки времени (табл. 4.35).

Таблица 4.35

Наибольшая интенсивность дождей для различных интервалов времени, возможная 1 раз в 50, 100 и 200 лет в Москве.

Продолжительность дождя, мин.	2	5	10	20	30	60	120
Интенсивность дождя, возможная 1 раз в 50 лет, мм/мин	4,1	3,0	2,3	1,9	1,6	1,1	0,4
Интенсивность дождя, возможная 1 раз в 100 лет, мм/мин	4,4	3,2	2,5	2,1	1,7	1,2	0,5
Интенсивность дождя, возможная 1 раз в 200 лет, мм/мин	5,2	3,8	2,9	2,4	2,0	1,4	0,7

Продолжительность дождя, мин.	240	480	960	1440
Интенсивность дождя, возможная 1 раз в 50 лет, мм/мин	0,23	0,14	0,09	0,06
Интенсивность дождя, возможная 1 раз в 100 лет, мм/мин	0,28	0,17	0,11	0,07
Интенсивность дождя, возможная 1 раз в 200 лет, мм/мин	0,35	0,22	0,14	0,08

4.2.4.3. Учет изменения климата при оценках интенсивности осадков в середине XXI века

В настоящее время любые проекции климатических характеристик, ожидаемые в будущем, невозможны без учета изменения климата. Для оценки максимальной интенсивности осадков в середине XXI века в данной работе был использован ансамбль из пяти основных моделей изменения климата МГЭИК, принятых в настоящее время в мире для определения проекции будущего климата.

Определение ожидаемой интенсивности дождей было основано на тесной связи между интенсивностью осадков (I) и температурой воздуха (T), полученной в ГГО им. А. И. Воейкова к.г.н. Э. Г. Богдановой и выраженной следующей формулой:

$$\lg I = M + NT, \quad (4.116)$$

где коэффициенты M и N постоянны для каждого конкретного пункта, но меняются по территории в зависимости от региональных условий увлажнения и температурного режима.

Физическая природа этого сходства легко объяснима и наглядно проявляется в бурных летних ливнях, затяжных осенних дождях и длительных мало интенсивных снегопадах. Э. Г. Богданова определила коэффициенты M и N для многих пунктов на территории СНГ. Эти коэффициенты приведены в монографии «Климат России» (2001)

Для Москвы $M \approx -0,527$, $N \approx 0,0373$.

Так как модели изменения климата наиболее точно дают проекцию температуры воздуха на будущий период, то в качестве основной прогнозируемой характеристики была выбрана именно температура, а затем на ее основе была рассчитана ожидаемая интенсивность дождя (табл. 4.36)

Таблица 4.36

Максимальная интенсивность осадков за различные интервалы времени, ожидаемая в середине XXI.

На 2030 г.

Продолжительность дождя, мин.	2	5	10	20
Интенсивность осадков, мм/мин.	4,1	3,0	2,3	1,9

На 2060 г.

Продолжительность дождя, мин.	2	5	10	20
Интенсивность осадков, мм/мин.	4,7	3,5	2,7	2,3

Из таблиц видно, что к середине XXI ожидается заметный рост интенсивности осадков, что должно быть учтено при проектировании сооружений, рассчитанных на длительное использование.

4.2.4.4. Расчет «профиля дождя»

В настоящее время организацией строительных работ на территории РФ занимается все большее число иностранных компаний. Техническим специалистам этих компаний для проектирования строительных объектов необходимы климатологические параметры, установленные в нормативных документах их стран. При подготовке такой информации могут возникать трудности, т.к. сотрудники Гидрометслужбы стран СНГ еще не имеют опыта в создании требуемых специализированных климатологических характеристик.

Наиболее часто для проектирования системы внутреннего водостока, расчёта аккумулялирующих ёмкостей, гидравлического расчёта внутриплощадных сетей дождевой канализации запрашивается информация о наибольшей интенсивности дождей в пункте строительства для интервалов времени 2, 5, 10, 20, 30, 60, 120, 240, 480, 960 и 1440 минут, возможной 1 раз в 50, 100 и 200 лет, а также средний «профиль дождя». Кроме того, проектировщиками высказываются пожелания учесть и возможное изменение климата. Поэтому они запрашивают информацию об ожидаемой интенсивности дождя для различных интервалов времени к 2030 и 2060 годам. Указанный набор специализированных климатических параметров необходим при проектировании канализационных сетей и сооружений в большинстве европейских стран. Требуемая климатологическая информация не содержится в нормативной и справочной литературе. Поэтому в отделе прикладной климатологии ГГО была разработана методика для получения специализированной информации об интенсивности осадков.

Одной из основных требуемых характеристик является так называемый «профиль дождя», который демонстрирует вид зависимости между продолжительностью дождя, его интенсивностью и количеством осадков, выпавших в течение данного дождя. При этом каждому моменту дождя соответствует определенный процент от средней интенсивности этого дождя и процент от общего количества осадков за данный дождь.

В соответствии с нормативными документами по строительству, принятыми в европейских странах, эта зависимость является постоянной для данного климатического района и служит одним из основных ориентиров при проектировании расчёта аккумулялирующих ёмкостей канализационных систем.

Для получения «профиля дождя» климатологическая информация о дождях в данном пункте обрабатывается по следующей схеме:

А) Производится выбор, по крайней мере, 50 дождей с наибольшей интенсивностью и суммарным количеством осадков за дождь в данном пункте за последние 10-30 лет. Предпочтение отдается тем дождям, в течение которых отмечается интенсивность, не менее, чем в 4 раза превосходящая среднюю интенсивность осадков за дождь в данном месте. Период выборки зависит от запроса потребителя этой климатологической информации, что в свою очередь определяется типом проектируемого сооружения.

Б) Таблица интенсивности каждого выбранного дождя (например, дождя № 1) преобразовывается в вид, представленный в таблице 4.37. При этом время начала и конца дождя, а также время, в которое фиксировалось изменение интенсивности дождя, переводится из минут в десятые доли часа для удобства дальнейших расчетов в Excel. Кроме того, вводится столбец 4, в котором помещаются данные о приросте количества осадков между соседними фиксированными моментами времени, вычисляемые как разность между соседними значениями столбца 3.

Таблица 4.37.

Исходная таблица интенсивности дождя

Время, мин.	Время, десятые часа	Количество осадков, мм	Прирост количества осадков, мм	Интенсивность, мм/мин
1	2	3	4	5
7,49	7,82	0		
7,5	7,83	0,1	0,1	0,1
8,1	8,17	0,2	0,1	0,01
8,2	8,33	0,8	0,6	0,06
9,3	9,50	1,1	0,3	0
9,4	9,67	7,2	6,1	0,61
9,5	9,83	20,3	13,1	1,31
10	10,00	27,8	7,5	0,75
10,1	10,17	29,8	2	0,2
10,2	10,33	30,8	1	0,1
<u>10,3</u>	<u>10,50</u>	<u>31,2</u>	0,4	<u>0,04</u>
2,41	2,68	31,2		0,19

В) Суммарная продолжительность дождя, выраженная в часах и десятых долях часа, принимается за 100%. Определяется длительность (в десятых долях часа) одного процента продолжительности данного дождя. В данном случае $1\% = 2,68 \text{ часа}/100 = 0,0268 \text{ часа}$. Каждый фиксированный момент времени выражается в процентах от суммарной продолжительности дождя (табл.4.38, столбцы 1 и 2).

Таблица 4.38

Расчет профиля дождя № 1

% от продолжительности	Время, десятые часа	Количество осадков, мм	% от количества осадков за дождь	Интенсивность, мм/мин	% от средней интенсивности за дождь
1	2	3	4	5	6
	7,82	0	0	0	0
1	7,85	0,1	0,3	0,1	50
2	7,87	0,108	0,3	0,01	5
3	7,90	0,117	0,4	0,01	5
4	7,93	0,125	0,4	0,01	5
5	7,95	0,133	0,4	0,01	5
...
97	10,42	31,000	99,4	0,04	20
98	10,45	31,066	99,6	0,04	20
99	10,47	31,133	99,8	0,04	20
100	10,50	31,200	100,0	0,04	20

Г) В таблицу 4.38 (столбец 3) вносятся данные о суммах осадков, отмеченных к каждому конкретному моменту времени из таблицы 4.37. Суммы осадков между фиксированными значениями времени вычисляются делением соответствующих данных из столбца 4 таблицы 4.37 на время (в процентах от общей продолжительности дождя), за которое произошло изменение сумм осадков.

Д) В столбце 4 представлены проценты от общего количества осадков за дождь, соответствующие процентам его продолжительности. При этом каждое значение из столбца 3 делится на сумму осадков за дождь и умножается на 100%.

Е) Столбец 5 таблицы 4.38 формируется на основе столбца 5 таблицы 4.37, учитывая то, что интенсивность дождя между фиксированными моментами времени, указанными в таблице 4.37, остается постоянной.

Ж) В столбце 6 представлены проценты от средней интенсивности данного дождя, вычисленной как среднее значение столбца 5, соответствующие каждому моменту продолжительности дождя (столбец 1).

Форма представления информации о каждом конкретном дожде в виде «профиля дождя» позволяет усреднять значения интенсивности и количества осадков за разные дожди независимо от различий в их продолжительности.

В соответствии с таблицами 4.37 и 4.38 происходит расчет «профилей» всех выбранных для обобщения дождей. Затем из таблицы 4.38 для каждого дождя происходит выборка столбцов 4 и 6. Из них формируется таблица 4.39, в которой собраны данные о распределении интенсивности и количества осадков в течение каждого дождя. Очевидно, что каждый дождь характеризуется своим собственным, особым профилем. Однако при осреднении мы получаем профиль осредненного дождя, характерного для особенностей климатического режима данной территории.

Таблица 4.39.

Распределение интенсивности и количества осадков (%) для всех анализируемых дождей

	Дождь № 1		Дождь № 2	
	% продолжительности	% интенсивности	% продолжительности	% интенсивности
1	0,3	50	7,86	936,29
2	0,3	5	15,72	936,29
3	0,4	5	23,58	936,29
...
98	99,6	20	99,59	19,31
99	99,8	20	99,80	19,31
100	100,0	20	100,00	19,31

На основе таблицы 4.39 происходит осреднение данных об интенсивности и количеству осадков за все дожди. Результаты осреднения представлены в таблице 4.40

Таблица 4.40

Профиль осредненного дождя

% от продолжительности дождя	% от количества осадков за дождь	% интенсивности осадков (по отношению к средней интенсивности за дождь)
1	2,7	272,7
2	5,4	268,5

3	8,1	261,1
4	10,3	204,2
5	12,4	189,2
...
96	99,5	21,2
97	99,6	19,9
98	99,7	19,9
99	99,9	19,9
100	100,0	19,9

По данным таблицы 4.40 строится график «профиля дождя» (рис. 4.24). По оси X откладываются проценты от продолжительности дождя, по оси Y – проценты интенсивности и сумм осадков, выпавших к данному моменту времени.

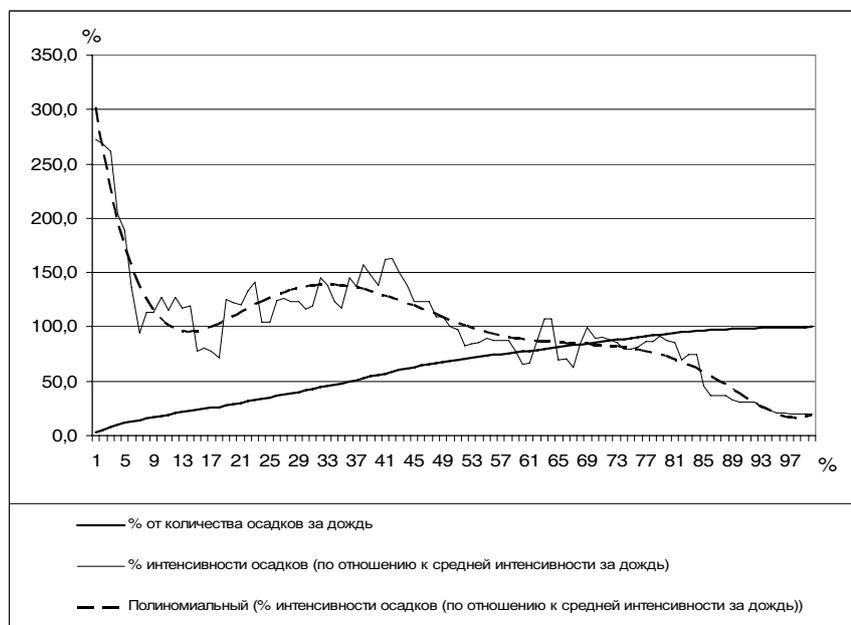


Рис. 4.24. Профиль осредненного дождя

Он наглядно демонстрирует особенности изменения интенсивности и скорость накопления сумм осадков во время интенсивного дождя. Полиномиальная аппроксимация достаточно точно описывает колебания интенсивности во время дождя. На графике видно, что наибольшая интенсивность приходится на начало дождя, когда интенсивность выпадения осадков примерно в 3 раза превышает среднюю интенсивность за дождь. Затем наблюдается ее уменьшение до среднего значения (100%). После этого возникает еще один максимум, почти в 2 раза меньший, чем первый. Во второй половине дождя интенсивность постепенно уменьшается, испытывая незначительные колебания, до 0.

Изменение накопленных с начала дождя сумм осадков связаны с изменением интенсивности. В начале дождя количество выпавшего дождя растет быстро. За первую 1/3 продолжительности дождя выпадает примерно половина суммарного количества осадков. Затем скорость увеличения суммы осадков замедляется и последней 1/3 продолжительности меняется уже незначительно. Такой профиль характерен, прежде всего, для ливневых дождей с большой интенсивностью и значительными суммами осадков за дождь.

Так как данный график построен на основе информации о 50 наиболее интенсивных и многоводных дождях, т.е. дождях, показательных для проектировщиков водоотводных систем, он может быть использован для проектирования канализационных систем и сооружений, и, прежде всего, для расчета аккумулирующих емкостей.

4.2.4.5 Максимальное суточное количество жидких осадков зимой

В расчеты по проектированию очистных сооружений входит такая климатическая характеристика, как суточный максимум жидких осадков в зимний период. Эту характеристику целесообразно использовать и при оценке долговечности зданий и вероятности протечек зданий в зимнее время.

Информацию о суточных максимумах жидких осадков можно получить из „Метеорологического ежемесячника" (ч. I) или документа, содержащего аналогичную ситуацию. При этом нужно поступать следующим образом:

1. Из таблицы „Суточные данные" за зимний период (декабрь, январь, февраль) выбирают те дни, когда были отмечены жидкие осадки (ЖО, ДЛ), и только те случаи, когда продолжительность их выпадения превышала продолжительность выпадения твердых осадков.

2. Из полученного ряда суточных сумм осадков (длина ряда должна быть не менее 30 лет) выбирают наибольшее значение. Это и будет суточный максимум жидких осадков в зимний период.

Так как в „Метеорологическом ежемесячнике" (ч. I) дано ограниченное число метеорологических станций и может отсутствовать пункт, интересующий потребителя, аналогичную информацию можно получить из таблиц ТМ-1.

Пример. Определение суточного максимума жидких осадков в зимний период. Требуется найти суточный максимум жидких осадков зимой в Санкт-Петербурге. Для решения данной задачи был проанализирован ряд суточных сумм осадков за зимний период 1970—1990 гг.

При этом, например, зимой 1989-90 г. наблюдалась следующая ситуация:

Месяц, год	Суточное количество осадков, мм	Продолжительность, часы			
		ЖО	ТО	ТОМ	ДЛ
Декабрь 1989 г.	3,9	13		6	
	3,8	6	4	1	
Январь 1990 г.	4,0	10		3	
	1,1	9		6	
Февраль 1990 г.	2,8	7		2	
	2,4	9			
	1,0	20			3
	3,3	9			
	10,0	8			
	22,8	10			10

Значение 22,8 мм оказалось наибольшим за период 1970—1990 гг. Его и следует считать суточным максимумом жидких осадков в зимний период.

Для оценки вероятности протечек вычисляется средний из ежедневных максимумов жидких осадков.

Помимо среднего максимума жидких осадков, необходимо найти максимум осадков заданной обеспеченности — квантиль. Для ее определения можно воспользоваться распределением редких событий Пуассона.

4.2.5 Долговечность зданий.

Долговечность наружных ограждающих конструкций определяется сроком их службы с сохранением в требуемых пределах эксплуатационных качеств в данных климатических условиях при заданном режиме эксплуатации зданий.

В процессе эксплуатации каждое здание подвергается внешним воздействиям, которые принимаются во внимание в проектах путем подбора материалов и конструкций, защиты их специальными покрытиями и т.д. Эксплуатационные затраты на здание в процессе его службы в 2-3 раза превышают расходы на его строительство. Поэтому приобретают особую актуальность вопросы безремонтной эксплуатации, т.е. выбора конструкции, не требующей капитального ремонта.

Для зданий наиболее опасны следующие виды воздействия климатической активности:

1) смена положительных и отрицательных температур; 2) увлажнение ограждающих конструкций; 3) промерзание увлажненных конструкций. Периодическое замерзание влаги в порах строительных материалов ведет к ус-

коренному физическому износу и сокращению срока службы ограждающих конструкций.

На различных этапах проектирования (посадки здания, принятия архитектурно - планировочного решения), а затем и при конкретном проектировании во многих районах совершенно необходим совместный учёт дождей и ветров («косых дождей»). Наличие такого рода осадков обуславливает намокание стен зданий, которое в свою очередь приводит к дополнительному увлажнению и снижению срока службы строительных материалов. Методику расчета косых дождей см в 4.1.4.

Долговечность наружной ограждающей конструкции оценивается по ее сравнительному или фактическому значениям. Под долговечностью понимается продолжительность в годах первого доремонтного периода эксплуатации ремонтируемых ограждающих конструкции или их элемента, например защищенного слоя (сравнительная долговечность), или продолжительность срока службы ремонтируемой конструкции с капитальными ремонтами, а также неремонтируемой конструкции или ее неремонтируемой части, например простенка (фактическая долговечность).

Долговечность θ , лет, наружной ограждающей конструкции или ее наружного защищенного слоя определяется по формуле:

$$\theta = \frac{N(w_1 - w_p)}{\left[(w_3^3 - w_p) \sum_{(3)} n_i^3 \xi^2(t_i) + (w_3^л - w_p) \sum_{(л)} n_i^л \xi^2(t_i) \right]} \quad (4.117)$$

где N - выдерживаемое материалом ограждения или соответственно его наружным защищенным слоем число циклов попеременного замораживания при стандартных испытаниях на морозостойкость, численно равное цифровому индексу устанавливаемой марки по морозостойкости (например, 35 циклов при $F 35$); w_n - массовое отношение влаги в материале, соответствующее его полному водонасыщению без вакуумирования; w_p - среднее равновесное массовое отношение влаги в материале, ниже которого при температуре -20°C лед в нем не образуется; $w_3^3, w_3^л$ - массовые отношения влаги в материале в зоне промерзания ограждения в условиях его эксплуатации на зимне-весеннем (з) и летне-осеннем (л) периодах года соответственно при расчетах на долговечность; $x(t_i)$ - соответствующие данному зимне-весеннему или летне-осеннему периоду года переменные коэффициенты, принимаемые по [] в зависимости от достигаемой материалом отрицательной температуры t_i в каждом отдельном случае i ее перехода через 0°C ниже температуры начала замерзания $t_{нз}$ в нем жидкой влаги; $n_3^3, n_3^л$ - соответственно число таких случаев i -го достижения температуры t_i в году на этих периодах.

При обычно наблюдаемом нестационарном (неустановившемся) температурном поле ограждения при данной температуре наблюдается только один цикл i , поэтому

$$n_{из} = n_{вл} = 1 \text{ цикл/год.}$$

Для установления числа случаев i и, соответствующих им температур t_i , по которым находят коэффициенты $\chi(t_i)$, необходимо предварительное определение полных нестационарных температурных полей ограждающей конструкции на зимне-весеннем и летне-осеннем периодах года с учетом характеристик климатической активности района строительства, влияющих на долговечность наружных ограждений.

Для расчета нестационарных температурных полей наружных ограждающих конструкций на зимне-весеннем и летне-осеннем периодах года, с учетом которых производится прогнозирование их долговечности, необходимы следующие климатологические параметры наружного воздуха:

- среднемесячные температуры $t_{см}$ по месяцам года;
- средние амплитуды A_c суточных колебаний температуры по месяцам года с периодом $P = 24$ ч;
- среднесуточные температуры $t_{сс}$ по дням месяцев года;
- темп b изменения среднемесячных температур $t_{см}$ в их годовом ходе на зимне-весеннем и летне-осеннем периодах года;
- средние расчетные полупериоды P_p устойчивых периодических заморозков и оттепелей по отношению к годовому ходу среднемесячных температур $t_{см}$ на зимне-весеннем и летне-осеннем периодах года;
- средние расчетные амплитуды A_p этих заморозков и оттепелей с полупериодом P_p на зимне-весеннем и летне-осеннем периодах года;
- среднее расчетное число m_p указанных заморозков и оттепелей в году на зимне-весеннем и летне-осеннем периодах года;
- средняя календарная дата начала устойчивых периодических оттепелей по отношению к годовому ходу среднемесячных температур $t_{см}$ на зимне-весеннем периоде года;
- средняя календарная дата начала устойчивых периодических заморозков по отношению к годовому ходу среднемесячных температур $t_{см}$ на летне-осеннем периоде года.

Примечания : 1. Зимне-весенним и летне-осенним периодами года называются его активные периоды в указанное время, на которых возможны периодические оттепели и заморозки с переходами температуры наружного воздуха через 0°C . 2. Темп b изменения среднемесячных температур $t_{см}$ на-

ружного воздуха на зимне-весеннем и летне-осеннем периодах года определяется по графику их годового хода на участках, где эти температуры изменяются практически линейно.

На основе этих данных строится график, на котором изображаются: ход средней месячной температуры воздуха и средней суточной температуры воздуха за каждый день в летне-осенний (л-о) и зимне-весенний (з-в) периоды года.

На кривой хода средней месячной температуры воздуха в эти периоды выделяются участки, где наблюдаются устойчивые периодические изменения средней суточной температуры воздуха с последующим пересечением этой кривой. На этих участках кривые суточного хода температуры воздуха аппроксимируются синусоидой.

В пределах выделенных участков определяют: средний расчетный полупериод устойчивых периодических заморозков $P_3^{л-о}$, $P_3^{з-в}$ и оттепелей заморозков $P_0^{л-о}$, $P_0^{з-в}$, среднюю расчетную амплитуду температуры воздуха заморозков $A_3^{л-о}$, $A_3^{з-в}$ при заморозках с полупериодом соответственно заморозков $P_3^{л-о}$, $P_3^{з-в}$, среднюю расчетную амплитуду температуры воздуха $A_0^{л-о}$, $A_0^{з-в}$ при оттепелях с полупериодом соответственно $P_0^{л-о}$, $P_0^{з-в}$, число устойчивых заморозков $m_3^{л-о}$ и оттепелей $m_0^{з-в}$ в соответствующие периоды; даты начала устойчивых заморозков или соответственно оттепелей.

Пример построения графика и определения необходимых расчетных характеристик приведен на рис. 4.25

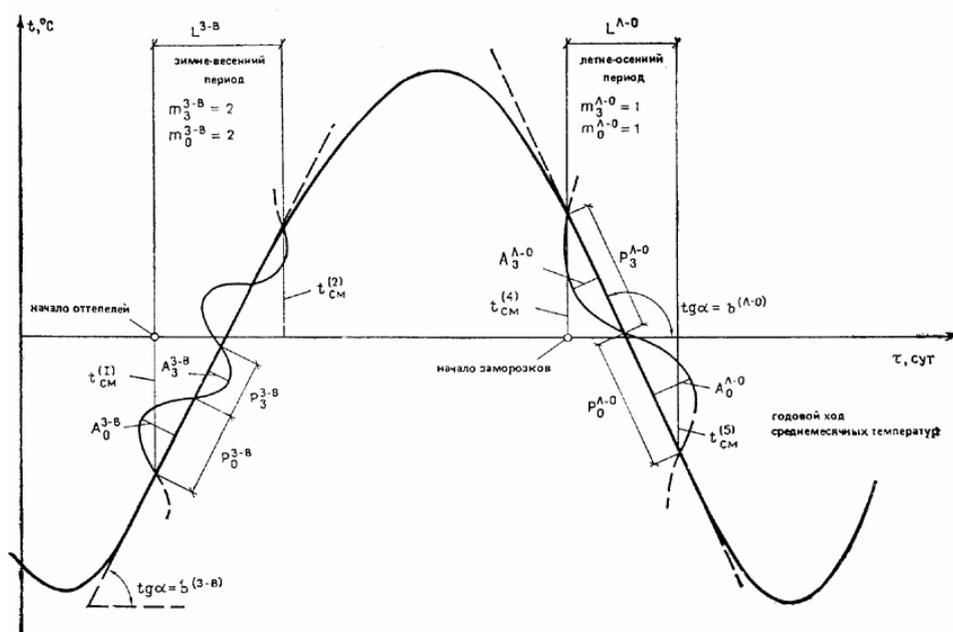


Рис. 4.25 Схема для определения климатических характеристик при прогнозировании долговечности наружных конструкций

Характеристики оттепелей и заморозков определяются по формулам:

а) $\overline{A_0} = \frac{\Sigma A_0}{N_0}$, где $\overline{A_0}$ - средняя амплитуда оттепелей; A_0 – амплитуда отте-

пели; N_0 – количество оттепелей.

б) $\overline{A_3} = \frac{\Sigma A_3}{N_3}$, где $\overline{A_3}$ - средняя амплитуда заморозков; A_3 – амплитуда за-

морозка; N_3 – количество заморозков.

в) $\overline{P_0} = \frac{\Sigma P_0}{N_0}$, где $\overline{P_0}$ - средний полупериод оттепели; P_0 – полупериод от-

тепели.

г) $\overline{P_3} = \frac{\Sigma P_3}{N_3}$, где $\overline{P_3}$ - средний полупериод заморозка; P_3 – полупериод за-

морозка.

д) $\overline{A_p} = \frac{\overline{A_0} + \overline{A_3}}{2}$, где $\overline{A_p}$ - средняя расчётная амплитуда заморозков и от-

тепелей.

е) $\overline{P_p} = \overline{P_0} + \overline{P_3}$, где $\overline{P_p}$ - средний расчётный период оттепелей и замо-

розков.

ж) $\overline{m_p} = \frac{N_3 + N_0}{20}$, где $\overline{m_p}$ - среднее расчётное число заморозков и оттепе-

лей в год.

Пример. Определить характеристики оттепелей и заморозков для рас-
чета долговечности ограждающих конструкций в Санкт-Петербурге за 1995-
2000 гг.

В таблице 4.41 и 4.42 приведены результаты исследования климатиче-
ской активности в Санкт-Петербурге за этот период. По этим данным найдём,
что за десятилетний период климатическая активность в Санкт-Петербурге
характеризуется следующими показателями:

$$\overline{A_0} = \frac{237}{39} = 6,1^{\circ}C$$

$$\overline{A_3} = \frac{201,1}{36} = 5,6^{\circ}C$$

$$\overline{P_o} = \frac{261,7}{39} = 6,7 \text{сут}$$

$$\overline{P_s} = \frac{226,3}{36} = 6,3 \text{сут}$$

$$\overline{A_p} = \frac{6,1 + 5,6}{2} = 5,8^0 \text{C}$$

$$\overline{P_p} = 6,7 + 6,3 = 13 \text{сут}$$

$$\overline{m_p} = \frac{39 + 36}{20} = 3,7 \text{цикл / год}$$

Таким образом, все характеристики климатической активности района строительства и сроки начала оттепелей и заморозков определены.

Таблица 4.41

Характеристика оттепелей 1995-2000 годы

Год	Характеристика	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	сумма
1995-	Амплитуда, град.С	1.1	4,0	5.8	7,0	5.2	7.1										30.2
1996	Полу период, сутки	1.1	5.8	4.1	2.5	1.8	21,6										36.9
1996-	Амплитуда, град.С	8.1	6,0	6.1	7.5	5.1	8.1	5.9									46.8
1997	Полу период, сутки	29.0	3.2	3.3	1.8	3.1	33,0	7.3									84.7
1997-	Амплитуда, град.С	5.5	8.2	7.8	8.2	7.1	7,0	8.4	7.2	4.1							63.5
1998	Полу период, сутки	4.1	10,3	4.6	12,2	2,0	1.5	3.5	3,0	4.9							46.1
1998-	Амплитуда, град.С	1.2	9.1	9,0	6.8	10,1	3.8	8.3									48.3
1999	Полу период, сутки	1.7	4.2	4.5	1.6	8.1	1.5	17,1									38.7
1999-	Амплитуда, град.С	3.8	6.1	4,0	8,0	7.9	4,0	6.1	5.2	1.8	2,0						48.9
2000	Полу период, сутки	4,0	7.5	2.1	6,0	10,0	1.5	12,6	4.9	4.1	2.6						55.3
Сум.	Амплитуда, град.С	19,7	33,4	32,7	37,5	35,4	30,0	28,7	12,4	5,9	2,0						237,7
	Полу период, сутки	43,9	31,0	18,6	24,1	25,0	59,1	40,5	7,9	9,0	2,6						261,7

Таблица 4.42

Характеристика заморозков 1995-2000 годы

Год	Характеристика	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	сумма
1995-	Амплитуда, град.С	5,5	3,0	3,3	4,2	4,9	2,3	2,2									25,4
1996	Полу период, сутки	5,8	5,9	2,7	2,5	7,8	3,6	3,6									31,9
1996-	Амплитуда, град.С	0,8	1,0	6,5	3,9	12,1	7,2	6,2									37,7
1997	Полу период, сутки	0,2	4,1	14,2	2,1	7,1	13,4	11,4									52,5
1997-	Амплитуда, град.С	4,2	5,7	14,1	11,8	0,4	8,1	9,8									54,1
1998	Полу период, сутки	5,0	4,5	13,2	6,6	1,3	2,3	14,6									47,5
1998-	Амплитуда, град.С	0,6	7,8	11,8	3,8	2,0											26,0
1999	Полу период, сутки	0,8	5,7	9,4	10,0	1,0											26,9
1999-	Амплитуда, град.С	7,7	8,8	2,0	3,1	12,3	4,0	9,7	4,3	1,8	4,2						57,9
2000	Полу период, сутки	3,2	12,2	1,8	1,1	15,5	7,2	8,5	9,3	1,6	7,1						67,5
Сум.	Амплитуда, град.С	18,8	26,3	37,7	26,8	31,7	21,6	27,9	4,3	1,8	4,2						201,1
	Полу период, сутки	15,0	32,4	41,3	22,3	32,7	26,5	38,1	9,3	1,6	7,1						226,3

Таблица 4.43

Обобщённая характеристика оттепелей и заморозков за 1995-2000 гг.

Год	Количество, шт		Начало	
	оттепелей	заморозков	заморозков	оттепелей
1995-1996	6	7	1 ноября	-
1996-1997	7	7	12 ноября	14 января
1997-1998	9	7	25 октября	5 января
1998-1999	7	5	5 ноября	16 декабря
1999-2000	10	10	7 ноября	-
Всего	39	36		
Сумма амплитуд	237,0	201,1		
Сумма полупериодов	261,7	226,3		

Анализ полученных результатов показывает, что за период 1990-2000 гг. климатическая активность в районе Санкт-Петербурга характеризуется следующими показателями:

- 1) средняя амплитуда оттепелей $6,1^{\circ}\text{C}$;
- 2) средняя амплитуда заморозков $5,6^{\circ}\text{C}$;
- 3) средний полупериод оттепелей 6,7 сут;
- 4) средний полупериод заморозков 6,3 сут;
- 5) средняя расчётная амплитуда заморозков и оттепелей $5,8^{\circ}\text{C}$;
- 6) средний расчётный период заморозков и оттепелей 13 сут;
- 7) среднее расчётное число заморозков и оттепелей 3,7 цикл/год.

4.2.6 Производство строительных работ

Основными климатическими параметрами, характеризующими условия производства работ являются: продолжительность зимнего периода; сочетания температуры воздуха и скорости ветра, определяющие условия работ на открытом воздухе; большие скорости ветра, при которых прекращается монтаж стеновых панелей и работа башенных кранов; снегозаносы; ухудшение видимости во время метелей; продолжительность

периода с низкой температурой воздуха, снижающими эффективность работы транспорта. В летнее время прекращение строительных и монтажных работ может быть вызвано интенсивными осадками, грозами, туманами.

При проектировании различных сооружений, несущая или рабочая части которых выполняются из металлов, необходимо знать значения и длительность воздействия низкой температуры воздуха. Иногда достаточно небольшого изменения температуры для того, чтобы потребовалась специальная модификация проектируемого объекта. Так, в условиях, когда температура воздуха $< -30^{\circ}\text{C}$, следует выбирать изделия, выполненные в северном варианте.

Возможность производства работ на открытом воздухе определяет также температурно-ветровой режим, т. е. критические сочетания температуры воздуха и скорости ветра (температура $< 0^{\circ}\text{C}$ при скорости ветра $> 10\text{ м/с}$), при которых либо прекращаются строительные и монтажные работы, либо производится дополнительная оплата труда.

Для того чтобы оценить сроки будущего строительства, возможное удорожание строительных работ, производимых в зимнее время, и составить графики хода строительных работ, необходимо иметь данные об объеме переносимого снега, зависящего, в свою очередь, от интенсивности снегопереноса и от продолжительности метелей.

5. ЭНЕРГЕТИКА

Энергетика является двигателем экономики, т.е. одним из наиболее важных её секторов. На протяжении последних лет Российская Федерация демонстрирует устойчивую положительную динамику роста электропотребления (Рис. 5.1).

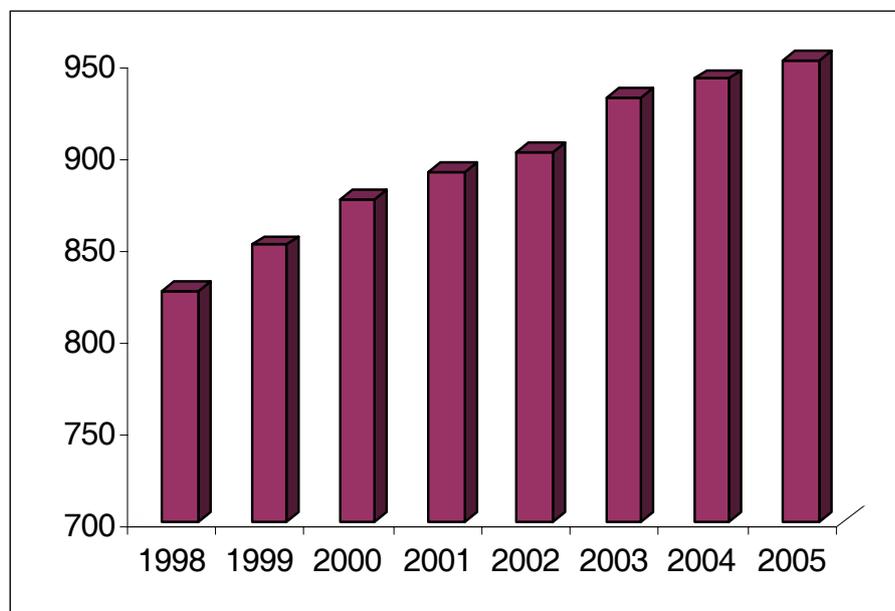


Рис. 5.1. Энергопотребление в Российской Федерации, млрд. кВт*час

До этого, с 1990 по 1997 год, электропотребление в стране сократилось почти на 25%, появились значительные резервы мощности в ЕЭС России, и ощутимо снизилась загрузка действующих электростанций. В 1997 году закончился период падения спроса на электроэнергию и начался рост, при котором уровень потребления постепенно приблизился к максимуму, зафиксированному в 1990 году.

Общая тенденция роста спроса на электроэнергию прослеживается по всей стране, но при этом важной особенностью этого роста является его неравномерность как в региональном, так и в отраслевом разрезе. В ряде случаев такой рост уже привёл к дефициту мощностей в условиях пика потребления в зимний период (Московская, Ленинградская, Тюменская энергосистемы).

Проблемы, возникающие в силу быстрого роста потребления электрической энергии, усугубляются ухудшением состояния оборудования. В то время как в целом по промышленности износ основных фондов уменьшается, в электроэнергетике старение основных фондов продолжается. Если существующая тенденция в электроэнергетике сохранится, то к 2010 году ежегодное

недопотребление составит примерно 50 млрд. кВт. Особенно большим недопотребление будет в объединённой энергосистеме Урала.

Влияние климата и его изменений на развитие энергетической отрасли вкратце выражается в следующем :

- климатические условия во многом определяют особенности функционирования и технико-экономические показатели всех типов электростанций, поэтому изменение климата вызовет необходимость корректировки проектирования и эксплуатации электростанций;

- климатические условия определяют потребность в энергии, следовательно, их изменение может существенно изменить тепло- и энергопотребление во многих регионах России;

- специфика энергетики заключается в том, что продукцию этой отрасли практически невозможно накапливать и сохранять, поэтому потребности в энергии должны быть спрогнозированы и учтены заранее;

- климатические условия в значительной мере определяют экологические последствия деятельности объектов энергетики.

Задачей Росгидромета является подготовка современной специализированной информации об изменяющемся климате и рекомендаций по адаптации к происходящим и будущим изменениям климата. Возможно, что ожидаемое потепление климата в какой-то мере компенсирует растущие расходы энергии российской экономики.

5.1. Инфраструктура энергетики

На рис. 5.2 представлена инфраструктура сектора энергетики в виде «дерева», ветвями которого служат различные циклы энергетики. Для каждого цикла указаны основные специализированные показатели, выражающие воздействие климата на объекты и процессы данного цикла.

Хотя все циклы зависят от климата в целом, для каждого цикла можно выделить свойственные ему в первую очередь воздействия, которые характеризуют тот или иной конкретный климатический показатель. Эти показатели различаются для разных циклов. Например, одним из основных ОЯ при добыче нефти и газа служит число дней с грозой, а для добычи торфа – повторяемость опасного тумана; в расчёты АЭС входят значения температуры воздуха, ветра и снежного покрова, возможные 1 раз в 10 000 лет, а в расчёты ветровых электростанций (ВЭС) – средний куб скорости ветра.

Более подробно специализированные показатели, или «индексы влияния», как их называют, рассматриваются в последующих разделах, посвященных конкретным циклам.



Рис. 5.2. Инфраструктура сектора энергетики

5.2. Нефтегазовая отрасль энергетики.

Основные запасы нефти и газа в России находятся на территории, расположенной севернее 60-64° с.ш., т.е. в основном в полярной зоне. В Приобье добывается 90% всего газа (85% в Ямало-Ненецком АО и 5% в Ханты-Мансийском АО) и здесь же (в основном Ханты-Мансийском и частично в Ямало-Ненецком АО) находятся основные запасы нефти. Отсюда на запад и юго-запад проложены системы нефте- и газовых магистральных трубопроводов. Наиболее значимыми проектами строительства трубопроводов являются:

- магистральный газопровод «Ямал-Европа» (участок Торжок – Белосток по территории России и Республики Беларусь);
- магистральный газопровод «СРТО-Торжок»;
- Мега – проект Ямал;
- Трансчерноморский проект «Голубой поток» - «Россия – Турция»:

- Проект освоения Штокмановского ГКМ;
- Северо-Европейский газопровод.

Наряду с большими запасами углеводородного и углеродного топлива и многих других видов природных ресурсов полярные области крайне бедны климатическими ресурсами почти для всех видов хозяйственной деятельности и проживания человека. И хотя в результате изменения климата количество климатических ресурсов должно возрасти, основной проблемой климатологического обеспечения экономики этого района является снабжение нефтегазовой отрасли и объектов её инфраструктуры адекватной климатической информацией.

Система специализированных климатических параметров для различных циклов нефтегазовой промышленности представлена в таблицах 5.1. и 5.2.

Таблица 5.1.

Специализированные климатические параметры
для нефтяной и газовой отрасли

Отрасли, процессы и объекты	Климатические специализированные параметры (индексы)
Разведка и разработка месторождений углеводородного сырья (разведка месторождений нефти и газа, строительство и эксплуатация нефте- и газопромысла: буровые установки, буровые платформы на шельфе, нефтекачающие станции, подземные и плавучие нефтехранилища, береговые)	Ветровая нагрузка, возможная 1 раз в 50 лет, период повторения скорости ветра > 15 м/с и > 22 м/с; повторяемость температуры воздуха ниже -25 ⁰ С, - 30 ⁰ С, -33 ⁰ С, -40 ⁰ С, выше +25 ⁰ С; число гроз, смерчей, ураганов; макс. глубина протаивания вечной мерзлоты; волнение на море и ледовая обстановка.
Проектирование и эксплуатация нефте- и газопроводов (подводящих, магистральных и распределительных подземных, наземных, надземных, подводных)	Средняя минимальная годовая температура почвы на уровне заложения трубопровода, изменение температуры почвы вдоль трубопровода, повторяемость температуры почвы ниже – 30 ⁰ С и – 40 ⁰ С, абсолютный минимум температуры воздуха и его продолжительность, максимальная глубина промерзания и протаивания почвы, макс. высота снежного покрова.

Вспомогательные и жилые строения (распределительные и гидрокомпрессорные установки, нефтеперекачивающие станции, установки электрохимической защиты, ЛЭП вдоль трубопроводов, жилые здания, узлы связи)	Повторяемость температуры воздуха ниже -30°C и -40°C , резкие понижения температуры воздуха; повторяемость гроз, смерчей, ураганов, туманов; скорость ветра при макс. гололедных отложениях; колебания атм. давления; температура наиб. холодной пятидневки и однодневки обеспеченностью 0,92 и 0,98; максимальная глубина промерзания и протаивания почвы; характеристики СНиП «Строительная климатология»
Доставка грузов и оборудования (автомобильный, ж.д. и воздушный транспорт, танкеры и вспомогательный флот)	Климатические параметры, содержащиеся в монографии «Климат и железнодорожный транспорт»; скользкость дорог; дальность видимости; экстремальная скорость ветра; волнение, ледовая обстановка
Природосберегающие технологии (рекультивация земель)	Экстремальная температура воздуха и поверхности почвы; максимальная скорость ветра, количество осадков

Таблица 5.2.

Специализированные климатические параметры
для электроэнергетической системы (ЕЭС, ЦДУ, ОЭС)

Элемент системы	Климатические специализированные параметры
Генераторы энергии (ТЭС)	Средняя суточная температура; температура наиболее холодной пятидневки; температура наиболее жаркой декады; температура наиболее холодного периода; повторяемость опасных явлений.
Линии высоковольтных передач, подстанции и распределяющие устройства ЛЭП	Максимальная гололедно-ветровая и ветровая нагрузки; число дней с опасными явлениями погоды (гроза, град, ливень, снегопад).
Теплосеть	Средняя и минимальная температура почвы; глубина ее промерзания и протаивания.
Потребление энергии	Средняя и минимальная температура воздуха; освещенность, средняя эффективная температура теплопотерь.

5.2.1 Разведка и разработка месторождений нефти и газа

На работы по разведке нефти и газа и разведочное бурение, также как и по разведке углеродного топлива, оказывают влияние все климатические факторы, усложняющие работы на открытом воздухе. В частности – это метеорологические опасные явления (ОЯ): сильный ветер, особенно при отрицательной температуре воздуха, сильная метель, туман, ливни, снегопады и гололеда на дорогах. Эти явления затрудняют и удорожают работы, а некоторые из них приводят к прекращению работ.

Низкие температуры воздуха ($\leq - 35^{\circ}\text{C}$ без ветра и $\leq - 30^{\circ}\text{C}$ с ветром) также создают аварийные ситуации. В то же время в связи с потеплением климата и, как результат этого, с таянием вечной мерзлоты происходит таяние «зимников», основных дорог в данном районе, и значительно сокращается время возможного перемещения на севере РФ людей и транспорта. Для этих районов характерна, кроме того, болотистая почва, поэтому при таянии вечной мерзлоты и автомобильные, и железные дороги «проседают», укладываемые плиты для автодорог расходятся и дорога разрушается. Поэтому число транспортных магистралей ограничено. Самолётное и вертолётное сообщение и доставка оборудования также недостаточное, вследствие плохого состояния в это время года взлётно-посадочных полос. В отдалённых районах Восточной Сибири происходит таяние естественных ледовых причалов на побережье океана.

При потеплении климата и разрушении вечной мерзлоты возрастает возможность пересыхания многих мелких рек, прудов, что также препятствует перемещению на лодках.

Рост повторяемости штормовых нагонов привёл к усилению береговой эрозии, что угрожает портовым причалам. С другой стороны потепление расширяет вследствие таяния морского льда доступ к топливным ресурсам.

Россия, как уже отмечалось, обладает огромными запасами нефти и газа. Только на крайнем севере Западной Сибири находится более 40 месторождений газа и более 5 тысяч скважин. При таком их количестве невозможно полностью исключить аварии. В последние 10 лет число аварий увеличилось, и примерно 60% аварий связано с природными и в основном с климатологическими факторами. Поэтому важно определить климатические показатели, приводящие к авариям нефтяных и газовых скважин.

Одной из основных причин аварий всей инфраструктуры нефтегазовой отрасли и в частности буровых скважин является таяние вечной мерзлоты и последствия этого. При таянии вечной мерзлоты скважины деформируются и их иногда «глушат» затоплением жидкостью, а последующее восстановление приводит к потерям на 10-20% производительности скважин. В ряде случаев

в скважинах делают дорогостоящие задвижки, которые хотя и дороги, но позволяют не уменьшать производительность скважины.

Климатическим фактором, приводящим к таянию вечной мерзлоты, является потепление климата. Поэтому необходим мониторинг температуры воздуха и почвы. Т.к. на территории северной части России наибольшее потепление происходит в марте, именно температура воздуха и почвы в марте представляет наибольший интерес. Основными климатическими показателями служат средняя месячная температура и средние месячные максимумы и минимумы температуры (средний из абсолютных значений экстремум температуры) марта. Необходимо также располагать климатической информацией о глубине протаивания, а также распределением температуры по глубине.

В районах нефтегазовых промыслов возведены буровые установки, имеющие высоту 30-40 м. На шельфе для добычи нефти и газа используются буровые платформы, на которых также имеются высотные установки. Поэтому для бурения скважины, проектирования и эксплуатации сооружений на нефтегазовых разработках требуется специализированная климатическая информация, используемая для высотных сооружений, в частности, ветровые, гололёдные и гололёдно-ветровые нагрузки на буровые установки.

Для расчёта ветровых нагрузок предварительно определяется ветровой напор на высотах (см. пункт 4.2.2). В расчёты гололёдных нагрузок включаются коэффициенты перехода от веса гололёда на гололёдном станке к весу на высотное сооружение.

Кроме того, бурение и остальные работы на буровых установках запрещаются при грозах, поэтому важными специализированными характеристиками климата на данном этапе служат повторяемость гроз и молниевых разрядов.

5.2.2. Проектирование и эксплуатация нефте- и газопроводов

Большинство нефте- и газопроводов строится в тесной связи с разработкой месторождений, переработкой сырья и потреблением углеводородов. Обеспечивая низкую стоимость транспортировки, они становятся важным фактором экономики. Трубопроводы особенно эффективны для транспортировки природного газа, который добывается в больших объемах как вместе с нефтью, так и отдельно из газовых месторождений. Значительные объемы транспортируются также специальными танкерами в виде сжиженного газа.

Транспортировка сырой нефти осуществляется по сети трубопроводов, которые поставляют нефть от скважин к хранилищам на промысле или к магистральным терминалам. По магистральным трубопроводам нефть перека-

чивают к нефтеперерабатывающим заводам или терминалам танкеров. Переработка нефти осуществляется либо в районах ее добычи, либо на значительных расстояниях от нее вблизи главных потребителей и рынков сбыта.

Линии газопроводов подразделяются на газосборные, магистральные и распределительные. Транспортирующие, или магистральные, трубопроводы поставляют газ местным службам, которые распределяют его для промышленного и коммунального использования, а также для других нужд.

Нефтьесборные трубопроводы имеют обычно диаметр 5–20 см; диаметр протяженных магистральных нефтепроводов иногда достигает 120 см. Имеется тенденция строительства крупных трубопроводов для сырой нефти и продуктов ее переработки. Параллельные и обводные трубопроводы увеличивают пропускную способность построенных ранее и имеющих меньший диаметр трубопроводов. Газопроводы, как правило, более крупные по сравнению с нефтепроводами. Система магистральных трубопроводов Ямбург – Западная граница СНГ имеет общую протяженность 28,7 тыс. км с диаметром труб 142 см.

Магистральные трубопроводы, как правило, прокладываются подземно. В исключительных случаях трубопроводы могут быть проложены по поверхности земли в насыпи (наземно) или на опорах (надземно). Такие прокладки допускаются в пустынях, горах болотах, на вечномерзлых и неустойчивых грунтах, на переходах через естественные и искусственные препятствия.

Глубина заложения трубопровода (от верха трубы) зависит от диаметра, характеристик грунтов местности и должна быть не менее 0,8–1,1 м.

Использование цельнотянутых бесшовных, тонкостенных и упроченных труб, введение компьютерного контроля, дистанционное обслуживание с помощью мониторов, улучшение технологии сварки – главные составляющие прогресса в строительстве и эксплуатации трубопроводов.

Нефть и продукты ее переработки перекачиваются насосными станциями, расстояние между которыми определяется рельефом, скоростью транспортировки и другими факторами. Различные виды сырой нефти или, в случае продуктопроводов, продукты ее переработки, обычно транспортируются с минимальным смешением. Компрессорные станции поддерживают давление, необходимое для постоянного движения природного газа. Диаметр трубопровода, число и мощность насосных и компрессорных станций определяют производительность трубопровода

Стальные газо- и нефтепроводы городов и поселков России - объекты постоянных забот и тревог эксплуатирующих организаций. Коррозионные повреждения вследствие блуждающих токов и агрессивных грунтов служат основной причиной их аварийного выхода из строя.

В России эта проблема решается путем перехода сооружений систем газификации, добычи, транспортировки и сбора нефти на полиэтиленовые трубы, так как они обладают рядом достоинств, в частности:

- низкой газопроницаемостью;
- стойкостью к составляющим газа, коррозии и трещинообразованию;
- высокой пластичностью, морозостойкостью.

Для них характерны простота сварки, получение надежного соединения, высокая технологичность и легкость монтажа. Долговечность и прочность полиэтиленовых газо- и нефтепроводов подтверждается научно-исследовательскими работами и опытом эксплуатации.

Географическое положение Российской Федерации (протяженность территорий, суровые климатические условия) вынуждает транспортировать газ и нефть на большие расстояния. Экономически обоснованные условия транспортировки газа требуют повышения давления (более 1,2 МПа) при соблюдении требований промышленной безопасности. Для таких условий, очевидно, нужны трубы, обладающие достоинствами полиэтиленовых труб в сочетании с высокой несущей способностью. Трубопроводы приходится строить через неровности рельефа, леса, болота, в экстремальных климатических условиях. По мере старения промысловых и магистральных трубопроводов возрастает опасность аварийных ситуаций, разрывов труб и возникающих при этом разливов нефти и загрязнении водоемов, что придает особую важность вопросам обеспечения надежности и экологической безопасности процессу их эксплуатации.

Наиболее важными специализированными параметрами, характеризующими воздействие климатических условий на трубопроводы, помимо характеристик таяния вечной мерзлоты являются показатели теплового режима на уровне заложения трубопровода. Низкая температура грунта, большая изменчивость температуры во времени и неравномерность её распределения вдоль трубопровода вызывают термическое напряжение труб, что ведёт к гофрированию труб и образованию свищей. Чем больше диаметр трубы, тем меньше опасность такой аварии.

Серьезной проблемой, возникающей в процессе функционирования трубопроводов, являются температурные градиенты, как по сечению трубопровода, так и по длине. Так, например, значительное число отказов промысловых трубопроводов Самотлорского месторождения приходится на летнее время (56% аварий нефтегазопроводов и 48% водоводов системы поддержания пластового давления (ППД)). Большинство этих аварий вызвано максимальными перепадами температур по сечению трубопровода, которые наблюдаются в это время года. В летний период верхняя образующая наземных

нефтегазопроводов нагревается до температур 40-45 °С, в то время как нижняя часть имеет температуру потока (31-37 °С). В этих условиях возникают локальные напряжения, которые могут значительно превысить предел прочности материала труб. Колебания температуры, особенно в условиях крайнего Севера и Западной Сибири, могут быть весьма значительными. Обусловлены они погодными условиями (например, выпадением осадков), сменой периода суток, сезонностью и термодинамическим режимом перекачки продукции скважин. Суммарные колебания температуры могут достигать 20-30°С. Особенно опасны эти колебания для нефтепроводов, уложенных на поверхности. Нижняя образующая шириной 100-250 мм может находиться в зоне сезонных температур, верхняя же образующая при недостаточной загрузке по жидкости (т.е. при неполном сечении) находится в зоне влияния колебаний температуры, обусловленных погодными и суточными изменениями. Эти факторы вызывают необходимость мониторинга температуры, как на поверхности трубы, так и на поверхности почвы.

Деформация трубопроводов может быть вызвана и морозным пучением грунта в условиях многолетней мерзлоты. При этом газопроводы подземного заложения неравномерно перемещаются в вертикальной плоскости, что создает изгибные деформации относительно оси трубопровода.

В зимнее время замерзание гидратного соединения углеводорода с водой может создавать пробки в трубопроводах.

При резких понижениях температуры воздуха и усилении ветра увеличивается отбор газа и следует принимать адаптационные меры: перераспределять поток газа, увеличивать его отбор из подземного газохранилища. Повышение температуры до значений более 15° С приводит к падению мощности компрессорных станций и к уменьшению добычи газа.

В табл. 5.3 указаны критические значения некоторых специализированных показателей и последствия, возникающие при переходе через них.

Таблица 5.3.

Критические значения специализированных климатических показателей

Значение показателя	Уязвимость сооружений
Глубина протаивания вечной мерзлоты более 30 см	Усложняются и замедляются разведывательные работы, возможны разрушения скважин, разрывы нефте- и газопроводов, фонтанирование и разливы нефти и др. промышленные катастрофы; наблюдается прогрессирующее разрушение зданий, затрудняется строительство железных и автомобильных дорог, деформирование буровых установок, сокращается время доступа к ресурсам
Температура воздуха ниже -15°С	Осложняется сварка полиэтиленовых труб (проведение сварочных работ в отапливаемых конструкциях)

Температура воздуха ниже -25°C ,	Увеличивается загустение нефти и затрудняется ее перекачивание
Температура воздуха ниже -30°C	Необходимо утепление трубопровода и использование морозостойких материалов, происходит удорожание работ
Температура воздуха ниже -40°C	Требуется использование легированных сталей, образуются пробки и свищи в трубопроводах.
Скорость ветра больше 22 м/с	Прекращается монтаж буровых вышек, затрудняется сварка труб, прекращается ремонт скважин и наземных сооружений
Гололедно-ветровая нагрузка (стенка гололеда более 26 мм^2 при скорости ветра более 10 м/с, отложение мокрого снега более 35 мм^2 и скорости ветра более 6 м/с)	Возможно разрушение ЛЭП
Гроза	Взрывы на буровых установках и поражение ЛЭП, возникает опасность возгорания строений.

5.2.3. Вспомогательные, жилые строения и транспортные системы

Компрессорные станции, предназначенные для изменения давления газа в трубопроводе, расположены обычно по ходу трубопровода. Поскольку они являются высотными сооружениями, основными параметрами служат характеристики атмосферных нагрузок (ветровые, гололедные и гололедно-ветровые). Низкие температуры воздуха отрицательно влияют на прочность данных конструкций и требуют применения специальных морозостойких материалов, но и наличие высоких температур не является благом, особенно если они часто чередуются с отрицательными температурами. Это приводит к резким изменениям коэффициентов термического расширения материалов и тем самым негативным образом влияет на прочность сооружений.

Основные объекты сухопутной транспортной системы включают также насосно-перекачивающие станции, резервуарные парки, вахтовые посёлки, складские помещения и производственные базы. Климатические параметры, необходимые для обеспечения этих объектов, регулируются основными нормативными документами (СНИП «Строительная климатология» и др.).

Основными объектами морской транспортной системы, кроме подводных трубопроводов, являются береговые насосно-перекачивающие станции, отгрузочные терминалы, танкерный и вспомогательный флот и плавучие нефтехранилища. Эти объекты находятся в основном под влиянием ветрового режима и волнения моря. Навигационные условия для вспомогательного фло-

та ухудшаются под влиянием туманов, которые в Арктике при определённых условиях сильно искажают очертания предметов и расстояния до них. Ущерб производственной деятельности этих объектов наносят опасные гидрометеорологические явления, с которыми связаны экологические катастрофы.

5.3. Тепловая, ядерная и гидроэнергетика

Развитие многих стран ориентировано на строительство мощных электростанций и крупных блочных агрегатов.

Электростанция это совокупность установок, оборудования и аппаратуры, используемых непосредственно для производства электрической энергии, а также необходимые для этого сооружения и здания.

В зависимости от источника энергии различают:

- тепловые электростанции (ТЭС), использующие природное топливо;
- гидроэлектростанции (ГЭС), использующие энергию падающей воды запруженных рек;
- атомные электростанции (АЭС), использующие ядерную энергию.

Может показаться, что нормальное функционирование ТЭС и АЭС практически не зависит от климата. Однако снабжение этих объектов топливом и водой, рассеивание выбросов, эффективность охлаждения в значительной степени определяется именно климатическими факторами. Так, например, увеличение сумм осадков приводит к дополнительному накоплению угля на открытых топливных складах, что на 1-3% уменьшает тепловую экономичность энергоустановок; в масштабах страны это вызывает дополнительный расход топлива 0,5-1 млн. т.у.т. в год. На эффективность работы газотурбинных установок оказывают значительное влияние колебания температуры воздуха. Так рост температуры на 5⁰С уменьшает выработку энергии на 3-4%.

5.3.1 Тепловая энергетика

В России около 75% энергии производится на тепловых электростанциях. ТЭС строят в районах добычи топлива или в районах потребления энергии. Наиболее мощные электростанции располагаются в местах добычи топлива, а на потребителя ориентированы ТЭС, использующие транспортабельное, высококалорийное топливо. Электрическую энергию тепловые станции вырабатывают в результате преобразования тепловой энергии, выделяющейся при сжигании органического топлива.

В любой электростанции предусмотрена система охлаждения отработанного теплоносителя, чтобы довести его температуру до необходимо-

го для повторного цикла значения. Если поблизости от электростанции есть населенный пункт, то это тепло используется для нагрева воды для отопления домов или горячего водоснабжения. Если же потребителя излишнего тепла нет, то оно просто сбрасывается в атмосферу через градирни (широкие конусообразные трубы), которые часто служат конденсатором отработанного пара.

Среди ТЭС преобладают тепловые паротурбинные станции (ТПЭС), использующие в качестве топлива преимущественно уголь, мазут, природный газ, лигнит, торф, сланцы. Те ТПЭС, которые отдают тепло отработанного пара промышленным или коммунально-бытовым потребителям, называются теплоэлектроцентралями (ТЭЦ). Радиус передачи тепла (в виде пара или горячей воды) составляет 15-20 км. Не использующие тепло отработанного пара для снабжения потребителей ТЭС, имеющие конденсационные турбины, называются КЭС. К их числу относятся ГРЭС (государственные районные электростанции).

Кроме паротурбинных существуют и газотурбинные ТЭС, называемые ГТЭС. Они сжигают газ или жидкое топливо. Применяются ГТЭС обычно для покрытия пиков электрической нагрузки. Тепловые станции с парогазотурбинной установкой называются парогазовыми электростанциями (ПГЭС). Они также как и ПЭС могут отпускать тепло потребителям, т.е. работать как ТЭЦ.

Недостатками ТЭС являются низкий (кроме ТЭЦ) КПД (30-35%) и негативное влияние на экологическую обстановку. Они ежегодно выбрасывают в атмосферу 200-250 млн. тонн золы и около 60 млн. тонн сернистого ангидрида, поглощая при этом огромное количество кислорода. ТЭЦ имеют КПД до 70%. В последнее время появились принципиально новые установки, например, магнетогидродинамические генераторы (на ТЭЦ-21 Мосэнерго и на Рязанской ГРЭС). На базе Канско-Ачинского бассейна создан мощный топливно-энергетический комплекс (КАТЭК) и др.

Климатическая информация в тепловой энергетике используется, прежде всего, при проектировании и строительстве энергетических объектов. Строительство электростанций опирается на такие нормативные климатические сведения, учёт которых обеспечивает надёжность и долговечность сооружения. При задании проектной мощности ТЭЦ обязательным условием выступает учёт расчётных температур воздуха: температура наиболее холодных суток и пятидневки обеспеченностью 0,98, а также самая жаркая декада.

Для повышения качества проектирования ТЭС, ТЭЦ и котельных, входящих в ТЭЦ целесообразно использовать продолжительность различных

температур наружного воздуха. Эта информация позволяет наглядно представить режим работы базисных и пиковых мощностей ТЭЦ, экономически обосновать выбор состава основного оборудования, определить годовой расход тепла и топлива. Для жаркого времени года эта информация полезна при проектировании кондиционеров.

В южных районах РФ могут проектироваться полуоткрытые котельные, которые значительно дешевле закрытых. Однако при этом необходимо учитывать повторяемость пыльных бурь и обильных осадков.

Для проектирования ТЭЦ и ГРЭС требуются данные:

- о средних месячных дневных (в 13 часов) летних температурах воздуха и относительной влажности для условий среднего года (50% - обеспеченность) и жаркого года (10% обеспеченность);

- о максимальных дневных (в 13 часов) летних температурах воздуха и соответствующих им значениях относительной влажности 50% и 10%-ной обеспеченности;

- о средних месячных ночных (в 24 и 6 часов) зимних температурах воздуха и относительной влажности;

- о средних месячных значениях испарения с водной поверхности.

Указанные данные являлись нормативными в соответствии с требованиями «Норм технического проектирования». Теперь эти данные лишь рекомендуется использовать при проектировании электростанций. Однако изменение климата привело к тому, что данные требования можно считать адаптационным мероприятием и, следовательно, придерживаться данных норм при проектировании энергетических сооружений необходимо.

При выборе площадки для ГРЭС, ТЭЦ и котельных необходимо составлять розы ветров, но не столько по данным наземных наблюдений, сколько по данным на высотах до 600 м через каждые 100 м. По этим данным можно построить розу, гораздо точнее отражающую ветровой режим на уровне трубы.

При проектировании КЭС учитываются характеристики температурно-влажностного комплекса за так называемый «неблагоприятный период», n_n . Он определяется как разность числа дней в году минус продолжительность отопительного периода (в днях), т.е. $n_n = 365 - n_{от.п.}$

За этот период сначала составляется таблица синхронных значений температуры $t^{\circ}\text{C}$ и влажности $R, \%$ за каждый срок наблюдений для всех дней расчетного периода за весь имеющийся период наблюдений. Форма таблицы имеет вид:

Годы	эле- мент	дни неотапливаемого периода																
		1-ый день неотапливаемого пе- риода							...	последний день неотапливаемого пе- риода								
		0	3	6	9	12	15	18	21	...	0	3	6	9	12	15	18	21
1966	t°C R																	
1967	t°C R																	
..... 2000	t°C R																	

Затем по данным этой таблицы составляется совместное распределение температуры влажности. Пример такого распределения представлен в таблице 5.4.

Таблица 5.4.

Распределение (%) температуры и относительной влажности воздуха.
Ст. Татарск, июнь, 13 ч. (1899-1917, 1924-1960 гг. - всего 1304 случая)

Темпера- тура воздуха, °C	Относительная влажность, %					Σ
	0-19	20-39	40-59	60-79	80-100	
0,0...4,9				0,1	0,2	0,3
5,0...9,9		0,1	0,6	1,2	1,4	3,3
10,0..14,9		1,5	5,4	4,4	3,3	14,6
15,0..19,9		7,4	12,2	6,7	2,1	28,4
20,0..24,9	0,3	10,1	12,1	5,0	0,2	27,7
25,0..29,9	0,4	12,0	6,9	0,8	0,1	20,2
30,0..34,9	0,5	3,9	0,5	0,1	0,1	5,1
35,0..39,9	0,2	0,2				0,4
Σ	1,4	35,2	37,7	18,3	7,4	100

Для каждой градации температуры рассчитывается среднее значение влажности (как среднее взвешенное).

$$\bar{R} = \frac{\sum_1^k R_i n_i}{n_k} \quad (5.1)$$

где R_i - средняя взвешенная для каждого интервала температуры относительная влажность;

n_i - число случаев в i -ом интервале;

n_k - общее число случаев в k -ом интервале температуры попадающих значений относительной влажности;

k - число интервалов по температуре.

На основе таблицы 5.4 строится таблица, в которой все повторяемости даются нарастающим итогом. Для каждого интервала определяются значения относительной влажности, соответствующие середине тех градаций влажности, обеспеченность которых составляет 99%, 95%, 90%.

По данным таблиц строятся три графика:

- интегральная кривая распределения температуры воздуха;
- уравнение связи между температурой и относительной влажностью воздуха;
- график связи высоких температур с высокими значениями влажности.

Все таблицы и графики кроме уравнения связи между температурой и относительной влажностью воздуха составляются для всего многолетнего периода, а также, в соответствии с “Нормами технологического проектирования”, для года обеспеченностью 50% и 10%. Для отбора этих лет ранжируется ряд средних значений температуры воздуха неотапительного периода и отбираются годы, для которых обеспеченность средней температуры неотапительного периода близка к 50% и 10% (т.е. год, характеризующийся режимом температуры, близким к среднему многолетнему и к наиболее жаркому году).

Важной характеристикой является непрерывная продолжительность с обеспеченностью 90%, 95% и 99% различных сочетаний температуры с относительной влажностью ($R > 50\%$, $t > 20^{\circ}\text{C}$; $R > 80\%$, $t > 20^{\circ}\text{C}$; $R > 80\%$, $t > 30^{\circ}\text{C}$). Для облегчения этих довольно сложных расчетов можно использовать метод, разработанный В.Э. Ницисом (“Способ расчета статистических характеристик непрерывной продолжительности температурно-влажностных комплексов”. Труды ГГО, вып. 425, 1979, с.47-50). Суть метода состоит в следующем.

По хронологическим синхронным рядам температуры и относительной влажности на температурно-влажностное поле последовательно наносятся по температуре и соответствующей ей влажности за каждый срок точки, которые соединяются прямыми линиями. Возможны два случая расположения двух соседних точек. В первом случае обе точки попадают в одну и ту же клетку (градацию). В этом случае время между наблюдениями t , например 3 часа при 8-срочных наблюдениях, относится к данной градации. Во втором случае точки попадают в две разные градации. Отрезок, соединяющий эти точки, пересекает границы интервала и делится на части

(как правило, неравные) между этими градациями. Пропорционально величине отрезков, попавших в разные градации, делится время t между двумя соседними сроками наблюдений (в данном случае 3 часа). Если пересекаются две градации, то образуются 3 отрезка, и соответственно на 3 отрезка делится время. Продолжительность пребывания в градации сочетаний температуры и влажности суммируется, и сумма является непрерывной продолжительностью пребывания сочетания $t^{\circ}\text{C} - R$ в данной градации. Число периодов пребывания данного сочетания (его непрерывной продолжительности в границах градации) равно числу пересечений границ градаций. Просуммировав непрерывную продолжительность для каждой градации и разделив ее на число пересечений, получают среднюю непрерывную продолжительность данной градации. Составив из всех случаев непрерывной продолжительности сочетаний $t^{\circ}\text{C} - R$ в пределах заданной градации ряд, а затем распределение, рассчитывают значения непрерывной продолжительности обеспеченностью 90%, 95% и 99% для каждой градации.

Этот материал позволит наглядно представить режим работы базисных и пиковых мощностей ТЭС, экономически обосновать выбор состава основного оборудования, определять готовый расход тепла и топлива.

Для проектирования ТЭС и котельных очень важным является районирование территории по повторяемости пыльных бурь и обильных осадков. В зависимости от этого строят либо закрытые, либо полуоткрытые котельные, причем последние гораздо дешевле.

Перечисленные таблицы и графики включаются в технологические расчеты проектирования градирен. Так как в нормативных документах такой информации нет, она постоянно запрашивается в Гидрометслужбе.

И климатическая, и текущая метеорологическая информация используется также в оперативной практике для обеспечения функционирования ТЭС. В частности, климатическая информация учитывается при составлении годового графика работ электростанции на каждый день, месяц, год.

5.3.2. Атомная энергетика

На территории России размещены мощные атомные электростанции (АЭС). В нашей стране АЭС расположены в Центральном и Центрально – Черноземном районах, на Севере, на Северо– Западе, на Урале, в Поволжье и на Северном Кавказе. Особенно много АЭС на ЕТР. В частности функционирует Ленинградская АЭС. Сейчас продлевается срок эксплуатации ее третьего энергоблока и строится вторая очередь ЛАЭС. Генератором энергии на АЭС является атомный реактор. С его помощью атомная (ядерная) энергия преоб-

разуется в электрическую. Тепло, которое выделяется в реакторе в результате цепной реакции деления ядер некоторых тяжелых элементов, затем также преобразуется в электроэнергию так же, как на ТЭС. АЭС работает на ядерном горючем ^{233}U , ^{235}U , ^{239}U . Установлено, что мировые энергетические ресурсы ядерного горючего (уран, плутоний и др.) существенно превышают энергоресурсы природных запасов органического топлива (нефть, уголь, природный газ и др.).

Экономичность АЭС определяется ее основными техническими показателями: единичная мощность реактора, КПД, энергонапряженность активной зоны, глубина выгорания ядерного горючего, коэффициент использования установленной мощности АЭС за год. С ростом мощности АЭС удельные капиталовложения в нее (стоимость установленного кВт) снижаются более резко, чем это имеет место для ТЭС. В этом главная причина стремления к сооружению крупных АЭС с большой единичной мощностью блоков. Для экономики АЭС характерно, что доля топливной составляющей в себестоимости вырабатываемой электроэнергии 30-40% (на ТЭС 60-70%).

К недостаткам АЭС можно отнести трудности, связанные с захоронением ядерных отходов, катастрофические последствия аварий и тепловое загрязнение используемых водоемов.

Новым в атомной энергетике является создание АТЭЦ и АСТ. На АТЭЦ, как и на обычной ТЭЦ, производится тепловая и электрическая энергия, а на АСТ – только тепловая.

Атомные станции относятся к опасным объектам и поэтому при их строительстве следование нормативным документам, в отличие от ряда других объектов строительства, является обязательным. Прежде всего, необходимым элементом обеспечения надежности и безопасности объектов использования ядерной энергии является учет экстремальных метеорологических воздействий в соответствии с принятой в нормах МАГАТЭ классификацией “экстремальных метеорологических переменных” и “экстремальных метеорологических явлений”.

Помимо основного нормативного документа “Руководство МАГАТЭ по безопасности N 50 – SG – 53» и ряда глав СНиП и СП (СНиП II-02-96, 2. 01. 07-85* , 23-01-99*, СП-11-102-97, СП –11-103-97, СП 33-101-2003) и ГОСТ 16350-85 «Климат России. Районирование и статистические параметры климатических факторов для технических целей» М., 1986 г. используются специальные для ядерной энергетики нормативные документы и рекомендации. Это:

ПИНАЭ 5. 6 Нормы строительного проектирования АС с реакторами различного типа. М. 1986 г.;

НП-064-05. Учет внешних воздействий природного и техногенного происхождения на объекте использования атомной энергии, 2005 г.;

РБ-022-01. Рекомендации по оценке характеристик смерча для объектов использования атомной энергии. Госатомнадзор России, М., 2001 г.;

Методические рекомендации по определению расчетных максимальных скоростей ветра для проектирования атомных электростанций.

При проведении инженерных и гидрометеорологических изысканий в районе и на площадке размещения ядерно-радиационно опасных объектов (ЯРОО) которые включают АЭС или предприятия, включающие комплексы зданий и сооружений, на которых используются ядерно и/или радиационно-опасные технологии нормируются (по НП 064-05) следующие метеорологические процессы и явления:

I степень - особо опасный процесс (явление, фактор), сопровождающийся природными или техногенными катастрофами.

II степень – опасный процесс (явление, фактор), сопровождающийся ощутимыми последствиями для окружающей природной среды и объектов.

III степень не представляющий опасности процесс (явление, фактор) не сопровождающийся ощутимыми последствиями для окружающей природной среды и объектов.

Отнесение процессов, явлений и факторов к I, II и III степени опасности проводится на основании результатов инженерных и гидрометеорологических изысканий и исследований.

В зависимости от степени опасности процессов явлений и факторов внешних воздействий, реализующихся на рассматриваемых площадках АЭС и других ЯРОО установлены три класса оценки площадки – А, Б, В.

Класс А – площадки, на которых отсутствуют внешние воздействия I и II степеней опасности.

Класс Б – площадки, на которых отсутствуют внешние воздействия I степени опасности.

Класс В - площадки, на которых имеются внешние воздействия I, II и III степени опасности.

В проектах должны приниматься количественные значения процессов, явлений и факторов, назначаемых норм. При отсутствии норм следует принимать максимально возможные значения параметров процессов, явлений и факторов для заданного интервала времени, который для явлений и процессов природного происхождения следует принимать равным 10 000 лет. Классификация степеней опасности метеорологических явлений и процессов представлена в таблице 5.5.

Таблица 5.5

Классификация опасных явлений и их воздействий на объекты атомной
энергетики

№ п/п. Процессы и явления	Возможные воздействия на площадку ЯРОО	Предельные значения параметров по степени опасности	Степень опасности
1. Смерч	Ветровой напор, нагрузки от перепада давления, нагрузки от летящих предметов, увлеченных смерчем, вынос воды из водоемов-охладителей	Скорость ветра > 50 м/с, перепад давления >5 кПа, класс по шкале интенсивности Фуджита F2 и >F2, длина пути >16 км, ширина пути > 50 км	I кл.
		Скорость ветра < 50 м/с, перепад давления < 5 кПа, класс по шкале Фуджита F1, длина пути < 16 км, ширина < 50 км.	II кл.
		Скорость ветра < 35 м/с, перепад давления < 1 кПа, класс по шкале Фуджита F0 и < F0, длина пути <1,6 км, ширина пути < 16 км.	III кл.
2. Ветер (ураган)	Ветровой напор, летящие предметы.	Скорость ветра > 36 м/с	I кл.
		Скорость ветра < 35 м/с, но > 7м/с	II кл.
		Скорость ветра < 7 м/с.	III кл.
3. Тропические циклоны	Ветровой напор на здания и сооружения, ливневые осадки.	Высота слоя осадков > 30 мм/час, скорость ветра > 35 м/с	I кл.
4. Экстремальные снегопады и снегозаносы.	Снеговые нагрузки на кровлю зданий и сооружений.	Высота слоя осадков > 20 мм/час.	II кл.
		Высота слоя осадков < 20 мм/час	III кл.
5. Осадки	Затопление площадки	Высота слоя осадков > 30 мм за 12 часов.	II кл.
6. Температура воздуха.	Температурные воздействия на здания, сооружения, сети	Не регламентируется.	II кл.

7. Гололед	Утяжеление конструкций сооружений вследствие покрытия их льдом, изморозью.	Толщина стенки гололеда > 25 мм.	I кл.
		Толщина стенки гололеда > 3 мм.	II кл.
		Толщина стенки гололеда < 3 мм.	III кл.
8. Молния	Попадание мощного электрического разряда		II кл.

5.3.3. Гидроэлектростанции на крупных реках

ГЭС являются весьма эффективными источниками энергии. Они используют самую доступную для человечества возобновляемую энергию – механическую энергию падающей воды. Необходимый для этого напор воды создается плотинами. Гидравлические установки позволяют сокращать перевозки и экономить минеральное топливо (на 1 кВт-час расходуется примерно 0,4 т угля). ГЭС обладают очень высоким КПД (более 80%) и широким диапазоном регулирующей мощности, покрывают пиковые нагрузки в энергосистемах и обеспечивают равномерный режим работающих параллельно с ними тепловых и атомных станций.

Гидравлические установки представлены гидроэлектростанциями (ГЭС), гидроаккумулирующими электростанциями (ГАЭС) и приливными электростанциями (ПЭС). В горных районах обычно возводятся высоконапорные ГЭС, на равнинных реках действуют установки с меньшим напором, но большим расходом воды. Гидростроительство в условиях равнин сложнее из-за преобладания мягких оснований под плотинами и необходимости иметь крупные водохранилища для регуляции стока.

Гидроэнергетический потенциал России составляет около 2900 млрд. кВтч годовой выработки электроэнергии, 83% из него – потенциал крупных и средних рек. Технически достижимый уровень его использования оценивается в 70%, экономический потенциал составляет около 35%. Основная часть гидроэнергетического потенциала сосредоточена в Сибири и на Дальнем Востоке. На ЕТР неиспользуемый потенциал сосредоточен на Севере и в некоторых районах Северного Кавказа. В Центре и на Урале осталась неиспользованной только энергия малых рек.

В числе достоинств ГЭС помимо чистоты получаемой энергии можно отметить и другие преимущества, в том числе, возможность решения экологических проблем в нижних бьефах гидроузлов с помощью разбавительных

попусков, улучшающих качество воды в межливневый период, защита от катастрофических наводнений, увеличение рекреационного потенциала района водохранилища, особенно в южных районах страны.

К отрицательным последствиям создания ГЭС относятся потери ценных сельскохозяйственных земель, изменение микро- и мезоклимата в районе ГЭС, термического и ледового режима реки, а также ухудшение условий существования рыбного стада. Одно из самых негативных явлений это образование в зимний период полыньи в нижних бьефах ГЭС. Полынья является источником шуги, осложняющей работу водозаборов, формирует зажоры, ухудшает метеорологические условия, вызывая туманы и гололедо-изморозевые отложения. Эти и многие другие последствия сооружения ГЭС доказывают необходимость детального изучения и прогноза влияния ГЭС на окружающую территорию.

При производстве гидроэлектроэнергии влияние климата всегда ощущалось очень остро. В соответствии с требованиями “Норм технологического проектирования” при проектировании ГЭС и водохранилищ, связанных с ними, используются климатические данные:

- о средних месячных дневных (в 13 час.) летних температурах воздуха и относительной влажности для условий среднего года (50% обеспеченности) и жаркого года (10% обеспеченности);

- о максимальных дневных (в 13 час.) летних температурах воздуха и соответствующих им значениях относительной влажности 50% и 10% обеспеченности;

- о средних месячных ночных (в 24 и 6 час.) зимних температурах воздуха и относительной влажности.

- о средних месячных значениях испарения с водной поверхности.

Но особенно важна для проектирования, как отдельных ГЭС, так и каскадов, информация об осадках, от которых зависит сток и, следовательно, объем притока в водохранилище, уровни в верхнем и нижнем бьефе. Так, 1% изменения в месячных суммах осадков в среднем вызывает 1% изменения в выработке электроэнергии на ГЭС. Нормы притока в период половодья в значительной степени зависят и от интенсивности снеготаяния.

Если объем притока воды окажется выше нормы, то могут потребоваться холостые сбросы воды; если же он будет ниже нормы, то к концу паводка водохранилище может оказаться незаполненным до нормального подпарного горизонта. Недовыработку ГЭС приходится в этих случаях компенсировать энергией ТЭС. Проекты ГЭС включают данные о среднем месячном количестве осадков и о максимальном суточном количестве осадков. Методика расчета суточных максимумом жидких осадков изложена в “Рекомендациях по

расчету специализированных климатических характеристик” (1997). Данные о повторяемости особо опасных по интенсивности и продолжительности осадков, которые могут разрушить гидротехнические сооружения, содержатся в “Справочнике об особо опасных природных явлениях в республиках, краях и областях Российской Федерации”, а методика их расчета описана в “Рекомендациях по расчету специализированных климатических характеристик”.

В результате снеготаяния в водоемы поступает значительное количество воды и его следует оценить. Основой для расчета характеристик снеготаяния служит запас воды в снежном покрове (средний, максимальный и при максимальной высоте снежного покрова). Районирование территории России и стран СНГ по максимальным запасам воды в снежном покрове в декаду наибольшей его высоты можно найти в книге М. В. Завариной “Строительная климатология”.

Для определения количества воды, поступающей в водоемы в результате таяния снега надо вначале определить средний многолетний период снеготаяния, а затем, зная запасы воды в снеге перед началом таяния, оценить примерный объем поступающей воды. Скорость снеготаяния и, следовательно, период снеготаяния зависит от количества солнечной радиации, приходящей к поверхности снега, а также от температуры воздуха, скорости ветра и влажности воздуха. Расчеты среднего многолетнего периода снеготаяния производят, предварительно рассчитав этот период за каждый год. Расчеты ведут для каждого дня в период снеготаяния для дневных и ночных частей суток отдельно. Для каждой части суток используются четыре срока.

Приток тепла к снежному покрову за день определяется по формуле:

$$\Delta q'_{д} = (LE+P+I_3)/2+q_{si} \quad (5.2)$$

За ночь по формуле:

$$\Delta q'_{н} = (LE+P+I_3)/2 \quad (5.3)$$

где: LE – теплообмен вследствие испарения или конденсации

P – турбулентный теплообмен с атмосферой

I_3 – эффективное излучение

q_{si} - тепло солнечной радиации, вошедшее в снежный покров через единицу его поверхности

Величина $LE+P+I_3$ определяется по формуле:

$$LE+P+I_3 = 4.3t(3.5+V) + 6.4(1.4+V)(e-6.1) + 17N - 16 \quad (5.4)$$

где: V – средняя скорость ветра за ночные (дневные) сроки, (м/с)

T – средняя температура воздуха за ночные (дневные) сроки ($^{\circ}\text{C}$)

e – средняя упругость водяного пара за ночные (дневные) сроки (мб)

N – характеристика облачности в баллах, вычисляемая по формуле:

$$N = (N_o + N_n)/2 \quad (5.5)$$

где: N_o – среднее количество общей облачности за ночные (дневные) сроки

N_n – среднее количество нижней облачности за ночные (дневные) сроки

Все эти метеозаписи выбираются из таблиц ТМ-1 и осредняются за ночные и дневные сроки.

q_{si} , солнечная радиация, поглощаемая снегом, вычисляется по формуле:

$$q_{si} = I_o K_n (1-\alpha) \quad (5.6)$$

где: I_o – максимальная плотность потока суммарной радиации, падающей на горизонтальную поверхность в данный день на данной широте,

K_n – коэффициент ослабления радиации облаками находится в зависимости от характеристики облачности (табл. 5.6).

Таблица 5.6

Коэффициент ослабления солнечной радиации (K_n)
в зависимости от характеристики облачности (N)

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
K_n	0.90	0.95	0.94	0.88	0.79	0.68	0.59	0.50	0.42	0.35	0.28

α – альbedo тающего снега ($\alpha = 0.5$).

Суточное количество тепла определяется как сумма:

$$q'i = \Delta q'd + \Delta q'n \quad (5.7)$$

Если при расчете за какие-нибудь сутки одна из величин $q'i$, $\Delta q'd$, $\Delta q'n$ окажется отрицательной, то она отбрасывается и в расчет не принимается.

Находим сумму тепла, S_c , полученную снегом, начиная с того дня, когда наметилось устойчивое повышение температуры воздуха, т.е. произво-

дится суммирование суточных (положительных) сумм тепла со дня устойчивого повышения температуры воздуха до дня, когда растает весь снег. Весь снег растает, когда накопленная сумма тепла (S_c) окажется равной величине $20h_{сн}$, где $h_{сн}$ - толщина снега (см) перед началом таяния (последнее измеренное значение толщины снега).

Тот день, когда $S_c = 20h_{сн}$ (кал/ см²) и будет днем, когда растает весь снег.

Объем стока можно при грубой прикидке считать равным 0.7 от запаса воды в снеге при периоде таяния меньше 5 дней и равным 0.5 при более длинном периоде таяния.

Для расчета часовой и суточной интенсивности снеготаяния следует пользоваться методикой расчета интенсивности снеготаяния, разработанной в ГГО [Швер и др., 1989]

Обычно в период весеннего снеготаяния рассчитывается:

- максимальная часовая интенсивность снеготаяния за каждый год;
- средняя максимальная часовая интенсивность снеготаяния;
- наибольшая (наименьшая) максимальная часовая интенсивность снеготаяния;
- почасовая интенсивность снеготаяния в отдельные годы для оценки суточного хода.

Для вычисления максимальной часовой интенсивности из всего ряда выбираются случаи (дни и сроки) когда эта величина может быть экстремальной. Максимум интенсивности снеготаяния наиболее вероятен в дни (сроки) с высокими значениями температуры и влажности воздуха, с наименьшими значениями общей и нижней облачности, с наибольшими скоростями ветра. Для расчета используются исходные таблицы наблюдений (ТМ-1 и ТМС), из которых выписываются все случаи, которые могут дать наибольшие значения $m_{ч}$.

Расчет максимальной часовой интенсивности осуществляется для периода весеннего снеготаяния за каждый год. Выбираются дни до даты разрушения снежного покрова, т.е. дни с покрытием окрестностей снежным покровом 6-10 баллов. Однако и после разрушения снежного покрова принимаются во внимание случаи повторного выпадения снега с образованием снежного покрова свыше 6 баллов.

Часовая интенсивность снеготаяния (мм/час) рассчитывается по формуле:

$$m_{ч} = m_{(I+i)} + (m_{R,0} + \Delta)_{ч} + a_{ч} \gamma U_{\phi} \quad (5.8)$$

где $m_{(I+i)}$ – составляющая за счет лучистого теплообмена;

$(m_{R,0}+\Delta)_ч$ – составляющая за счет теплоотдачи снежного покрова через эффективное излучение;

$a_ч\gamma U_\phi$ – составляющая за счет турбулентного теплообмена с атмосферой и скрытой теплоты конденсации и испарения.

В качестве входных параметров используются:

- широта пункта (ϕ)
- альbedo естественной снежной поверхности (r)
- нижняя (N_n) и общая (N_o) облачность в баллах
- температура воздуха на высоте будки (t_2 °C)
- абсолютная влажность воздуха на высоте будки (e_2)
- скорость ветра на высоте флюгера (10 м) (U_ϕ)

Эти данные вписываются в специальные таблицы (табл.5.7, 5.8, 5.9) и в итоге суммируются все составляющие для вычисления $m_ч$ (табл. 5.10.)

1. Расчет радиационной составляющей

Расчет радиационной составляющей $m_{(I+i)}$ производится по формуле:

$$m_{(I+i)} = 7,5 (I+i)_0 (1-r)(1-0,20 N_o-0,47 N_n) \quad (5.9)$$

где $(I+i)_0$ - возможная суммарная солнечная радиация при безоблачном небе в срок наблюдений;

r - альbedo естественной поверхности (снег)

N_o и N_n - общая и нижняя облачность в срок наблюдений

Значения $(I+i)_0$ определяются с графика суточного хода возможной суммарной радиации при безоблачном небе и вносятся в таблицу 5.7. В качестве примера на рис.5.3 представлен график для широты 55° . Графики строятся с интервалом в десять дней, а значения радиации для каждого дня находят линейной интерполяцией между двумя известными графиками. Для ограниченного числа пунктов такие данные имеются в Научно-прикладном справочнике по климату СССР, серия 3, часть 1. табл.1.2.

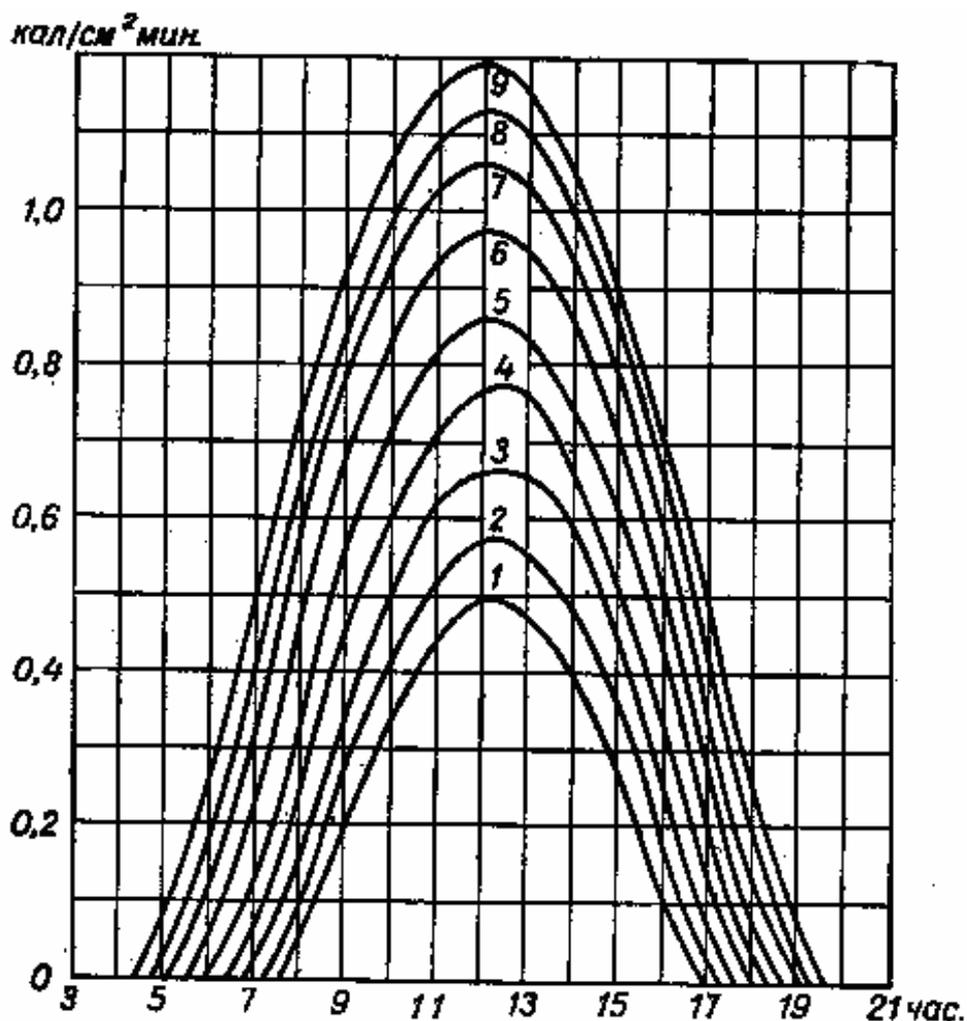


Рис.5.3. Суточный ход возможной суммарной радиации при безоблачном небе, $\varphi=55^{\circ}$.
 1-10.02, 2-20.02, 3-02.03, 4-12.03, 5-22.03, 6-01.04, 7-11.04, 8-21.04, 9-01.05

По станциям, расположенным на любой широте и для любого дня можно построить графики, определив высоту солнца (h_c) за каждый час. Для удобства расчетов в табл.5.11 приведены высоты солнца за каждый час дня по широтам 55° , 60° , 65° и 70° с. ш. Значения h_c для промежуточных широт также определяются линейной интерполяцией. Поэтому для построения графика целесообразно выбрать дни, для которых в табл.5.11 помещены высоты солнца. Затем по кривой зависимости $(I+i)_0$ от h_c (рис.5.4.) определяется по известной высоте солнца величина $(I+i)_0$. По этим значениям за каждый час местного времени можно составить график суточного хода возможной суммарной радиации.

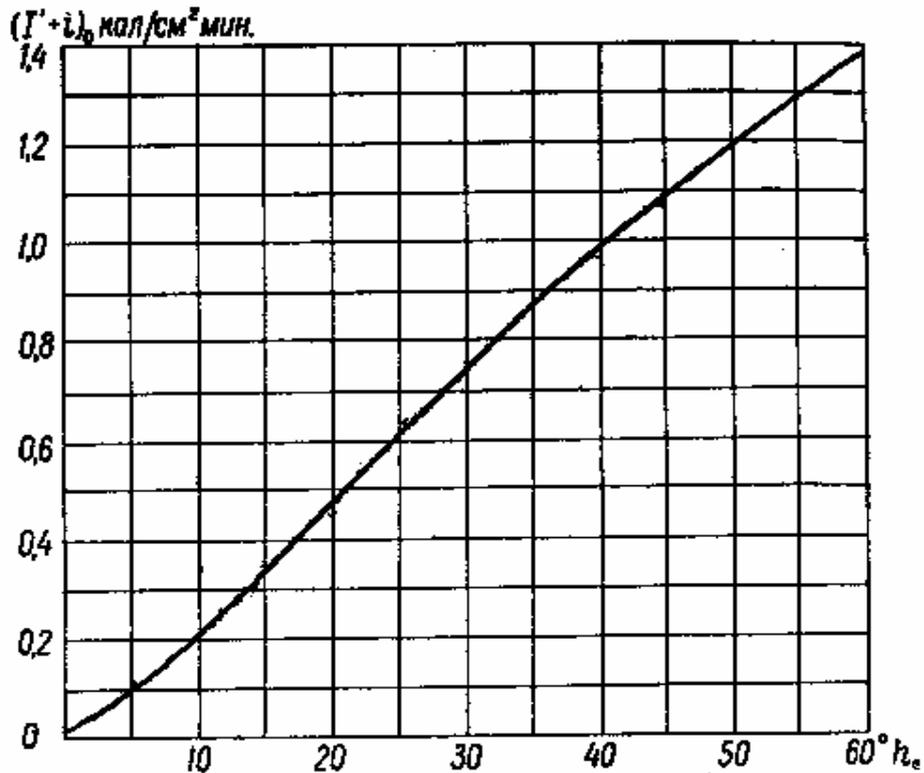


Рис. 5.4. Возможная суммарная солнечная радиация в зависимости от высоты солнца для условий безоблачного неба, наличия снежного покрова и средней в период снеготаяния прозрачности атмосферы ($P_1 = 0,8$)

В 1966 г. для проведения метеорологических наблюдений введено единое московское время, и наблюдения проводятся восемь раз в сутки. Поэтому следует определить разницу между местным и московским временем. Эта разница (Δ_1) вычисляется по формуле $\Delta_1 = \lambda - 180$ мин, где λ - долгота данной станции в минутах. Например, для станции Ухта:

$$\lambda = 53^{\circ}43' \text{ в.д.} \approx 215 \text{ мин, } \Delta_1 = 215 - 180 = 35 \text{ мин.}$$

Значит, по московскому времени значения для 9 ч снимаются с графика в 9 ч 35 мин по местному времени.

В дни с оттепелью значения альбедо α принимаются по следующей схеме: в первый день – 0,75; во второй – 0,60 и в последующие – 0,50.

В случае выпадения осадков в последующие дни в виде снега, в количестве равном или более 1 мм, а мокрого снега - 2 мм, альбедо вновь принимается равным 0,75 и 0,8 в первые два дня таяния и 0,5 во все последующие. Сумма осадков и их вид определяется по ТМ-1 и ТМС. Из ТМ-1 и ТМС выписываются количество общей и нижней облачности в долях единицы и определяется коэффициент $(1 - 0,20 N_o - 0,47 N_n)$

2. Расчет составляющей, обусловленной теплоотдачей снежного покрова и эффективным излучением $(m_{R,0} + \Delta)_ч$.

На первом этапе расчет осуществляется для суточного временного интервала (мм/сут), а затем для часового:

$$(m_{R,0}+\Delta)_ч=(m_{R,0}+\Delta)_{сут}/24 \text{ мм/час} \quad (5.10)$$

Эта составляющая, за редким исключением, имеет отрицательный знак. Случаи, когда $(m_{R,0}+\Delta)$ принимает небольшие положительные значения, из расчетов не исключаются. Такие величины обычно связаны со сплошной облачностью или глубокой инверсией.

Из ТМ-1 и ТМС выписываются исходные параметры в срок наблюдений: e_2 - абсолютная влажность воздуха на высоте 2 м; t_2 - температура на высоте 2 м, $N_0 + N_H$ - сумма общей и нижней облачности в долях единицы; t_n - температура поверхности тающего снега. Поскольку температура такого снега теоретически не может быть выше 0°C , то в случаях, когда в таблице температура имеет положительные значения, она приравнивается к 0°C . Для тающего снега производится расчет $m_{R,0}$ мм/сут. Температура поверхности тающего снега принимается равной 0°C . Затем по этим данным определяет $m_{R,0}+\Delta$. (рис.5.5.). Расчет ведется по следующим этапам:

- по данным e_2 и $N_0 + N_H$ на соответствующих шкалах 1 и 2 определяют промежуточную точку (1) на шкале 3;

- соединяют данную точку прямой со шкалой 4, где откладывается величина температуры воздуха (t_2). На пересечении со шкалой 5 находится искомая величина $m_{R,0}+\Delta = m_R$

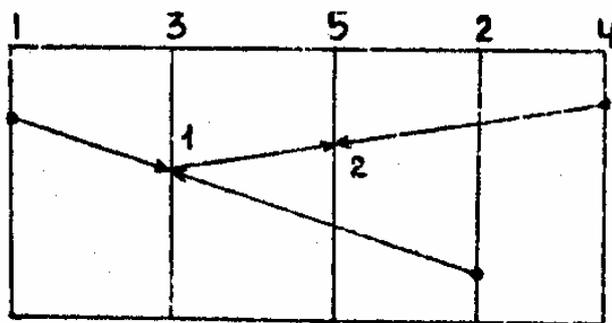


Рис. 5.5. Номограмма для вычисления $m_{R,0}+\Delta = m_R$

1 - e_2 , 2 - $N_0 + N_H$, 3 - промежуточная точка (1), 4 - $m_{R,0}+\Delta = m_R$

3. Расчет составляющей, обусловленной турбулентным теплообменом с атмосферой, скрытой теплотой конденсации и испарения $a_ч\gamma U_\phi$

Первоначально вычисляют суточные значения

$$a_ч\gamma U_\phi = a_{сут}\gamma U_\phi/24 \quad (5.11)$$

где U_ϕ - значения скорости ветра на высоте флюгера в срок наблюдения,

γ - определяется по формуле: $\gamma = (t_2 - t_n) + 1,75 (e_2 - e_n)$,

e_n - максимальная упругость при температуре снега.

В диапазоне t_n °С от 0°С до -16°С e_n имеет значения:

t_n °С	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-10	-11	-12	-13	-14	-15	-16
e_n	6,1	5,7	5,3	4,9	4,5	4,2	3,9	3,6	3,3	3,1	2,9	2,6	2,4	2,3	2,1	1,9	1,8

Далее по значению γ и U_ϕ на номограмме (рис. 5.6.) определяется значение $a_{сут}\gamma U_\phi$. Для определения часовой интенсивности результат делится на 24.

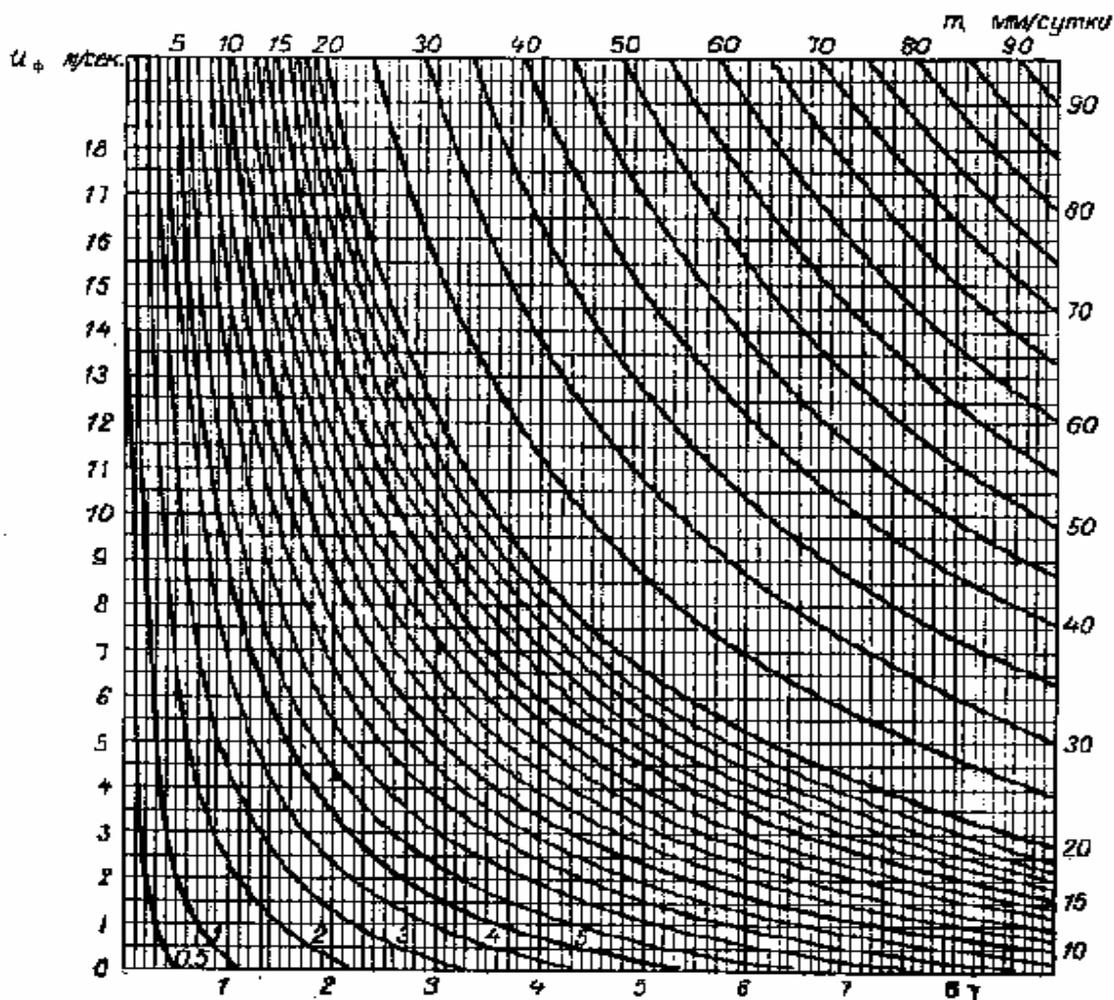


Рис. 5.6. Номограмма для определения $a_{сут}\gamma U_\phi$ (мм/сут)

Таким образом, в итоге суммируются три составляющие, и определяется часовая интенсивность снеготаяния.

Расчет суточного хода снеготаяния.

Расчеты рекомендуется проводить не за каждый год, а выборочно по датам разрушения устойчивого снежного покрова для трех лет - самой ранней, самой поздней и для года, близкого к норме. За начало разрушения устойчивого снежного покрова принимается день, когда впервые после начала снеготаяния степень покрытия окрестности и участка становится равной или

менее 5 баллов. Разрушение начинается при положительных дневных температурах. Расчет производится по схеме, рекомендованной для суточных величин, но не выборочно, как в случае определения максимальной интенсивности, а по всем срокам. На график суточного хода снеготаяния желательно поместить суточный ход температуры воздуха и поверхности почвы. Поскольку альбедо рекомендуется только в дни с оттепелью, то в каждом конкретном случае его величина уточняется в зависимости от характера подстилающей поверхности.

Таблица 5.7.

Расчет радиационной составляющей. Ухта $\varphi = 63^{\circ}34'$ с.ш.

Дата	Час	(I+i) ₀	r	N ₀	N _H	(1-0,20 N ₀ - 0,47 N _H)	m(I+i)
5. V. 1973	21	0	0,75	0,9	0,0	0,82	0
	0	0	0,75	1,0	0,0	0,80	0
	3	0,230	0,75	0,8	0,0	0,84	0,36
	6	0,705	0,75	1,0	0,0	0,80	1,06
	9	0,985	0,75	0,4	0,0	0,92	1,70
	12	0,895	0,75	1,0	0,0	0,80	1,34
	15	0,430	0,75	0,7	0,0	0,86	0,69
	18	0,025	0,75	0,9	0,0	0,82	0,04

Таблица 5.8.

Расчет составляющей, обусловленной теплоотдачей снежного покрова и эффективным излучением

Дата	Час	e ₂	N ₀ + N _H	t ₂	mR ₀	t _п	Δ	(mR ₀ +Δ)сут	(mR ₀ +Δ)ч
5. V. 1973	21	3,7	0,9	-3,3	-20,3	-5	5,9	-14,4	-0,60
	0	3,4	1,0	-3,5	-20,3	-5	5,9	-14,4	-0,60
	3	3,4	0,8	-2,6	-20,7	-4	4,9	-15,8	-0,66
	6	3,9	1,0	0,0	-16,3	-3	3,6	-12,7	-0,53
	9	4,6	0,4	6,1	-14,0	0	0,0	-14,0	-0,58
	12	4,5	1,0	7,3	-7,9	0	0,0	-7,9	-0,33
	15	5,0	0,7	6,1	-11,2	0	0,0	-11,2	-0,47
	18	4,9	0,9	5,0	-10,8	-2	2,3	-8,5	-0,35

Таблица 5.9.

Расчет составляющей, обусловленной турбулентным теплообменом с атмосферой, скрытой теплотой конденсации и испарения

Дата	Час	e_{Π}	$t_2 - t_{\Pi}$	$e_2 - e_{\Pi}$	γ	U_{Φ}	$a_{\text{свт}}\gamma U_{\Phi}$	$a_{\text{ч}}\gamma U_{\Phi}$
5. V. 1973	21	4,2	1,7	-0,5	0,8	7	3,4	0,14
	0	4,2	1,5	-0,8	0,1	7	0,5	0,02
	3	4,5	1,4	-1,1	-0,5	8	-2,2	-0,9
	6	4,9	3,0	-1,0	1,2	9	6,2	0,26
	9	6,1	6,1	-1,5	3,6	10	20,0	0,83
	12	6,1	7,3	-1,6	4,5	14	34,5	1,44
	15	6,1	6,1	-1,1	4,4	14	34,0	1,42
	18	5,3	7,0	-0,4	6,3	10	36,0	1,50

Таблица 5.10

Итоговое значение часовой интенсивности снеготаяния

Дата	часы							
	21	0	3	6	9	12	15	18
5. V. 1973	-0,46	-0,58	-0,39	0,79	1,95	2,45	1,64	1,19

Таблица 5.11

Высота Солнца.
Широта 55° с.ш.

Дата	часы																			
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	
март	2					8	16	21	26	27	27	24	19	12	4					
	12					12	20	25	29	31	31	27	22	15	7					
	22					16	24	29	33	35	34	30	25	17	10					
апрель	1				11	20	28	34	38	40	39	34	29	21	13					
	11				15	24	32	38	42	44	42	38	32	24	15	7				
	21			10	18	27	34	41	45	47	45	41	34	27	18	10				
май	1			13	21	30	38	44	48	50	48	43	37	29	20	12				
	11			15	23	32	40	46	51	53	50	45	39	31	22	13				
	21		8	17	25	34	42	48	54	55	53	48	41	33	24	15	8			
	31		10	19	27	35	43	50	56	57	55	50	42	35	26	17	10			
ию	10		11	19	27	36	44	51	56	57	56	51	43	36	27	18	11			
	20		11	19	28	36	44	51	56	58	56	52	44	36	28	19	11			

Широта 60⁰с.ш.

Дата		часы																		
		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
март	2						6	13	18	21	22	22	19	15	10	3				
	12						10	16	21	24	26	26	23	18	13	6				
	22						14	20	25	28	30	29	26	21	15	8				
апрель	1					11	19	25	30	33	35	34	31	26	19	12				
	11				8	15	22	29	34	37	38	38	34	29	22	15	8			
	21				10	18	25	32	37	40	42	41	37	32	25	18	10			
май	1				13	21	28	35	40	43	45	44	40	34	28	20	13			
	11			8	15	23	30	37	42	46	48	46	42	36	30	22	15			
	21			10	17	25	32	39	44	48	50	48	44	38	32	24	17	10		
	31			12	19	27	34	41	46	50	52	50	46	40	34	26	19	12		
ию	10			13	20	27	35	42	47	51	53	51	47	41	35	27	20	12		
	20			13	20	28	35	42	48	52	53	52	48	42	36	28	21	13		

Широта 65⁰с.ш.

Дата		часы																			
		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	
март	2						4	9	13	15	17	17	15	11	6						
	12						8	13	17	20	21	21	19	15	10						
	22						13	17	21	24	25	24	22	18	13						
апрель	1					10	17	22	26	29	30	29	27	23	17	11					
	11				8	13	20	25	30	33	34	33	30	26	20	14	8				
	21				11	17	23	29	33	36	37	36	33	29	23	17	11				
май	1			8	14	20	26	31	35	39	40	39	35	32	26	20	13				
	11			10	16	22	29	31	38	42	43	41	38	34	28	22	15	9			
	21			12	18	24	32	36	41	44	45	43	40	36	31	24	18	11			
	31		8	14	20	26	34	38	43	46	47	45	42	38	34	26	20	13	8		
ию	10		9	15	21	27	34	39	44	47	48	46	43	39	34	27	21	14	9		
	20		10	15	21	27	35	39	45	47	48	46	44	39	34	28	21	15	9		

Широта 70⁰с.ш.

Дата		часы																		
		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
март	2								10	12	12	12	11	8						
	12							10	14	15	16	16	14	11	7					
	22						9	14	17	19	20	20	18	15	10					
ап-	1					9	14	18	22	24	25	24	22	19	15	10				
	11				8	13	18	22	26	28	29	28	26	22	18	13	8			

Продолжение таблицы 5.11

	21				11	16	21	26	29	30	32	31	29	26	21	16	11			
май	1			9	13	18	23	29	31	33	35	34	31	29	23	19	14	9		
	11		8	11	15	20	25	31	34	36	37	36	33	30	26	21	16	11	7	
	21		9	14	17	22	27	32	37	38	40	39	36	33	28	23	18	13	9	
	31	8	11	16	19	24	29	33	39	40	41	41	38	35	30	25	20	15	11	
ию	10	9	11	16	20	25	31	34	39	41	42	42	39	36	31	26	21	16	12	8
	20	9	12	17	21	26	32	36	40	42	43	43	40	37	32	28	22	17	13	9

Другим важным фактором, определяющим количество воды в водохранилище, а значит и выработку электроэнергии, является испарение. В общем, можно предположить, что чем выше температуры воздуха и воды, тем испарение интенсивнее. Однако это не всегда так. Исследования показали, что испарение в большей степени зависит от количества солнечной радиации, а не от температуры воздуха. Поэтому при облачной погоде испарение с поверхности водохранилища невелико даже в жаркую погоду.

5.4. Передача энергии по ЛЭП

Линия электропередачи (ЛЭП) – это сооружение, состоящее из проводов и вспомогательных устройств, предназначенное для передачи или распределения электрической энергии. ЛЭП, являясь основным звеном энергосистемы, вместе с электрическими подстанциями образует электрические сети. Существуют воздушные ЛЭП, провода которых подвешены над землёй или над водой, и подземные (подводные) ЛЭП, в которых используются главным образом силовые кабели.

По воздушным ЛЭП электрическая энергия передаётся на значительные расстояния по проводам, прикрепленным к опорам (столбам) с помощью изоляторов. Воздушные ЛЭП являются одним из основных звеньев современных энергосистем. Напряжение в линии зависит от её протяжённости и передаваемой по ней мощности. Важнейшие характеристики воздушных ЛЭП: длина пролёта линии (расстояние между соседними опорами); наибольшая стрела провеса провода в пролёте; наименьшее (габаритное) допустимое расстояние от низшей точки провода до земли; длина гирлянды изоляторов; расстояние между соседними проводами (фазами) линии; полная высота опоры. Конструктивные параметры воздушной ЛЭП зависят от номинального напряжения линии, от рельефа и климатических условий.

Провода воздушных ЛЭП должны обладать хорошей проводимостью, механической прочностью, стойкостью против атмосферных и химических

воздействий. Неизолированные провода используют главным образом на воздушных линиях электропередачи (ЛЭП) и в контактных сетях электрического транспорта; их закрепляют на опорах при помощи изоляторов и арматуры. Такие провода из-за ветра, обледенения, вибрации и т.п. испытывают большие механические нагрузки, поэтому их изготавливают из материалов, обладающих высокой механической прочностью и коррозионной стойкостью, — стали, алюминия, в некоторых случаях из меди и сплавов (бронза, алдрей и др.). На ЛЭП обычно применяют многопроволочные провода — стальные, алюминиевые и стале-алюминиевые (одно- или многопроволочный стальной сердечник, обвитый алюминиевой проволокой). Последние широко используют на ЛЭП напряжением 110 кВ и выше; их сечение достигает 600—700 мм². Для особых условий эксплуатации выпускают неизолированные провода специальных конструкций (полые, усиленные, облегчённые, с антикоррозийным заполнением межпроволочного пространства и др.). В контактной сети применяют медные или бронзовые провода круглого или фасонного сечения.

Для защиты воздушных ЛЭП от атмосферных перенапряжений, возникающих при грозовых разрядах в линию или вблизи неё, применяют грозозащитные тросы или разрядники, которые устанавливают на ЛЭП с напряжением до 35 кВ. Грозозащитный трос, тросовый молниеотвод, заземлённый провод в воздушных линиях электропередач, служат для защиты токопроводящих проводов от прямых ударов молнии. Грозозащитный трос подвешивается над токоведущими проводами и заземляется у каждой опоры. Защищённость токопровода зависит от угла защиты α ; при $\alpha < 20^\circ$ поражение молнией становится маловероятным. В линиях на металлических опорах с напряжением 110 кВ и выше грозозащитный провод подвешивают обычно по всей длине линии; на линиях более низкого напряжения — только на подходах к подстанциям.

Воздушные линии электропередачи и открытые электрические подстанции проектируют с учётом ветровых нагрузок и воздействия гололёда, т. е. обледенения проводов с образованием корки льда толщиной 10—20 мм. Возможно и более интенсивное обледенение при сильном ветре; в таких случаях лёд на проводах плавят электрическим током. При слабом ветре, дующем с постоянной скоростью 0,5—5 м/сек в направлении, перпендикулярном линии, могут возникнуть периодические колебания проводов в вертикальной плоскости, т. н. вибрация проводов. Частота таких колебаний от единиц до десятков Гц, амплитуда не превышает нескольких см. Вибрация вызывается совпадением частоты аэродинамических импульсов, действующих на провод, с собственной частотой его свободных колебаний. Следствием вибрации являются трещины и изломы жил провода, прежде

всего у выхода их из зажима. Вибрация с большой амплитудой приводит к поломке деталей арматуры и повреждению изоляторов, в отдельных случаях — к повреждению сварных швов металлических опор. Защита от подобных вибраций осуществляется путём подвески на провод динамических гасителей вибрации в виде чугунных грузов, закрепляемых на тросе на расстоянии 0,5—2 м от зажима провода и противодействующих колебаниям провода. С помощью таких гасителей амплитуда вибрации уменьшается до безопасной величины около 1 мм. При скорости ветра от 6 до 20—30 м/сек и гололёде иногда наблюдаются колебания проводов с частотой 0,2—4 Гц очень большой амплитуды, достигающей нескольких метров (т. н. «пляска» проводов). Радиальная защита от «пляски» проводов не разработана.

Опоры и поддерживающие провод конструкции защищают от атмосферного воздействия, а также от агрессивной биосферы (грибков, бактерий, насекомых) с помощью пропитки деревянных частей или антикоррозионных покрытий металлических конструкций. Принимаются также специальные меры для защиты воздушных линий от пожаров на трассе, от падения деревьев, от снежных и каменных лавин, от весеннего ледохода (вблизи рек) и др. В частности, вдоль трассы линии устанавливается охранная зелёная зона шириной от 20 до 100 м в зависимости от значения рабочего напряжения.

Подземная ЛЭП состоит из одного или нескольких кабелей, стопорных, соединительных и концевых муфт и крепёжных деталей, а ЛЭП, содержащая маслonaполненный или газонаполненный кабель, снабжается также подпитывающей системой и сигнализацией давления масла (газа). Подземные ЛЭП широко применяются при прокладке электрических сетей на территории городов и промышленных предприятий. Но их стоимость в 2—3 раза выше стоимости воздушных ЛЭП. Кабели прокладываются в земле, в траншеях на глубине 0,8—1,0 м, в кабельных каналах, блоках или тоннелях. Наиболее экономична подземная прокладка кабелей — до 6 кабелей в одной траншее.

В связи со значительным влиянием климатических условий на конструктивные параметры и работу воздушных ЛЭП, при проведении изысканий в районе предполагаемой трассы ЛЭП необходимо получить следующие климатические характеристики:

- среднее число дней с относительной влажностью 90 % и более, число дней с грозой, туманом, метелями и пыльными бурями; число случаев выпадения дождей разной интенсивности;
- число дней и часов с мокрым снегом; максимальная скорость и направление ветра (расчетная и наблюдавшаяся);
- температура почвы - средняя на поверхности и по глубинам;

- повторяемость различных величин гололедно-изморозевых отложений;
- максимальная толщина стенок гололеда и расчетная гололедная нагрузка;
- число дней с температурой воздуха от -2°C до $+3^{\circ}\text{C}$ и относительной влажностью 90 % и более;
- сопутствующие обледенению проводов температуры воздуха, скорость и направление ветра; сведения о «пляске» проводов и сопутствующие скорость и направление ветра, обледенение.

Специализированными климатическими показателями для ЛЭП являются максимальная гололедно-ветровая и ветровая нагрузки, а также число дней с опасными явлениями погоды (гроза, град, ливень, снегопад).

Схема расчета ветровой и гололедно-ветровой нагрузки представлена в п. 4.2.2. данных Рекомендаций.

Наледеи на ЛЭП образуются при наличии воздуха с высокой относительной влажностью (более 90%) и температурой чуть выше 0°C и электропроводов, охлажденных до отрицательных температур. Для того, чтобы шел процесс образования наледей, точка росы насыщенного влагой воздуха должна быть расположена около 0°C . При этом разность температур окружающей среды и поверхности электропроводов невелика и достигает нескольких градусов. Рост толщины наледей прекратится, как только температура на поверхности льда сравняется с температурой точки росы. Таким образом, нанеся 2-3 слоя жидко-керамического покрытия на электропровода, можно избежать образования наледей или существенно снизить толщину наледей и избежать обрыва проводов.

Если наблюдаемая стенка гололеда превышает 26 мм^2 при скорости ветра более 10 м/с, или отложение мокрого снега составляет более 35 мм^2 при скорости ветра более 6 м/с, возможно повреждение или разрушение ЛЭП.

Значительную опасность для ЛЭП могут представлять и опасные явления погоды (прежде всего, гроза, т.к. грозовые разряды могут вызвать возгорание ЛЭП). Поэтому информация о числе дней с грозой в данном районе позволит выбрать оптимальные параметры грозозащиты.

При высоких температурах воздуха происходит растяжение проводов, при этом возможно их провисание и контакт с соседними проводами, который вызовет короткое замыкание. В связи с этим в жарких районах информация о температурном режиме необходима для выбора соответствующей конструкции и материалов для ЛЭП.

В настоящее время разрабатываются ЛЭП принципиально нового типа, использующие явление сверхпроводимости металлов при очень низких тем-

пературах. Эти ЛЭП будут защищены от атмосферного влияния, т.к. будут располагаться в подземных шахтах. Сверхпроводящая ЛЭП представляет собой сложную систему, включающую несколько многослойных кабелей, размещенных в шахте, заполненной жидким азотом. Для сохранения температурного режима линия размещается только под землей и требует постоянного контроля со стороны обслуживающего персонала. Но затраты оправдываются, так как сверхпроводники по сравнению с обычными кабелями передают в несколько раз большие мощности. Например, если обычный кабель рассчитан на 10 МВт, то сверхпроводящий аналогичного размера — уже на 100 МВт.

В России сверхпроводящих линий пока нет, но в настоящее время разрабатываются программы по строительству 500-метрового опытного кабеля в Подмосковье. Уже реализуется меньший проект по возведению на одном из полигонов 30-метровой ЛЭП, которая будет сдана в эксплуатацию в 2009 году. Если результаты окажутся обнадеживающими, начнется проект по возведению внутри Москвы нескольких подземных сверхпроводящих линий длиной уже до 1 км. Возможно, они вступят в эксплуатацию после 2010 года.

5.5. Альтернативные возобновляемые источники энергии

Помимо перечисленных выше видов электростанций есть ряд электростанций, не входящих в общую энергетическую систему страны. Это электростанции, использующие альтернативные источники энергии, т.е. энергию солнца, ветра, тепла земли, движения водных потоков, а также энергию существующих в природе градиентов температур.

Солнечная энергия - один из самых доступных источников, но ее плотность низка, и зависит от метеорологических условий. Солнечную энергию можно использовать для непосредственного преобразования в электрическую с помощью солнечных батарей, для нагрева теплоносителя и преобразования его энергии в электрическую, для нагрева теплоносителя и снабжения горячей водой, для нагрева массивных конструктивных элементов зданий, а также в качестве источника энергии для получения других видов возобновляемой энергии - биоэнергетических установок, тепловых насосов.

В настоящее время метод преобразования солнечной энергии в тепловую является наиболее развитым. Использование солнечных коллекторов целесообразно для отопления и особенно для горячего водоснабжения. Применение солнечных установок в режиме горячего водоснабжения целесообразно там, где неотопливаемый период длится не менее 5 месяцев. Рекомендуемая

площадь коллектора на 1 человека составляет 1–1,5 м². При фотоэлектрическом способе солнечная энергия наиболее эффективно может быть преобразована в постоянный электрический ток посредством солнечных элементов на основе кремния и арсенида галлия. Преимущество фотоэлектрических преобразователей (ФЭП) обусловлено их высокой экологичностью, надежностью, простотой обслуживания, эффективным использованием как прямой, так и рассеянной солнечной радиации, практически не ограниченным сроком службы. Модульный тип конструкции позволяет создавать установки практически любой мощности и делает их весьма перспективными. Недостатком ФЭП является их высокая стоимость и низкий КПД. К 2030 году прогнозируемая установленная мощность солнечных фотоэлектрических систем в мире составит 200-300 ГВт при стоимости 1000 евро/кВт и стоимости электроэнергии 0,05-0,12 евро/кВт·ч.

Ветровая энергия также относится к энергии низкой плотности, поэтому требуются значительные площади для ее выработки. На формирование ветровых потоков существенное влияние оказывают местные факторы - рельеф, водоемы, лес и др. Ветровая энергия при ее очень большом потенциале (около 40 ТВт при современном полном энергопотреблении около 10 ТВт) распределена по поверхности Земли крайне неравномерно. Благоприятной для использования является скорость ветра 3...10 м/сек при повторяемости около 60...90 %. Ветровую энергию преобразуют в электрическую, механическую, тепловую с помощью ветроагрегатов, основным рабочим органом которых является ветроколесо с горизонтальной или вертикальной осью вращения. Имеется большое число вариантов ветроколес, хотя в практике нашли наибольшее применение агрегаты пропеллерного типа с тремя лопастями. В настоящее время по развитию ветроэнергетики на первое место в мире вышла Германия, на второе – Испания, на третье – США, на четвертое – Дания, на пятое.- Индия.

В последние годы все более широкое распространение получает малая гидроэнергетика. Техничко-экономический потенциал малой гидроэнергетики в России превышает потенциал таких возобновляемых источников энергии, как ветер, солнце и биомасса, вместе взятых. В настоящее время он определен в размере 60 млрд. кВт·ч в год. Но используется этот потенциал крайне слабо: всего на 1%. В 1950-60-х годах в России действовало несколько тысяч МГЭС. Сейчас - всего лишь несколько сотен. Одним из основных достоинств объектов малой гидроэнергетики является экологическая безопасность. В процессе их сооружения и последующей эксплуатации вредных воздействий на свойства и качество воды нет. Водоемы можно использовать и для рыбохозяйственной деятельности, и как источники водоснабжения населения. Со-

временные МГЭС полностью автоматизированы. Вырабатываемый ими электрический ток соответствует требованиям ГОСТа по частоте и напряжению, причем станции могут работать как в автономном режиме, т.е. вне электросети энергосистемы края или области, так и в составе этой электросети. Полный ресурс работы станции - не менее 40 лет (не менее 5 лет до капитального ремонта). Объекты малой энергетики не требуют организации больших водохранилищ с соответствующим затоплением территории и огромным материальным ущербом.

Существующие в природе разности температур могут быть использованы для практики посредством тепловых насосов. Тепловые насосы представляют собой компактные экономичные и экологически чистые системы отопления, позволяющие получать тепло для горячего водоснабжения и отопления домов за счет использования тепла низкопотенциального источника (грунта, земных недр) путем переноса его к теплоносителю с более высокой температурой. По прогнозам Мирового энергетического комитета (МИРЭК), примерно к 2020 году большинство развитых стран мира перейдет к теплоснабжению посредством тепловых насосов. Эти устройства уже более четверти века с успехом используют в быту и промышленности в Соединенных Штатах и Европе. Тепловые насосы обеспечивают в Швеции половину всего тепла, в США – 37%, в России же – всего 0,1%.

Ресурсы возобновляемой энергии огромны и доступны каждой стране. Не оказывая значительного негативного влияния на окружающую среду и сравнительно быстро окупаясь, источники такой энергии все шире используются в развитых странах мира. Возобновляемые источники энергии (ВИЭ) не являются альтернативой существующей энергетике, они - существенная часть энергетике ближайшего будущего.

Экономический потенциал возобновляемых источников энергии в России составляет 270 млн. т у. т. в год. География распределения возобновляемых источников энергии на территории России такова, что практически в каждом субъекте Российской Федерации имеются два-три вида ВИЭ, при комплексном использовании которых удаленные не электрифицированные потребители могут быть в значительной степени обеспечены энергоресурсами.

Регионы Крайнего севера (от Кольского полуострова до Камчатки), прибрежные зоны Ледовитого и Тихого океанов, Балтийского и Каспийского морей обладают значительными энергоресурсами ветра. Зоны с благоприятными климатическими условиями для использования солнечной энергии (ежегодный приход солнечной радиации более 1000 кВт·ч на кв.м) составляют больше половины территории России, где проживает около 49 млн. сельских

жителей и производится около 60% валового объема сельскохозяйственной продукции.

Горные районы Сибири, Дальнего Востока, Кавказа обладают значительными гидроэнергетическими ресурсами малых рек (технический потенциал микро- и малых ГЭС мощностью до 200 кВт оцениваются в 86,3 млрд. кВт·ч/год).

5.5.1. Гелиоэнергетика

5.5.1.1. Состав актинометрической информации для обоснования схем размещения и проектирования солнечных энергетических установок (СЭУ)

Актинометрическую информацию для указанных целей можно разделить на 2 группы:

Общие климатические характеристики, необходимые для оценки природного гелиопотенциала:

1. Продолжительность солнечного сияния по месяцам и за год.
2. Средняя продолжительность солнечного сияния за день с солнцем.
3. Число дней без солнца.
4. Отношение наблюдавшейся продолжительности солнечного сияния к возможной.
5. Суммы прямой, рассеянной и суммарной солнечной радиации, поступающей на горизонтальную поверхность.
6. Максимальный суточный приход солнечной радиации.

Специализированные характеристики для решения задач гелиоэнергетики (оценки солнечных ресурсов, принципиально доступных для использования, и технически реализуемых солнечных энергетических ресурсов):

1. Приход солнечной радиации на наклонные поверхности
2. Технически реализуемые солнечные энергетические ресурсы:
 - 1) выработка тепловой энергии;
 - 2) выработка электрической энергии

Оценка природного гелиопотенциала может быть получена по данным Научно-прикладного Справочника по климату России, где приводится наиболее подробная информация о средних многолетних характеристиках солнечной радиации разного временного масштаба (час, сутки, месяц, год). Если в УГМС имеются надежные современные актинометрические данные, приведенные в НПС многолетние характеристики могут быть уточнены. В тех регионах, где полностью отсутствует актинометрическая информация или ее недостаточно для выбора места предполагаемого расположения

СЭУ, следует использовать косвенные методы расчета поступления солнечной радиации.

Специализированные характеристики гелиоэнергетических ресурсов необходимы для решения системных, параметрических и эксплуатационных задач гелиоэнергетики и требуют выполнения большого объема расчетов.

5.5.1.2. Расчет солнечной радиации, поступающей на наклонные поверхности, (солнечные ресурсы, принципиально доступные для технического использования)

Основной базовой специализированной характеристикой для гелиоэнергетики является количество солнечной энергии, поступающей на плоскость гелиоприемника, наклоненного на определенный угол. На основе этих расчетов с учетом теплофизических характеристик гелиоприемника определяется удельная годовая энерговыработка солнечной установкой, являющаяся характеристикой технического потенциала и на начальном этапе разработки определяющая целесообразность и эффективность применения СЭУ в данной местности. В связи с этим к расчету суммарной радиации на наклонные поверхности предъявляются повышенные требования относительно их достоверности.

Расчеты суммарного прихода солнечной радиации на наклонные поверхности необходимо производить с использованием часовых сумм прямой, рассеянной и отраженной радиации, поступающей на горизонтальную поверхность при средних условиях облачности, учитывая анизотропность распределения рассеянной радиации.

Для этой цели может быть использована модель, разработанная Дж. Хеем [Нау, 1986], учитывающая основную особенность углового распределения рассеянной радиации – максимум ее интенсивности в околосолнечной зоне. Количественно определить границы допустимости изотропного приближения для отраженной радиации очень сложно, поэтому при расчете суммарной радиации, поступающей на гелиоприемники, ориентируемые на юг, доля отраженной радиации в данной модели определяется приближенно в предположении изотропности ее распределения [Стадник и др., 2008]. Суммарный суточный приход радиации на наклонную поверхность в этом случае представляется выражением:

$$Q_{\alpha} = S \int_{t_1}^{t_2} \cos \Theta dt + D_{\alpha} + Q \cdot A_k \cdot \frac{1 - \cos \alpha}{2} \quad (5.12)$$

$$D_{\alpha} = D \cdot \left[\left(\frac{Q - D}{E_{\text{внестм.}}} \right) \cdot \frac{\cos \Theta}{\cos Z} + \left(1 - \frac{Q - D}{E_{\text{внестм.}}} \right) \cdot \cos^2 \frac{\alpha}{2} \right] \quad (5.13)$$

где:

D и Q – рассеянная и суммарная радиация, поступающая на горизонтальную поверхность, A_k – альbedo земной поверхности.

$E_{внеатм.}$ - внеатмосферная радиация,

Θ - угол падения прямого солнечного излучения,

Z - зенитный угол солнца

α - угол наклона поверхности к горизонту

t_1 - время восхода солнца; t_2 – время захода солнца.

Прямая радиация, поступающая на наклонную поверхность S_α , определяется через прямую радиацию на перпендикулярную поверхность S_\perp по формуле:

$$S_\alpha = S_\perp [\cos(\varphi - \alpha) \cos \delta \cdot \cos \tau + \sin(\varphi - \alpha) \cdot \sin \delta] \quad (5.14)$$

где:

φ - широта места, δ - склонение солнца, τ - часовой угол солнца.

В случае изотропного распределения диффузной радиации (рассеянной – D_α и отраженной – R_α) суммарный солнечный поток радиации – Q_α , поступающей на наклонные поверхности, можно выразить следующим образом [Кондратьев и др., 1978]:

$$Q_\alpha = S_\alpha + D \cdot \frac{1 + \cos \alpha}{2} + Q \cdot A_k \cdot \frac{1 - \cos \alpha}{2} \quad (5.15)$$

Как видно из представленных в таблице 5.12 данных, изотропная модель существенно занижает значения суммарной радиации.

Таблица 5.12

Сравнение относительных значений средних суточных сумм суммарной солнечной радиации, поступающей на наклонные поверхности ($Q_\alpha/Q_{гор}$), рассчитанных по изотропной (1) и анизотропной (2) моделям

Станция	Следящая за Солнцем поверхность		Неподвижная поверхность с углом наклона $\alpha=\varphi$	
	1	2	1	2
Январь				
Якутск	2,30	2,85	2,12	2,58
$\Delta, \%$	-24		-22	
Краснодар	1,71	1,90	1,52	1,66
$\Delta, \%$	-11		-9	
Июль				
Якутск	1,46	1,59	0,86	0,87
$\Delta, \%$	-9		-1	
Краснодар	1,23	1,31	0,90	0,90
$\Delta, \%$	-6		0	

Анализ соотношения прихода суммарной радиации, поступающей на наклонные и горизонтальную поверхности - $Q_\alpha/Q_{гор}$ показал, что эта характеристика обладает большой общностью и зависит, главным образом, от ориентации (наклона) поверхности и высоты Солнца. Зависимость от других факторов, в том числе и от облачности, существенно меньше.

В связи с тем, что расчет потока суммарной радиации по ее составляющим весьма трудоемкий, величину $Q_\alpha/Q_{гор}$ на практике можно применять как коэффициент пересчета радиации с горизонтальной поверхности на наклонную при средних условиях облачности ($K_\alpha = Q_\alpha/Q_{гор}$). Как было отмечено выше, такой подход используется для пересчета радиации с горизонтальной поверхности на вертикальные и дает хорошие результаты.

На основании расчетов суммарной радиации по данным часовых сумм солнечной радиации, опубликованных в [Стадник и др., 2008], в пределах 44-78°с.ш. были обобщены значения $K_\alpha = Q_\alpha/Q_{гор}$ по широтным поясам для поверхностей с различным наклоном. Рассматривался угол наклона, равный широте места пункта, оптимальный угол наклона для каждого месяца, оптимальный угол для года в целом и проводился расчет для поверхностей со слежением за солнцем. В таблице 5.13 приведены значения $K_\alpha = Q_\alpha/Q_{гор}$ для двух поверхностей и трех широтных зон.

Таблица 5.13

Относительные значения средних за месяц суточных сумм суммарной радиации, поступающей на наклонные поверхности, при средних условиях облачности ($K_\alpha = Q_\alpha/Q_{гор}$).

Следящая за Солнцем поверхность												
φ° с.ш.	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
60	3,12	2,70	2,00	1,64	1,48	1,47	1,48	1,50	1,65	1,83	2,75	3,30
50	2,50	2,07	1,69	1,42	1,38	1,36	1,39	1,45	1,62	1,70	2,04	2,48
40	1,96	1,70	1,48	1,35	1,32	1,30	1,33	1,43	1,56	1,65	1,92	2,02
	Европейская часть РФ						Забайкалье, Дальний Восток					
φ° с.ш.	I	II	XI	XII	I	II	X	XI	XII			
60	2,50	2,18	2,09	2,50	3,75	3,00	2,45	3,84	4,66			
50	2,00	1,75	1,71	1,87	2,93	2,50	2,05	2,74	3,25			

Неподвижная поверхность с углом наклона равным широте места ($\alpha = \varphi$)												
φ° с.ш.	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
60	2,78	2,23	1,66	1,24	0,95	0,81	0,85	1,02	1,30	1,68	2,40	2,70
50	2,08	1,74	1,31	1,09	0,95	0,85	0,86	1,01	1,26	1,50	1,93	2,00
40	1,65	1,41	1,19	1,04	0,94	0,86	0,91	1,00	1,20	1,43	1,62	1,69

Европейская часть РФ					Забайкалье, Дальний Восток					
φ° с.ш.	I	II	XI	XII	I	II	III	X	XI	XII
60	2,45	1,90	1,98	2,30	3.11	2.57	1.88	2.07	3.07	3.40
50	1,75	1,53	1,54	1,68	2.48	2.00	1.48	1.75	2.17	2.53

При обобщении данных по широтам не удалось полностью исключить влияние облачности. В связи с этим в зимний период наиболее облачные районы, находящиеся под влиянием теплых атлантических воздушных масс (Европейская часть РФ) и малооблачные районы, расположенные в зоне влияния азиатского антициклона (Забайкалье, Дальний Восток), выделены в отдельные группы. Аналогичная особенность была отмечена при обобщении относительных значений суммарной радиации, поступающей на вертикальные поверхности. В таблице 5.14 приведены средние за месяц суточные суммы суммарной радиации, вычисленные по формулам (5.12) и полученные упрощенным способом с использованием коэффициентов пересчета средних суточных сумм суммарной радиации, поступающей на горизонтальную поверхность, из Научно-прикладного справочника по климату СССР.

Таблица 5.14

Средние за месяц суточные суммы суммарной солнечной радиации на различно ориентированные наклонные поверхности (следящую за Солнцем на поверхность и поверхность, наклоненную под углом, равным широте места $\alpha = \varphi^\circ$) рассчитанные различными способами: 1- по методу Дж. Хейя, 2- через коэффициенты пересчета

		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
		Омск 55° с.ш.											
Следящая система	1	7,36	14,53	21,49	24,98	28,51	31,38	29,54	23,84	18,68	9,72	6,54	5,44
	2	8,16	14,58	20,09	23,57	28,218	31,04	29,51	23,78	18,04	10,11	7,05	6,21
$\alpha = \varphi^\circ$	1	6,46	12,47	17,64	18,58	18,65	18,77	18,28	16,92	14,74	8,54	5,94	4,96
	2	7,00	11,98	16,41	17,58	18,72	18,2	17,56	16,55	14,21	9,08	6,25	5,15
		Воейково 60° с.ш.											
Следящая система	1	2,99	7,36	16,44	20,27	28,08	32,15	28,92	21,90	14,88	6,47	2,71	1,47
	2	2,85	7,19	16,19	20,61	27,36	31,56	28,50	21,24	14,08	6,14	2,58	1,45
$\alpha = \varphi^\circ$	1	2,71	6,50	13,50	14,90	17,31	17,91	17,23	15,19	11,75	5,69	2,47	1,34
	2	2,80	6,27	13,44	15,58	17,56	17,39	16,37	14,44	11,09	5,64	2,44	1,34

В процессе расчета суммарной радиации по составляющим при необходимости можно оценить вклад каждой из них в суммарный приход так, как приведено в таблице 5.15.

Наибольший вклад прямой солнечной радиации отмечается на поверхности, следящей за Солнцем. Летом он составляет в среднем 70%, зимой 55%. Доля прямой радиации, поступающей на неподвижные поверхности меньше, она определяется не только условиями облачности, но и углом встречи сол-

нечных лучей с неподвижной поверхностью. При некоторых высотах солнца лучи «скользят» по поверхности.

На территории России доля диффузной радиации (рассеянной + отраженной) в суммарном приходе составляет в среднем 40-50%. На отраженную радиацию при наличии снежного покрова приходится 10-15%. На крайнем севере в весенне-летние месяцы при высоком приходе радиации и наличии снежного покрова доля отраженной радиации возрастает до 25-30%. В летний период вклад отраженной радиации составляет всего 1-5%. Пример расчета вклада составляющих суммарной радиации приведен в таблице 5.15.

Таблица 5.15

Вклад прямой, рассеянной и отраженной радиации в суммарный приход радиации, поступающей на наклонную поверхность, %

Ме- сяц	Следящая за Солнцем поверх- ность			Неподвижная поверхность ($\alpha = \varphi$)		
	S/Q	D/Q	R/Q	S/Q	D/Q	R/Q
Якутск				$\varphi = 62^\circ$		
I	52	36	12	50	42	8
II	61	29	10	59	33	8
III	64	26	10	62	28	10
IV	64	29	7	57	32	10
V	66	32	2	56	39	5
VI	69	28	2	58	37	6
VII	70	28	2	60	35	5
VIII	69	28	2	62	34	4
IX	68	29	3	64	33	3
X	60	32	8	56	36	7
XI	58	31	11	57	36	7
XII	50	35	15	47	44	9
Краснодар				$\varphi = 45^\circ$		
I	62	31	6	58	39	3
II	58	37	5	53	44	3
III	60	37	3	55	43	2
IV	60	38	2	54	44	2
V	61	37	2	53	44	3
VI	63	35	2	54	43	3
VII	65	33	2	57	40	3
VIII	67	31	2	60	37	3
IX	69	29	2	64	34	2
X	68	30	2	64	34	2
XI	67	30	3	61	37	2
XII	58	36	6	51	46	3

Для многих практических задач, связанных не только с гелиотехникой, но и с сельским хозяйством, строительством, с отраслями промышленности, связанными с испытанием различных материалов и др., важно определить оптимальный угол наклона поверхности, соответствующий максимальному облучению солнечной радиацией.

Оптимальный угол наклона поверхности для каждого месяца и года в целом можно определить путем последовательного расчета максимума количества радиации на поверхность, меняя угол наклона через 1° .

Как показывают расчеты, наименьшие углы наклона, соответствующие максимальной инсоляции поверхности характерны для июня-июля ($5-20^\circ$), наибольшие – для декабря-января ($65-85^\circ$). Во все месяцы года оптимальные углы возрастают в направлении с юга на север. Значения оптимальных углов наклона для трех широтных поясов приведены в таблице 5.16.

Таблица 5.16

Оптимальные углы наклона α южных поверхностей, соответствующие максимальному облучению суммарной радиацией

φ° с.ш.	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
60	84	79	69	47	25	16	20	34	50	66	80	84	43
50	77	71	56	34	18	13	15	28	46	58	69	74	40
40	64	56	40	24	12	5	6	20	39	52	61	64	34
Европейская часть РФ						Забайкалье, Дальний Восток							
φ° с.ш.	I	II	XI	XII	Год			I	XI	XII	Год		
60		76	75	81	38				83	86	48		
50	73	66	63	69	34			79	74	79	45		

5.5.1.3. Технически реализуемые солнечные энергетические ресурсы

Использование солнечной энергии следует рассматривать как существенное средство энергосбережения в общем ряду энергосберегающих мер. В связи с этим представляется важным оценить, насколько климатические условия рассматриваемого региона создают перспективу практического использования солнечной энергии.

Ниже приводятся примеры расчета возможной выработки электрической и тепловой энергии с помощью современных средств преобразования солнечной энергии.

Выработка электрической энергии

Энерговыводка плоского фотоэлектрического генератора (ФГ) без концентратора имеет практически линейную зависимость от интенсивности солнечной энергии.

Для корректности оценку годовой энерговыработки ФГ целесообразно определять на основе месячных значений энергии, учитывая влияние климатических и метеорологических факторов на КПД фотопреобразователей.

Месячная выработка электрической энергии вычисляется на основе суточной выработки по формуле [Кочубей, 1987, Стадник и др., 2008]:

$$W_{\phi} = W_c \eta_0 [1 + \beta(T_0 - T_{\phi})] \cdot \left(1 + \gamma \ln \frac{E}{E_0}\right), \quad (5.16)$$

где η_0 - КПД фотоэлектрического генератора, определенный при стандартных условиях (спектр АМ 1.5, облученность $E_0 = 1000 \text{ Вт/м}^2$ и температура фотопреобразователей $T_0 = 40^{\circ}\text{C}$);

β - коэффициент, учитывающий влияние на КПД фотогенератора отклонения рабочей равновесной температуры фотопреобразователей от стандартной;

$$T_{\phi} = T_{\beta} + \alpha \cdot \frac{E}{E_0} -$$

расчетная для данного месяца температура фотопреобразователей;

γ - коэффициент, учитывающий влияние на КПД фотогенератора отклонения облученности поверхности фотопреобразователей от стандартной;

$$E = \frac{W_c}{t_{\text{дн}} - 2} -$$

расчетная для данного месяца облученность поверхности фотогенератора ;

W_c - средняя суточная сумма суммарной радиации, поступающая на поверхность фотогенератора с заданным углом наклона;

$t_{\text{дн}}$ - средняя для данного месяца продолжительность дня;

α - коэффициент, учитывающий нагрев фотопреобразователей солнечной энергией.

Для фотоэлектрических модулей наземного применения, выпускаемых отечественной промышленностью, приняты следующие типовые значения коэффициентов: $\alpha = 25^{\circ}\text{C}$; $\beta = 0.005^{\circ}\text{C}$; $\gamma = 0.07$. КПД преобразователя в приведенном примере принят равным 20%.

Расчетная для данного месяца температура фотопреобразователя определялась по формуле:

$$T_{\phi} = T_{\beta} + \alpha \cdot \frac{E}{E_0} \quad (5.17)$$

На основании таких расчетов можно оценить то количество электрической энергии, которое можно получить, если некоторую площадь региона использовать для съема электрической энергии. В таблице 5.17 для примера

приведена удельная (на 1м²) выработка электрической энергии для отдельных районов Европейской территории России.

Таблица 5.17

Количество энергии, вырабатываемое фотоэлектрической батареей со следящей за Солнцем поверхностью, при КПД ФГ=20%

Станция	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Курск	12	18	30	32	43	47	46	39	30	19	8	6	331
Воронеж	12	19	31	33	45	47	47	38	31	20	9	7	339
Куйбышев	12	20	35	40	52	52	50	43	32	18	9	7	371
Цимлянск	15	20	32	41	52	53	55	48	40	25	11	8	401
Уфа	10	20	37	38	47	49	47	40	29	15	8	7	347
Астрахань	16	20	34	41	51	52	51	50	41	28	14	10	409
Краснодар	14	17	30	34	44	46	48	44	37	26	13	8	362

Как показывают многочисленные исследования в области гелиоэнергетики, наиболее благоприятными районами для строительства солнечных электростанций являются такие, где удельная выработка электроэнергии составляет не менее 200 кВт·ч/год. Основываясь на этих выводах, можно утверждать, что на большей части региона возможна эксплуатация СЭС не только с системой слежения за Солнцем, но и с неподвижным гелиоприемником (при КПД не менее 12%).

5.5.1.4. Выработка тепловой энергии

В настоящее время в мировой практике наибольшее распространение по сравнению с другими направлениями применения солнечной энергии получило солнечное теплоснабжение, то есть использование солнечной энергии для отопления и горячего водоснабжения [Стадник и др., 2008].

Выработка тепловой энергии, отводимой из плоского солнечного коллектора, определялась как разность между количеством солнечной энергии, поглощенной пластиной коллектора, и количеством энергии, теряемой в окружающую среду:

$$E_k = K_1 \cdot A_1 [Q_\alpha \cdot K_2 - K_3 \cdot B \cdot (18 - T)] \quad (5.18)$$

где A_1 - площадь коллектора, м²;

K_1 - коэффициент отвода тепла, Вт;

Q_α - средний приход суммарной радиации на наклонную поверхность за рассматриваемый период (сутки, месяц, год), Вт/м²;

K_2 - оптический КПД коллектора, $K_2 = \tau \cdot \alpha$,

где τ - пропускательная способность прозрачных покрытий по отношению к солнечному излучению;

α -поглощательная способность пластины коллектора по отношению к солнечному излучению;

K_3 - полный коэффициент тепловых потерь;

B - продолжительность солнечного сияния за данный период (сутки, месяц, год);

T - средняя температура окружающей среды за рассматриваемый период (сутки, месяц, год).

При расчетах были приняты следующие значения коэффициентов, входящих в формулу: $A_1=0.62 \text{ м}^2$, $K_1= 0.94 \text{ Вт}$; $K_2 =0.75$; $K_3=8.0 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{С}^\circ$.

Таблица 5.18

Удельная месячная и годовая выработка энергии плоским солнечным коллектором, (неподвижная поверхность, наклоненная на угол, оптимальный для года), кВт·ч/м²

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Калуга			29	60	101	114	117	100	65	22			607
Тула			27	57	101	107	117	99	64	23			595
Брянск			33	65	103	118	123	105	73	31			652
Орел			32	58	101	114	121	105	67	31			629
Курск			28	61	101	117	120	106	76	34			641

Приведенные в таблице 5.18 расчеты относятся к единице площади коллектора, равной 1 м². Выработка тепловой энергии в значительной степени зависит от температуры воздуха.

Установки солнечного теплоснабжения, то есть установки и системы, основанные на использовании плоских солнечных коллекторов, в которых осуществляется нагрев теплоносителя, могут работать в разнообразных режимах, участвуя в покрытии либо нагрузки отопления и горячего водоснабжения (режим теплоснабжения), либо нагрузки только горячего водоснабжения в неотапительный период (режим сезонного горячего водоснабжения). Первый режим требует установки по двухконтурной схеме, когда в коллекторном контуре теплоносителем является незамерзающая жидкость, а тепло к потребителю отводится через теплообменник. Использование солнечных установок в режиме сезонного горячего водоснабжения имеет существенное преимущество с точки зрения простоты схемы (одноконтурная схема без промежуточного теплообменника; нет необходимости в применении антифриза и т.п.).

Существующие методы расчета солнечных систем позволяют на основе использования климатической информации и с учетом характеристик применяемого оборудования определять их основные параметры, каковыми являются:

f - коэффициент замещения нагрузки (доля солнечной энергии в покрытии нагрузки) за некоторый рассматриваемый период времени;

Q - полезная теплопроизводительность установки за этот период;

F - площадь солнечных коллекторов в установке.

При фиксированной площади коллектора F величины f и Q связаны соотношением $Q = f \cdot L$, где L - тепловая нагрузка за рассматриваемый период. Удобной величиной для сравнения является удельная теплопроизводительность q , отнесенная к 1 м^2 площади солнечных коллекторов в установке.

Одним из параметров, вводимых в расчет, является нагрузка горячего водоснабжения, которая определяется по формуле

$$L_w = N \cdot p \cdot 100 \cdot (T_h - T_c) \rho \cdot C_p,$$

где N – число дней в месяце;

p - количество людей, обеспечиваемых горячей водой;

T_h - минимально допустимая температура горячей воды ($+60^\circ\text{C}$);

T_c - температура воды из водопровода ($+5^\circ\text{C}$);

ρ - плотность воды;

C_p - теплоемкость воды;

100 – норма расхода воды на горячее водоснабжение жилых зданий на одного человека в сутки (литры) согласно СНиП.

Другую группу параметров, вводимых в расчет в качестве исходной информации, составляют климатические данные, а именно средние за месяц значения суммарной радиации на поверхность коллектора и среднемесячная температура воздуха. В число исходных данных для расчета включены также теплотехнические характеристики солнечного коллектора, (в приведенных примерах) разработанного НПП «Митра» и ЭНИН им. Г.М.Кржижановского [Тарнижевкий, 1992]. Площадь одного модуля составляет 1.5 м^2 . Угол наклона солнечных коллекторов к горизонту выбран оптимальным для года. Ориентация коллекторов – южная.

Результаты расчета коэффициентов замещения нагрузки f и удельной теплопроизводительности q при различной площади коллектора и суточной норме расхода воды, равной 100 л в день на человека для солнечной установки, используемой в режиме сезонного (летнего) горячего водоснабжения, представлены в таблице 5.19.

Таблица 5.19

Удельная теплопроизводительность q (кВт·ч/м²) и коэффициент замещения нагрузки f (%) при различной площади коллектора.

Станция	1м ²		1,5м ²		3м ²		4,5м ²		6м ²	
	q	f	q	f	q	f	q	f	q	f
Калуга	461	12	452	17	426	33	401	46	377	58
Тула	451	12	442	17	417	32	393	45	371	57
Брянск	477	12	468	18	440	34	414	48	389	60
Орел	460	12	451	17	425	33	401	46	377	58
Курск	464	12	455	17	429	33	404	47	380	58

Из таблицы видно, что установка из четырех стандартных модулей (6 м²) для четырех человек даже в умеренных широтах России позволит покрыть нагрузку горячего водоснабжения практически на 60%.

Исходя из этого, можно сделать достаточно оптимистичные выводы, подтверждающие целесообразность и эффективность использования в рассматриваемом регионе нетрадиционных возобновляемых источников энергии, в частности установок коллекторного типа для сезонного горячего водоснабжения.

Снижение нормы потребления горячей воды значительно увеличивают коэффициент замещения нагрузки. Так, например, при уменьшении нормы потребления вдвое коэффициент замещения увеличивается с 57% до 89%. Однако при этом снижается удельная теплопроизводительность, что свидетельствует о менее полном использовании тепловой мощности установки.

Применение солнечных установок в режиме сезонного водоснабжения целесообразно там, где неотопливаемый период составляет не менее 5 мес.

Реальным положительным эффектом от использования солнечной установки (помимо экологического) является экономия топлива. Солнечные установки могут быть конкурентоспособны в сфере децентрализованного теплоснабжения, где источником тепла являются мелкие котельные и индивидуальные отопительные и водогрейные устройства, КПД которых невелик и может быть принят равным 0.5. В зависимости от режима использования установок (теплоснабжение, круглогодичное или сезонное горячее водоснабжение), а также от климатических условий удельная годовая (сезонная) экономия топлива может составлять 0.05–0.2 т.у.т.

5.5.2. Ветроэнергетика

5.5.2.1. Основные задачи и параметры

Климатическая информация о ветре используется при решении следующих основных задач:

- = конструировании ветроэнергетических установок, ВЭУ;
- = расчете потенциальных, технических и реальных ресурсов и оценке их вклада в общий энергетический баланс;
- = выборе типа ВЭУ с учетом его производительности;
- = планировании оптимального режима его работы;
- = разработке схемы рационального размещения ВЭУ.

Основными климатическими параметрами для решения этих задач служат:

- = квантили ветрового напора;
- = вертикальный профиль максимальной скорости ветра и коэффициента порывистости;
- = интенсивность турбулентности;
- = средний куб скорости ветра (месячной и годовой) и плотность воздуха;
- = коэффициент вариации скорости ветра;
- = повторяемость и средняя непрерывная продолжительность энергозатиший, рабочих и “буревых” скоростей”

Подробные сведения о методике решения всех перечисленных задач и методике составления рядов скорости ветра и их обработки для целей ветроэнергетики можно найти в РД 52.04.275-89 “Методические указания. Проведение изыскательских работ по оценке ветроэнергетических ресурсов для обоснования схем размещения и проектирования ветроэнергетических установок”, составленном М.М. Борисенко и др.

5.5.2.2. Методы оценки удельной мощности ветрового потока

Потенциальная энергия ветрового потока оценивается по формуле

$$E = \frac{1}{2} \rho u^2 v \quad (5.19)$$

где E - кинетическая энергия движущегося объема воздуха, ρ — плотность воздуха, u — скорость ветра, v - объем движущегося потока воздуха.

При нормальном атмосферном давлении 1013 гПа и температуре воздуха 15°C плотность воздуха составляет 1,226 кг/м³.

Если принять, что через площадь S , перпендикулярную ветровому потоку, за 1 с протекает объем воздуха v (равный $S \cdot u$), тогда выражение для мощности ветрового потока N будет иметь вид:

$$N = \frac{1}{2} \rho u^3 S \quad (5.20)$$

Для запуска ВЭУ требуется определенное минимальное значение вращающего момента лопастей, которое соответствует некоторому минимальному значению скорости ветра на уровне лопастей u_{\min} . При скорости ветра, превышающей максимально допустимое значение для ВЭУ, определяемое техническими требованиями, эксплуатация ВЭУ становится не безопасной. В этом случае требуется развернуть лопасти относительно своей продольной оси таким образом, чтобы обеспечить резкое снижение ветровой нагрузки.

Удельная мощность ВЭУ выражается в следующих диапазонах работы:

$$\begin{array}{ll}
 0 & \text{при } u < u_{\min} \\
 N_e = \eta_{\text{обц}} (N_e) \in (z) 0,6v^3 A & \text{при } u_{\min} < u < u_{\text{ном}} \\
 N_{\text{ном}} & \text{при } u_{\text{ном}} < u < u_{\text{max}} \\
 0 & \text{при } u > u_{\text{max}}
 \end{array}$$

где: $\eta_{\text{обц}}$ — КПД преобразования механической энергии в электрическую,
 $\in (z)$ — функция отношения окружной скорости концов лопастей и скорости ветра;

z — высота над поверхностью земли,

A — площадь поверхности, ометаемой лопастями ветроколеса,

$N_{\text{ном}}$ — номинальная (установленная) мощность ВЭУ,

u_{\min} — минимальная скорость ветра, при которой происходит запуск ВЭУ,

$u_{\text{ном}}$ — скорость ветра, при которой достигается номинальная мощность ВЭУ,

u_{max} — скорость ветра, при которой происходит отключение ВЭУ.

Таблица 5.20

Технические характеристики ВЭУ различных типов

Характеристика	Тип ветроэлектростанции			
	АВЭУ-6	АВЭУ-12	Регулируемые крыльчатые	GROWIAN
Установленная мощность, $N_{\text{ном}}$, кВт	2-4	8-16	500	3000

Диаметр ветроколеса, D м	6	12	55	100
Минимальная рабочая скорость ветра, $u_{\text{мин}}$, м/с	5	5	5	4,5
Номинальная скорость ветра, $u_{\text{ном}}$, м/с	10	10	12	11
Максимальная скорость ветра, u_{max} м/с	-	-	24	24
Число лопастей ветроколеса	3	3	2	2
Высота башни ВЭУ, м	7	12	30	100

В настоящее время на практике используется несколько типов ВЭУ (табл. 5.20).

Зависимость мощности ВЭУ от скорости ветра схематически показана на рис. 5.7.

Учитывая, что скорость ветра является случайной функцией времени, выражение для удельной мощности ветрового потока выглядит в общем виде следующим образом:

$$Ne = \frac{1}{2} \rho \int_0^{u_{\text{max}}} u^3 f(u) du \quad (5.21)$$

где $f(u)$ — дифференциальная повторяемость скорости ветра по градациям.

Наиболее точно по сравнению с другими теоретическими распределениями в диапазоне скорости ветра 4-20 м/с данная функция аппроксимируется распределением Вейбулла-Гудрича для условий равнинной местности:

$$f(u) = \frac{\gamma}{\beta} \left(\frac{u}{\beta} \right)^{\gamma-1} \exp \left[- \left(\frac{u}{\beta} \right)^{\gamma} \right] \quad (5.22)$$

где β и γ - параметры распределения, связанные со средним значением и σ .

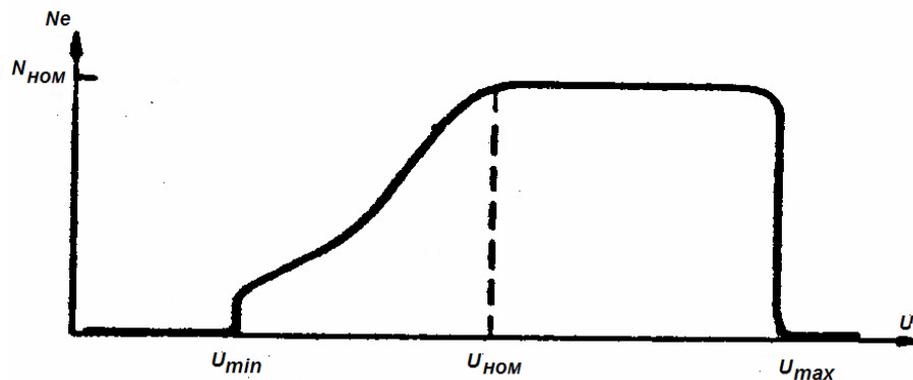


Рис. 5.7. Зависимость выходной мощности генератора ВЭУ N_e от скорости ветра u .

$N_{ном}$ - установленная мощность генератора.

В качестве примера рассмотрим расчет N_e по данным ГМС Барабинск (Западно-Сибирское территориальное управление по гидрометеорологии). В первой строке табл. 5.21 приведены осредненные за ноябрь-февраль распределения скорости ветра по графикам, во второй строке даны значения удельной мощности ветрового потока, рассчитанные с учетом распределения скорости ветра по градациям, по формуле

$$N_{e(град)} = 0,613 u^3 f(u) / 100 \quad (5.23)$$

К примеру, вычислим значение N_e для скорости ветра 2-3 м/с. Принимаемую в расчет мощность определяем по верхней границе градации, т. е. 3 м/с.

Таблица 5.21

Климатические характеристики ветроэнергетических ресурсов.
Барабинск, зима. Высота 10 м.

Характеристика	Скорость ветра, м/с									
	1-2	2-3	4-5	6-7	8-9	10-13	14-17	18-20	21-24	Σ
$f(u), \%$	5,5	21,2	26,5	17,7	11,6	13,4	3,5	0,5	0,1	100,0
$N_{e(град)}, \text{Вт/м}^2$	0,0	3,5	20,3	37,2	51,6	141,9	87,9	21,0	7,5	370,9

Тогда $\bar{u} = 6,27 \text{ м/с}, N_{e(ср)} = 285,9 \text{ Вт/м}^2$

$$N_{e(2-3)} = 0,613 \cdot 3^3 \cdot 21,2 / 100 \approx 3,5 \text{ Вт/м}^2.$$

Если размер градации скорости ветра превышает 2 м/с, то значение скорости берется по середине градации с округлением до целых в большую сторону. Конкретно, для градаций: 10-13, 14-17, 18-20 и 21-24 м/с принимаемые в расчет скорости составят 12, 16, 19 и 23 м/с соответственно.

Удельная мощность ветрового потока может оцениваться с помощью формулы:

$$N_e = \frac{1}{2} \rho \beta^3 \Gamma\left(\frac{3}{\gamma} + 1\right) \quad (5.25)$$

где $\Gamma\left(\frac{3}{\gamma} + 1\right)$ — гамма-функция.

Как видно из формулы, мощность потока в значительной степени определяется параметром β , который зависит от значения математического ожидания нормы скорости ветра \bar{u} :

$$\beta = \frac{\bar{u}}{\Gamma(1 + 1/\gamma)} \quad (5.26)$$

Математическое ожидание (средневзвешенное значение) представляет собой сумму произведений значений скорости ветра на их вероятность P_i :

$$\bar{u} = \sum_{i=1}^n u_i P_i \quad (5.27)$$

$$\sum_{i=1}^n P_i = 1 \quad (5.28)$$

Параметры распределения Вейбулла связаны со средней скоростью ветра и средним квадратическим отклонением скорости ветра (а значит и с коэффициентом вариации) следующим образом:

γ	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0
v/β	1,00	0,96	0,94	0,92	0,91	0,90	0,90	0,89	0,89	0,89	0,89
σ_v/v	1,00	0,91	0,83	0,78	0,73	0,68	0,64	0,61	0,58	0,56	0,53

Таким образом, зная σ_v и v можно получить значения β и γ

5.5.2.3. Общие закономерности распределения удельной мощности ветрового потока на равнинной территории СНГ

Для мелкомасштабного районирования равнинных территорий по удельной мощности ветрового потока N_e используют данные станций, расположенных в открытой местности на плоских или выпуклых формах рельефа (класс открытости по В. Ю. Милявском от 6б и выше).

Наиболее перспективными районами в ветроэнергетическом отношении (имеется в виду уровень удельной мощности ветрового потока) являются, прежде всего, обширные территории, прилегающие к побережьям северных морей, и участки их акваторий на северо-востоке ЕЧС и в Западной Сибири. Здесь значения N_e достигают 1000—1500 Вт/м² на прибрежных участках морей и островах и 500—1000 Вт/м² на побережье. Кроме того, сюда относятся побережья и прилегающие к ним участки акваторий Азовского и Черного морей, плюс предгорья Северного Кавказа. В зоне лесотундры на Северо-востоке ЕЧС N_e достигает зимой 500 Вт/м². Это дает основание считать данную территорию также перспективной. Районы южнее лесотундры являются «частично перспективными», так как даже зимой значения N_e здесь не превышал 250 Вт/м². К самым неперспективным районам по ветроэнергетическому потенциалу относятся степные и лесостепные участки на юго-западе Сибири, где в среднем за год N_e составляет 100—150 Вт/м². Для севера Коми АССР максимум N_e приходится на середину зимы, а минимум — на лето. На севере Тюменской области годовой максимум N_e заметно растянут по времени от середины осени до первой половины весны.

Практическое значение фоновых карт состоит в том, что они позволяют определить удельную мощность ВЭУ, расположенных на ровной открытой местности (плоские формы рельефа). Если в том же регионе возможно разместить ВЭУ в более благоприятных орографических условиях, где ветроэнергетический потенциал выше, например, на вершине холма или на верхней части наветренных склонов, то в снятые с карт фоновые значения N_e следует ввести поправки, учитывающие влияние форм рельефа.

5.5.2.4. Изменение климатических характеристик ветроэнергетических ресурсов под влиянием неоднородностей подстилающей поверхности.

Известно, что скорость ветра в приземном слое воздуха существенно изменяется на близких расстояниях под влиянием неоднородностей подстилающей поверхности, особенно рельефа и крупных водоемов.

Эта особенность должна учитываться при оценке ветроэнергетических ресурсов территории, поскольку при выборе местоположения для ВЭУ главная задача состоит в том, чтобы свести к минимуму стоимость единицы производимой энергии. Очевидно, что более экономными будут ВЭУ, которые сооружены в пунктах с более высокими скоростями ветра. Определить такие местоположения в районах, где намечено создать ВЭУ, вполне возможно. Разработанные в ГГО методы пространственной интерполяции скорости ветра в условиях неоднородной подстилающей поверхности позволяют с большой точностью прогнозировать пространственные изменения ско-

рости ветра на основе данных метеостанций, морфометрического анализа местности и обобщенных данных о коэффициентах изменения скорости ветра в зависимости от типа местоположения и формы рельефа.

Для целей квалифицированного подбора станций-аналогов создан Код местоположений метеорологических станций, с помощью которого для любой территории могут быть определены станции-аналоги по типу местоположения. В тех случаях, когда станция-аналог в радиусе 50—70 км отсутствует, нужно воспользоваться данными табл. 5.22, в которой представлены коэффициенты изменения скорости ветра для наиболее характерных типов местоположений, встречающихся на территории СНГ (мезоклиматические коэффициенты).

Коэффициенты изменения скорости ветра K_u , равные отношению скоростей ветра в конкретном местоположении и на открытом ровном месте или в широкой (более 4 км) долине, варьируют от $< 0,4$ до $4,0$; т. е. при скорости ветра на ровных участках 4 м/с, скорость ветра на открытых вершинах может достигать 16 м/с, а в замкнутых котловинах - не превышать $1,6$ м/с.

Оценив местоположение метеостанции в исследуемом регионе при отсутствии режимных данных, можно с помощью табл. 5.22 определить скорость ветра в предполагаемом для размещения ВЭУ местоположении.

Например, планируется соорудить ВЭУ в узкой долине, которая ориентирована вдоль направления преобладающих потоков ветра, где $K_u = 1,5—1,8$. Однако ближайшая ГМС находится в такой же узкой, но поперечной долине, там $K_u = 0,6—0,8$. Следовательно, во все данные ГМС необходимо ввести коэффициент $2,5$, чтобы определить характеристики ветра в районе установки ВЭУ.

Для детальных оценок ветрового режима данных о мезоклиматической изменчивости K_u недостаточно, нужно оценить и микроклиматическую изменчивость скорости ветра, поскольку в пределах мезоклиматических типов неоднородностей имеются неоднородности второго го рядка (например, возвышения в долинах, понижения, водоемы и т. п.) которые также влияют на скорость ветра.

Таблица 5.22

Мезоклиматические коэффициенты изменения скорости ветра K_u

Тип местоположения	K_u	
	наименьший	наибольший
Равнины, широкие долины (>4 км)	1,0	1,0
Узкие долины Продольные ¹	1,5	1,8

Продолжение таблицы 5.22

Поперечные ²	0,6 и менее	0,6
Перевалы, седловины, ветропроводящие коридоры	1,8	2,5
Котловины, впадины	0,4	0,9
Склоны Наветренные ¹	1,2	2,0
Подветренные ¹	0,7	0,9
Плато, вершины	2,0	4,0
Острова, побережья	1,5	2,0
Мысы, косы	2,0	3,0
<i>¹Местоположение по отношению к преобладающему направлению ветра.</i>		

В табл. 5.23 приведены K_u , характеризующие микроклиматическую изменчивость скорости ветра. Данные в табл. 5.22 и 5.23 убедительно показывают, что выбор местоположения для ВЭУ с учетом изменчивости скорости ветра в разных типах местоположений и формах рельефа может обеспечить существенное увеличение ветроэнергетического потенциала.

По данным таблиц можно рассчитать, какое увеличение энергии дает $K_u = 1,3—1,5$ при разной скорости ветра. Известно, что в диапазоне скорости ветра 3—7 м/с увеличение ее на 1 м/с дает приращение энергии на 50-100 %.

Таблица 5.23

Микроклиматические коэффициенты изменения скорости ветра K_u и неустойчивой (1-я строка) к устойчивой (2-я строка) стратификации атмосферы

Формы рельефа	Скорость ветра на открытом ровном месте, м/с	
	3-5	6-20
1	2	3
Открытое ровное место	1	1

Вершины с относительным превышением, м		
<50	1,3 - 1,4	1,1- 1,2
	1,6 - 1,7	1,3- 1,4
50-100	1,4 - 1,5	1,2- 1,3
	1,2 - 1,8	1,4- 1,5
100-100	1,5 - 1,7	1,3- 1,4
	1,8 - 2,0	1,3- 1,7
100-300	1,7 - 1,9	1,4- 1,5
	2,0 - 2,2	1,7- 1,9
300-400	1,9 - 2,1	1,5- 1,8
	2,2 - 2,4	1,9-2,1
400-500	2,1 - 2,3	1,8-2,0
	2,4 - 2,6	2,1-2,3
Склоны крутизной 10—20°		
Наветренные		
верхняя часть	1,4- 1,5	1,3- 1,4
	1,6- 1,7	1,5- 1,6
средняя часть	1,2- 1,3	1,1- 1,2
	1,4- 1,6	1,3- 1,4
нижняя часть	1,0- 1,1	0,9- 1,0
	0,8-0,9	0,7-0,8
Подветренные		
верхняя часть	0,9-1,2	0,8-1,1
	1,0-1,3	0,9-1,2
средняя часть	0,7-0,8	0,7
	0,7-0,8	0,7
нижняя часть	0,6-0,7	0,6
	0,7-0,8	0,7
Параллельные ветру		
верхняя часть	1,4- 1,5	1,3-1,4
	1,6-1,7	1,5-1,6
средняя часть	1,2-1,3	1,1-1,2
	1,4-1,6	1,3-1,4
нижняя часть	1,0-1,1	0,9-1,0
	0,8-0,9	0,7-0,8
	1,4- 1,6	1,3-1,5
Склоны крутизной 4-10°		
Наветренные		
верхняя часть	1,2-1,3	1,1-1,2
	1,4-1,6	1,3-1,5
средняя часть	1,0-1,1	1,0-1,1
	1,0-1,1	1,1-1,2
нижняя часть	0,9	0,9-1,0
	0,8-0,9	1,0

Продолжение таблицы 5.23

Подветренные		
верхняя часть	0,8-0,9	0,7-0,8
	0,8-0,9	0,7-0,8
средняя часть	0,8-0,9	0,8-0,9
	0,9-1,0	0,9-1,0
нижняя часть	0,7-0,8	0,7-0,8
	0,8-0,9	0,8-0,9
Параллельные ветру		
верхняя часть	1,1-1,2	1,0-1,1
	1,3-1,4	1,2-1,3
средняя часть	0,9-1,0	0,8-0,9
	1,0-1,1	0,9-1,0
нижняя часть	0,8-0,9	0,7-0,8
	0,9-1,0	0,8-0,9
Возвышения с плоскими вершинами и пологими в верхней части склонами		
вершины, верхние части наветренных и подветренных склонов крутизной 1-3°	1,2-1,4	1,1-1,3
	1,4-1,6	1,4-1,5
средние и нижние части подветренных и параллельных ветру склонов крутизной 4-10°	1,1-1,2	1,1-1,2
	1,1-1,3	1,2-1,3
средние и нижние части подветренных склонов крутизной 4-10°	0,7-0,9	0,8-0,9
	0,9-1,0	0,9-1,0
Долины, лоцины, овраги		
Дно и нижние части		
продуваемых ветром	1,1-1,2	1,2-1,3
	1,3-1,5	1,4-1,5
непродуваемых ветром	0,7-0,8	0,7-0,8
	0,6 и менее	0,6 и менее
замкнутых	0,6 и менее	0,6 и менее
	0,6 и менее	0,6 и менее
Средние и верхние части		
продуваемых ветром	1,2-1,3	1,1-1,2
	1,4-1,5	1,3-1,5
непродуваемых ветром	0,8-0,9	0,8-0,9
	0,6-0,7	0,6-0,7
замкнутых	0,6 и менее	0,6 и менее

Таблица 5.24

Влияние скорости ветра на удельную мощность (кВт) ВЭУ

D м	Скорость ветра, м/с			
	4,5	9,0	13,5	18
15	14,4	35	119	283
30	18	140	470	1120

Таблица 5.25

Мезоклиматическая изменчивость удельной мощности ветрового потока (кВт/м²) в зависимости от типа местоположения при различной скорости ветра на открытом ровном месте

Тип местоположения	Скорость ветра, м/с		
	4	6	9
Равнины, широкие долины	0,04	0,13	0,44
Узкие долины			
продольные	0,13-0,22	0,44-0,76	1,28-2,55
поперечные	0,01-0,02	0,03-0,07	0,09-0,22
Перевалы, седловины	до 0,21	до 1,00	до 3,50
ветропроводящие коридоры			
Котловины, впадины	0,00-0,04	0,01-0,13	0,03-0,44
Склоны	до 0,31	до 1,04	до 3,50
Плато, вершины	0,31-2,46	1,04-8,29	3,50-28,00
Острова, побережья	0,13 и более	0,44 и более	1,48 и более

На основании вышеизложенного можно утверждать, что при оценке ветроэнергетических ресурсов регионов необходимо учитывать изменения скорости ветра на близких расстояниях. Такие оценки должны производиться на стадии проектирования ВЭУ.

Выбор местоположений с наибольшими скоростями ветра для сооружения ВЭУ средней и малой мощности способствует достижению минимальной стоимости единицы производимой энергии. Для оценки изменения ветроэнергетических ресурсов в зависимости от типа местоположения и формы рельефа можно рассчитать различные характеристики ВЭР, например удельную мощность ветрового потока. Учет микроклиматической изменчивости ВЭР экономически оправдан.

В табл. 5.26 разнообразные формы рельефа объединены в пять групп. Каждая группа характеризуется сходными условиями ветрового режима; удельная мощность ветрового потока различается так же несущественно. Значения N_e в каждой графе табл. 5.26 охватывают весь диапазон изменений.

Таблица 5.26

Микроклиматическая изменчивость N_e (кВт/м) в зависимости от формы рельефа при различной скорости ветра на открытом ровном месте при неустойчивой (1-я строка) и устойчивой (2-я строка) стратификации атмосферы

Форма рельефа	Скорость ветра, м/с		
	4	6	9
1. Ровные участки, нижние части наветренных и параллельных ветру склонов крутизной 10-20°, верхние части подветренных склонов крутизной 10-20°, средние и нижние части наветренных и параллельных ветру склонов крутизной 4-10°	0,03-0,04	0,07-0,13	0,32-0,44
	0,03-0,06	0,07-0,17	0,32-0,58
2. Вершины ($\Delta h < 100\text{м}$)* верхние части подветренных и параллельных ветру склонов крутизной 10-20°	0,10-0,13	0,22-0,28	0,76-0,96
	0,10-0,22	0,36-0,44	1,20-1,48
3. Средние части наветренных и параллельных ветру склонов крутизной 10-20°, верхние части наветренных и параллельных ветру склонов крутизной 4-10°, плоские вершины и верхние части наветренных и подветренных, склонов крутизной 1-5° дно и склоны долин, лощин, оврагов, продуваемых ветром	0,07-0,10	0,13-0,17	0,58-0,76
	0,13-0,16	0,20-0,36	0,96-1,20
4. Средние и нижние части подветренных склонов крутизной 10-20°, верхние, средние и нижние части подветренных склонов крутизной 4-10°, дно и нижние части склонов долин, лощин, оврагов, продуваемых ветром	0,03 и менее	0,07 и менее	0,32 и менее
	0,04 и менее	0,09 и менее	0,22 и менее
5. Дно и нижние части склонов долин, лощин, оврагов, котловин, непродуваемых ветром	0,02 и менее		
	0,03 и менее		

* Δh — относительное превышение.

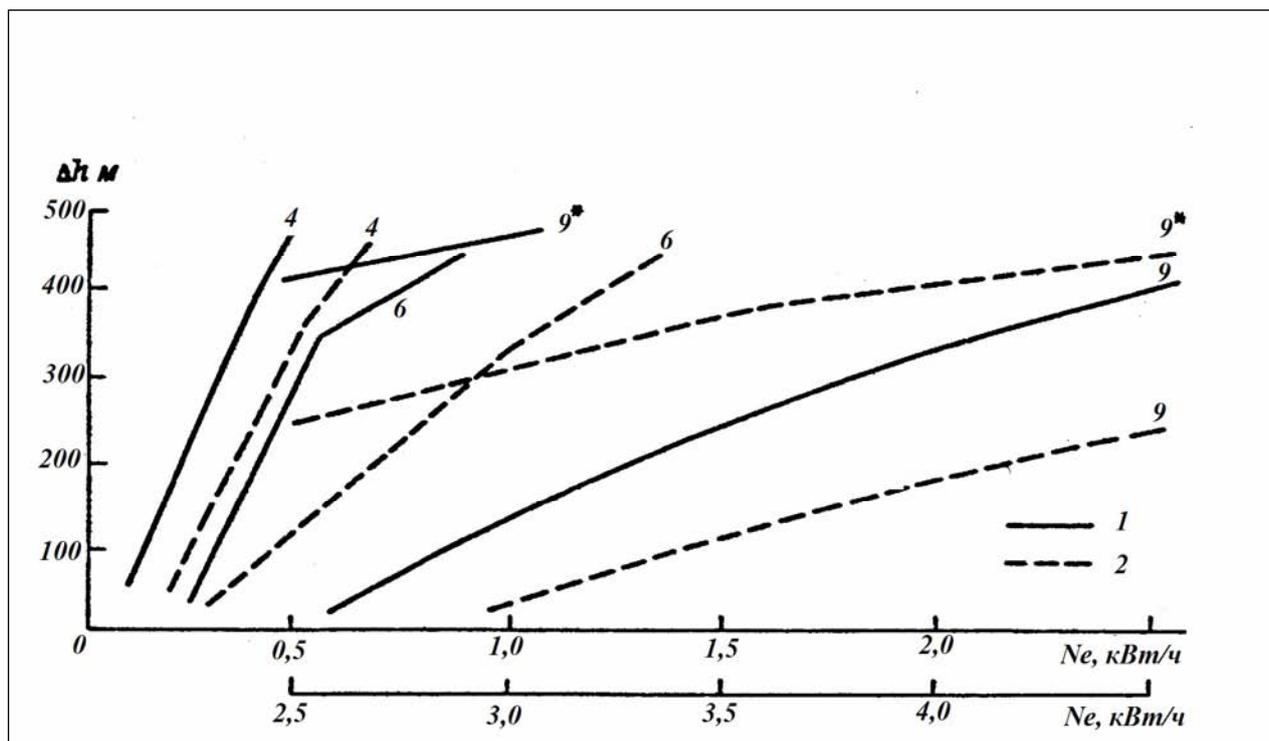


Рис. 5.8. Изменение удельной мощности ветрового потока N_e на открытых вершинах в зависимости от их относительного превышения Δh и скорости ветра на ровных участках (или в широких долинах).

Состояние атмосферы: 1) неустойчивое, 2) устойчивое.

Данные, относящиеся ко второй шкале (нижней) N_e отмечены звездочкой.

Как видно из данной таблицы, экономически наиболее выгодно размещать ВЭУ в местоположениях, входящих во вторую и третью группу. Удельная мощность ветрового потока здесь превосходит N_e на равнинных участках в несколько раз. Местоположения, входящие в четвертую и пятую группу, непригодны для сооружения ВЭУ, экономически не оправданы, поскольку значения N_e здесь наименьшие.

Наибольшая удельная мощность ветрового потока наблюдается на вершинах, N_e возрастает по мере увеличения относительных превышений Δh (рис.5.8.).

При увеличении Δh от 50 до 500 м N_e возрастает в 4-5 раз. Причем, это увеличение (ΔN_e) существенно зависит от значений скорости ветра. Так, в случае неустойчивого состояния атмосферы при скорости ветра 4 м/с ΔN_e составляет 0,37 кВт/м², при скорости 6 м/с - 0,6 кВт/м², при 9 м/с — 3 кВт/м². Если состояние атмосферы устойчивое, то ΔN_e больше: 0,46, 1,08 и 3,700 кВт/м² при скорости ветра 4, 6 и 9 м/с соответственно.

Изменение удельной мощности ветрового потока на каждые 100 м высоты (градиент N_e) зависит, естественно, от скорости потока, от устойчивости атмосферы и относительного превышения (табл. 5.27).

Следует подчеркнуть, что учет пространственной изменчивости климатических характеристик ветроэнергетических ресурсов, обусловленной неоднородностями подстилающей поверхности разных масштабов, необходимо производить на стадии проектирования ВЭУ, поскольку изменение и энергии, и мощности ветрового потока вследствие этих причин чрезвычайно велико.

Таблица 5.27

Изменение градиента N_e в зависимости от скорости ветрового потока (u) и относительного превышения местности (Δh) при неустойчивом (1) и устойчивом (2) состоянии атмосферы

u, м/с	Δh , м	N _e . Вт/м ² на 1000 м	
		1	2
4	<300	60-70	<100
	>300	100-110	170
6	<300	110-176	60-90
	>300	280-340	>200
9	50-100	180	240
	400-500	900	1150

5.5.2.5. Оценка выработки электроэнергии ВЭУ в конкретных условиях местности

Поскольку ВЭУ имеют ограниченный с обеих сторон диапазон „энергo-активной“ (рабочей) скорости ветра, практически используемая часть удельной мощности ВЭУ может быть оценена по формуле

$$N_{\text{НОМ}} = \int_{u_{\text{min}}}^{u_{\text{НОМ}}} u^3 f(u) du + u_{\text{НОМ}}^3 \int_{u_{\text{НОМ}}}^{u_{\text{max}}} f(u) du \quad (5.29)$$

Для определения ожидаемой выработки электроэнергии в конкретном местоположении необходимо располагать данными о распределении скорости ветра по градациям $f(u)$. Учитывая изменчивость скорости ветра во времени, для получения достоверных данных о повторяемости $f(u)$ необходимо иметь ряд наблюдений за период не менее 10 лет по флюгеру или анеморумбометру. Недостатком наземных наблюдений за ветром является существенная их зависимость от степени защищенности метеостанции. Практически наблюдения за ветром на метеостанциях характеризуют условия ветрового режима на самой станции, а не того

района, где предполагается устанавливать ВЭУ. Поэтому для того чтобы получить расчетные значения скорости ветра у земли лучше использовать данные радиозондовых измерений на различных высотах нижнего слоя атмосферы при условии их достоверности и репрезентативности. Преимущество такого подхода заключается в том, что здесь используются данные о скорости ветра на высотах, где влияние рельефа и прочих неоднородностей подстилающей поверхности не существенно.

При разработке атласа ВЭР Западной Европы в его основу были положены данные наблюдений за скоростью ветра на метеостанциях с высоким классом открытости (в частности, расположенных в аэропортах), по которым определялась скорость геострофического ветра. Из опыта известно, что расчетные значения геострофического ветра примерно соответствуют скорости ветра на уровне 1 км над землей.

В табл. 5.28 показана степень влияния различных типов местоположений на выработку энергии ВЭУ, расположенной на высоте 50 м над землей. Параметр шероховатости z_0 характеризует степень расчлененности местности непосредственно вблизи пункта измерений.

В атласе ВЭР Дании приведены карты режимных характеристик ветра, по которым можно определить параметры β и γ в уравнении Вейбулла — Гудрича и тем самым узнать плотность распределения скорости ветра (повторяемость по градациям) в зависимости от высоты (до 200 м), направления ветра и типа местности. Кроме того, если известна кривая мощности ветроагрегата, по этим параметрам можно рассчитать ожидаемую выработку энергии.

Таблица 5.28

Влияние типа местности на выработку электроэнергии ВЭУ

Тип местоположения	Z_0 , см	Относительная выработка электроэнергии
Открытая водная поверхность	0,1	10
Открытая ровная сельская местность с небольшим числом кустов, деревьев и строений	1-3	7
Поле с постройками и зданиями на расстоянии более 1 км друг от друга	5-10	5
Застроенные площади, лесные полосы и сельская местность с элементами защищенности	30-40	3

Для того, чтобы оценить ветроэнергетический потенциал различных местоположений на основе высотной информации, используются данные о скорости ветра на уровне 100 м над земной поверхностью, например, данные радио-ветрового зондирования или данные измерений на высотных мачтах и башнях. Выбор высоты 100 м в качестве исходной обусловлен тем, что распределение скорости ветра на этом уровне для большей части территории (по данным исследований в НПО „Ветроэн“) может быть представлено одной кривой, построенной в безразмерных координатах.

Анализ данных радиозондовых измерений скорости ветра в приземном слое атмосферы и их представление в координатах $\delta f(u)$ и $z = \frac{u - \bar{u}}{\sigma}$ дает возможность получить в первом приближении два вида распределения скорости ветра. Одно из них является унифицированным (единым) для ЕТР, Казахстана, Средней Азии, Западной Сибири и Восточной Сибири, другое - для региона Дальнего Востока.

Для расчета выработки энергии ВЭУ в конкретном пункте на заданной высоте необходимо в значение скорости ветра на уровне 100 м ввести поправку на уменьшение $\bar{u}(z)$, приведя ее к высоте оси ветроколеса, с учетом рельефа и климатических условий местности. Открытость метеостанции определяется на основе классификации Милевского по масштабу класса открытости (табл. 5.29).

В практике работ НПО „Ветроэн“ для оценки выработки электроэнергии использовались данные о режиме скорости ветра на метеостанциях СНГ, полученные в ГГО им. А. И. Воейкова. Использовались многолетние ряды измерений скорости ветра на метеостанциях с классом открытости не менее ба—бб, причем параметры β и γ в уравнении Вейбулла—Гудрича определялись путем аппроксимации кривых повторяемости скоростей на специальной клетчатке.

Полученные таким образом значения β и γ были разнесены по выделенным масштабам и затем вычислялись осредненные по масштабам $\bar{\beta}$ и $\bar{\gamma}$. Далее по осредненным параметрам $\bar{\beta}$ и $\bar{\gamma}$ для каждого разряда рассчитывался ветроэнергетический потенциал, характеризуемый относительной величиной K . Считается, что для наивысшего класса открытости ($M = 23$, класс по шкале Милевского 12а) влияние элементов защищенности отсутствует; указанному масштабу соответствует наибольший уровень ветроэнергетического потенциала $K = 1$ (рис. 5.9.).

Таблица 5.29

Определение масштаба класса открытости М по шкале Милевского

№№	Шкала Милевского	М	№№	Шкала Милевского	М	№№	Шкала Милевского	М
1	12а	23	10	8а	14	19	5б	5
2	11а	22	11	8б	13	20	5в	4
3	11б	21	12	8в	12	21	4а	3
4	10а	20	13	7а	11	22	4б	2
5	10б	19	14	7б	10	23	4γ	1
6	10в	18	15	7в	9			
7	9а	17	16	6а	8			
8	9б	16	17	6б	7			
9	9в	15	18	6в	6			

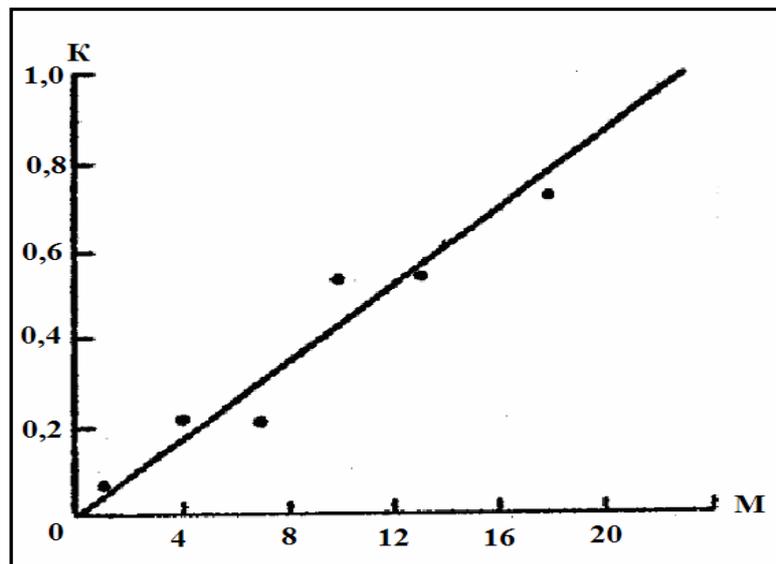


Рис. 5.9. Зависимость относительного ветроэнергетического потенциала К от масштаба открытости М.

5.5.2.6. Методика перехода от удельной мощности ветрового потока на высоте 10 м к мощности на уровне ветроколеса

Данная методика основана на оценке изменчивости средних сезонных скоростей ветра на различных высотах 100-метрового слоя атмосферы над регионами ЕЧС, равнинной части Казахстана, степной и лесостепной частью Западной Сибири. Основным фактором пространственной изменчивости вертикальных профилей N_e является степень защищенности местности, в отличие от скорости ветра у земли и условий температурной стратификации, влияние которых незначительно.

Изменение N_e с высотой в 100-метровом слое оценивается степенной функцией:

$$\frac{N_{e(z)}}{N_{e(10)}} = \left(\frac{z}{10}\right)^{3m} \quad (5.30)$$

где m — переменный показатель степени, зависящий от сезона года (табл.5.30).

Приведенные в табл. 5.30 значения параметра m и коэффициента возрастания скорости ветра с высотой являются унифицированными для следующих регионов: степей юга ЕЧС и Западной Сибири, тундровой зоны ЕЧС и Западной Сибири, степей и полупустынь Казахстана. Они рассчитаны для условий плоского рельефа. Для побережий озер и морей, а также верхних частей склонов возвышенностей и их вершин переменную (стоящую после запятой) часть коэффициента возрастания необходимо уменьшить в 1,5 раза. Например, если для типового профиля ветра над ровной местностью в апреле на высоте 100 м над землей коэффициент равен 1,66, то на той же высоте над верхней частью склона он составляет 1,44.

Таблица 5.30

Коэффициент возрастания скорости ветра с высотой в нижнем 100-метровом слое атмосферы. Ровная, открытая местность.

Сезон	10 м	20 м	40 м	60 м	80 м	100 м	m
Зима	1	1,12	1,26	1,35	1,43	1,50	0,17
Весна	1	1,17	1,36	1,50	1,59	1,6,6	0,22
Лето	1	1,18	1,40	1,55	1,67	1,76	0,24
Осень	1	1,12	1,26	1,35	1,43	1,50	0,17
Год	1	1,15	1,32	1,44	1,53	1,60	0,20

Поскольку высота конструкций и элементов ВЭУ обычно не превышает 10 м, важно знать переход от характеристик ветровых профилей в слое атмосферы выше стандартного уровня наблюдений (10 м) к характеристикам ветра в слое ниже 10м.

На рис. 5.10. видно, что при скорости ветра более 4 м/с на стандартном уровне (10 м) значения параметра m в различных слоях атмосферы (выше и ниже 10м) близки между собой. При малой скорости ветра различия существенны. Это объясняется тем, что в слое атмосферы 2—10 м связь со скоростью ветра на уровне 10 м линейная, а в слое 10—100 м — криволинейная.

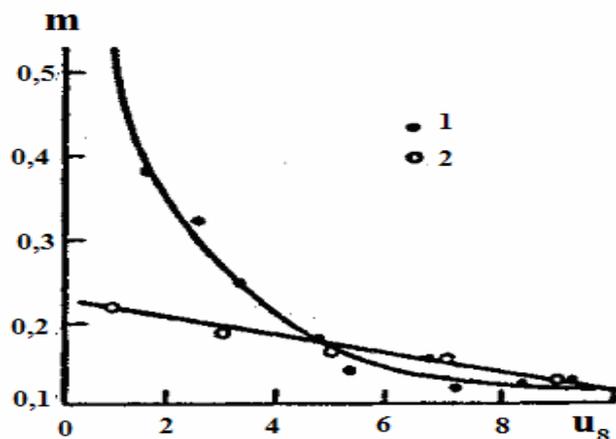


Рис. 5.10. Зависимость m от u_g для слоев атмосферы 10—121 м (1) и 2—10 м (2).

Приведенные в табл. 5.30 оценки вертикального изменения удельной мощности ветрового потока справедливы для условий равнинной местности. К местностям подобного типа относятся степь, тундра, пустыня, открытые побережья акваторий. Оценки будут иными, если местность неоднородна. Это, например, окраины городов, открытые пространства, перемежающиеся лесными массивами или городской застройкой.

Данные, полученные в Институте экспериментальной метеорологии (ИЭМ) на основе измерений скорости ветра на высотной мачте, показывают, что значение параметра m в формуле (5.30) варьирует в зависимости от направления ветра в значительных пределах. По отношению к m , определенному без учета направления ветра, т. е. по генеральной совокупности измерений, стандарт отклонения указанного параметра для отдельных румбов равен 0,15—0,30 самого значения m . Из этого следует, что в условиях неоднородного рельефа для более точного учета вертикального изменения K_0 параметр m требуется определять для каждого из восьми основных румбов и в дальнейших расчетах основываться уже на эмпирически определенных значениях. Такое определение возможно, если поблизости имеется пункт, где ведутся аэрологические измерения ветра, или высотная мачта, на которой проводятся градиентные измерения. При отсутствии таковых следует пользоваться осредненными коэффициентами возрастания N_e с высотой.

5.5.2.7. Конструирование и защита ВЭУ

Конструирование ВЭУ, включающее расчеты на прочность и устойчивость к воздействиям ветра, опирается на показатели давления ветра на различных уровнях над поверхностью, коэффициент порывистости ветра и квантили гололедно-изморозевых отложений на поверхности опор и лопастей ВЭУ.

Методика расчета значений давления ветра, возможных 1 раз в 5, 10, 15, 20 и т.д. лет изложена подробно в “Рекомендациях по расчету специализированных климатических характеристик”. Так как на высотах более 10 метров (вплоть до 500 м), где располагаются лопасти ВЭУ, число наблюдений невелико, скорость ветра, возможную 1 раз в n лет (обычно n принимают равным 20 лет), определяют косвенным способом, вводя в значение скорости ветра у земли коэффициент на высоту над поверхностью земли. Коэффициент порывистости ветра, определяемый по формуле

$$K = u_{\text{max}} / \bar{u}_{\text{cp}},$$

можно найти в Научно-прикладном справочнике по климату СССР, часть 7.

Наиболее трудной задачей является определение возможного обледенения лопастей ВЭУ. Наибольшей опасности обледенения подвергаются сравнительно небольшие ВЭУ, расположенные в нижнем 20-метровом слое атмосферы (ВЭУ-4, ВЭУ-6, ВЭУ-12). На лопастях этих ВЭУ происходит образование зернистой изморози из переохлажденных капель туманов.

Лопастей ветроколеса подвержены двойному воздействию переохлажденной влаги тумана. С одной стороны, они обледеневают за счет линейной скорости вращения лопасти, различной на разном удалении от оси вращения ветроколеса, с другой - за счет набегающего ветрового потока на вращающиеся лопасти. Естественно, что за счет неодинаковой линейной скорости на разных участках пера лопасти, интенсивность гололедообразования на передней кромке вращения будет неодинаковой (см. таблицу 5.31).

Таблица 5.31

Расчетные (числитель) и минимальные (знаменатель) значения линейной скорости (м/с) вращающейся лопасти ветроколеса различных типов ВЭУ на расстоянии от оси вращения

Тип ВЭУ	Диаметр ветроколеса, м	u_p м/с	n_p об/мин	u_{min} м/с	n_{min} об/мин	Расстояние от оси вращения, м								
						0,3	0,55	0,9	1,0	1,5	2	3	4	6
ВЭУ-4	4	6-8	320-360	4	160	<u>10</u>	<u>20</u>	<u>32</u>	<u>36</u>	<u>53</u>	<u>71</u>			
					- 180	5	10	16	18	26	35			
ВЭУ-6	6	10	250	4	108		<u>13</u> 6	<u>22</u> 11	<u>24</u> 12	<u>36</u> 18	<u>48</u> 24	<u>72</u> 36		
ВЭУ-12	12	10	98	5	49			<u>9</u> 5	<u>10</u> 5	<u>15</u> 8	<u>20</u> 10	<u>31</u> 15	<u>41</u> 20	<u>61</u> 30

В таблице 5.31: u_p - расчетная скорость ветра, при которой ветроколесо совершает расчетное (максимальное) число оборотов n_p ; u_{min} - минимальная скорость ветра соответствующая минимальному обороту ветроколеса n_{min} , при котором еще возможно использование ВЭУ. В числителе и знаменателе даны линейные скорости вращения фиксированных точек на вращающейся лопасти соответственно при u_p и u_{min} .

Основой для расчета обледенения лопастей ВЭУ служит формула, предложенная И. П. Мазиным для обледенения плоскостей самолета. Интенсивность гололедообразования определяется выражением:

$$J = 3,6 \tilde{E} \beta_n \cdot u \cdot \frac{1}{\rho} \cdot W \cdot R \cdot 10^{-3} \quad (5.31)$$

где:

\tilde{E} - полный интегральный коэффициент захвата, определяющий, какая часть переносимой влаги осаждается на препятствии;

β_n - коэффициент намерзания, показывающий какая часть осевшей влаги замерзла;

u - скорость ветра, в данном случае - линейная скорость вращающейся точки, м/с;

ρ - плотность образующегося осадка, г/см³;

W - водность облаков или тумана, г/м³;

R - характерный размер препятствия, равный половине ширины этого препятствия, т.е. лопасти ветроколеса.

Расчеты обледенения рекомендуется осуществлять при значениях плотности зернистой изморози от 0,15 до 0,20 г/см³.

В таблицах 5.32 и 5.33 указаны значения интенсивности гололедных образований I мм/час по ширине пера лопастей и изменение J мм/час по длине пера лопасти для трех выбранных ВЭУ.

Таблица 5.32

Интенсивность гололедообразования J , мм/час

$W, \text{ г/м}^3$	$u, \text{ м/с}$						
	4	7	10	12	16	20	24
ВЭУ -4							
0,03	0,003	0,01	0,02	0,03	0,05	0,07	0,1
0,1	0,01	0,03	0,06	0,09	0,15	0,24	0,32
0,2	0,02	0,07	0,13	0,17	0,31	0,48	0,63
ВЭУ - 6							
0,03	0	0	0,01	0,02	0,04	0,06	0,09
0,1	0	0	0,04	0,05	0,13	0,20	0,29
0,2	0	0	0,08	0,1	0,26	0,41	0,59

Продолжение таблицы 5.32

ВЭУ -12							
0,03			0,01	0,03	0,04	0,06	0,13
0,1			0,04	0,08	0,11	0,21	0,42
0,2			0,07	0,17	0,22	0,42	0,84

Таблица 5.33

Изменение интенсивности гололедообразования J , мм/час (расчетная и минимальная) по длине пера лопасти ветроколеса (передняя кромка)

W г/м ³	Расстояние от оси вращения ветроколеса, м										
	0,3	0,55	0,9	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0
ВЭУ -4											
0,03	0,02	0,05	-	0,11	0,20	0,30					
0,1	0,05	0,15	0,31	0,38	0,68	0,98					
0,2	0,10	0,30	0,63	0,76	1,36	1,96					
0,03	0,01	0,02	0,03	0,04	0,07	0,11					
0,1	0,02	0,05	0,11	0,13	0,23	0,36					
0,2	0,04	0,10	0,23	0,26	0,46	0,72					
ВЭУ - 6											
0,03		0,04	0,08	0,09	0,19	0,33	0,47	0,62			
0,1		0,12	0,27	0,30	0,64	1,09	1,57	2,08			
0,2		0,24	0,54	0,62	1,28	2,17	3,13	4,16			
0,03		0,01	0,03	0,03	0,06	0,09	0,14	0,20			
0,1		0,03	0,09	0,11	0,19	0,31	0,47	0,65			
0,2		0,05	0,18	0,22	0,39	0,62	0,94	1,30			
ВЭУ -12											
0,03			0,02	0,02	0,05	0,08	0,13	0,18	0,32	0,49	0,70
0,1			0,06	0,07	0,16	0,26	0,41	0,61	1,06	1,62	2,34
0,2			0,12	0,14	0,32	0,53	0,84	1,23	2,12	3,24	4,69
0,03			0,01	0,01	0,01	0,02	0,04	0,05	0,08	0,13	0,18
0,1			0,02	0,02	0,04	0,07	0,13	0,16	0,26	0,42	0,59
0,2			0,03	0,03	0,09	0,14	0,25	0,32	0,53	0,84	1,19

Водность тумана W зависит от температуры воздуха и интенсивности тумана. Ниже приведены экстремальные значения водности тумана различной интенсивности:

Туман	Слабый	Умеренный	Сильный
W г/м ³	0,02 - 0,04	0,05 - 0,11	0,08 - 0,37

Водность туманов растет с повышением температуры воздуха:

Температура °С	- 15	- 10	- 5	- 3
W г/м ³	0,04 - 0,11	0,08 - 0,15	0,13 - 0,24	0,17 - 0,35

Зная интенсивность и возможную продолжительность обледенения, легко определить толщину отложения зернистой изморози по всей длине лопасти ветроколеса, b

$$b = J \cdot \tau,$$

где τ - продолжительность обледенения, рассчитываемая по наблюдениям на гололедном станке.

В проектных расчетах используются годовые максимумы продолжительности обледенения, возможные 1 раз в n лет.

Вводя в значение b , среднее значение зернистой изморози, $g = 0,15$ г/см³, можно рассчитать массу отложений. В таблице 5.34 приведены примеры расчетных значений гололедной нагрузки для ВЭУ-4 при слабом, умеренном и сильном ветре:

Таблица 5.34

Вероятностные значения гололедных нагрузок на перо лопасти ветроколеса ВЭУ-4 с периодом повторения 1 раз в 10 лет.

Станция	W , г/м ³	P_1 , кг	P_2 , кг	P_3 , кг
	0,03	0,26	0,13	0,39
Нарьян-Мар	0,1	0,76	0,44	1,20
	0,2	1,53	0,87	2,40
	0,03	0,27	0,15	0,42
Ай-Петри	0,1	0,89	0,51	1,40
	0,2	1,77	1,01	2,78

Примечание: здесь P_1 - масса отложения на передней кромке вращающегося ветроколеса; P_2 - масса отложения по ширине пера мощности ветроколеса; P_3 - суммарная гололедная нагрузка на перо лопасти.

5.5.3. Малая гидроэнергетика

К малым ГЭС условно относят гидроэнергетические агрегаты мощностью от 100 кВт до 10 МВт. Меньшие агрегаты относятся к категории микро-ГЭС. Малая гидроэнергетика за последние десятилетия заняла устойчивое положение в электроэнергетике многих стран мира. Создание малых ГЭС как

автономных источников электроэнергии в сельской местности имеет огромное социальное значение. При сравнительно низкой стоимости установленного киловатта и коротком инвестиционном цикле малые ГЭС позволяют дать электроэнергию удаленным от сетей поселениям. В России энергетический потенциал малых рек очень велик. Число малых рек превышает 2,5 млн., их суммарный сток превышает 1000 км³ в год. Сегодняшними доступными средствами на малых ГЭС в России можно производить около 500 млрд. кВтч электроэнергии в год. Особенно привлекательно создание малых ГЭС на базе ранее существовавших, где сохранились гидротехнические сооружения. Сегодня их можно реконструировать и технически перевооружить. Целесообразно использовать в энергетических целях и существующие малые водохранилища, которых в России более 1000.

Гидроагрегат малой ГЭС (МГЭС) состоит из турбины, генератора и системы автоматического управления. По характеру используемых гидроресурсов МГЭС можно разделить на следующие категории: новые русловые или приплотинные станции с небольшими водохранилищами; станции, использующие скоростную энергию свободного течения рек; станции, использующие существующие перепады уровней воды в самых различных объектах водного хозяйства - от судоходных сооружений до водоочистных комплексов (сейчас уже существует опыт использования питьевых водоводов, а также промышленных и канализационных стоков). Основные ресурсы малой гидроэнергетики в России сосредоточены на Северном Кавказе, на Дальнем Востоке, на Северо-западе (Архангельск, Мурманск, Калининград, Карелия), на Алтае, в Туве, в Якутии и в Тюменской области.

Микро-ГЭС (мощностью до 100 кВт) можно установить практически в любом месте. Гидроагрегат состоит из энергоблока, водозаборного устройства и устройства автоматического регулирования. Используются микро-ГЭС как источники электроэнергии для дачных поселков, фермерских хозяйств, хуторов, а также для небольших производств в труднодоступных районах - там, где прокладывать энергетические сети невыгодно. В зависимости от климатических, гидрологических и географических условий района, где находится потребитель электроэнергии, а также от схемы электроснабжения населенного пункта тип выбираемой микро-ГЭС может варьироваться.

При выполнении водно-энергетических расчетов для малых ГЭС следует применять те же специализированные климатические характеристики, которые используются при проектировании любых ГЭС. Однако, учитывая, что нормальное функционирование малых ГЭС зависит от климатических условий еще в большей степени, чем ГЭС на крупных реках, необходимо большее

внимание уделить параметрам, характеризующим изменчивость климатического режима данной местности, в частности, коэффициентам вариации месячных и суточных норм осадков.

Понятно, что большая изменчивость сумм осадков может значительно осложнить работу малой ГЭС. Ведь даже относительно небольшое изменение притока воды может вызвать значительное повышение или понижение уровня малой реки, что приведет к нарушению нормальной работы ГЭС.

5.5.4. Тепловые насосы

Тепловые насосы являются относительно новым техническим средством, при помощи которого можно использовать низко потенциальное тепло земли практически на любой территории. Большое число таких систем функционируют в США, Канаде и странах центральной и Северной Европы. Швейцария лидирует по величине использования низкопотенциальной тепловой энергии земли на душу населения. В России пока построены лишь единичные объекты.

Принцип работы теплового насоса аналогичен принципу действия холодильника. Основная часть тепловых насосов состоит из трех основных агрегатов: теплообменника (испарителя), компрессора, повышающего давление, и конденсатора. Эти агрегаты связаны между собой замкнутым трубопроводом. В системе трубопровода циркулирует хладагент, который в одной части цикла представляет собой жидкость, а в другой – газ. Этот хладагент переносит тепло из одной части системы в другую, переходя в различные агрегатные состояния. Источником тепла может выступать скалистая порода, земля (грунт). Трубопровод, в котором циркулирует теплоноситель, опускается в скважины, пробуренные в земле на глубину от 15 до 30 метров. В буровую скважину устанавливают трубопровод, имеющий форму буквы «U». При этом коллектор, объединяющий трубопроводы зарывают в землю ниже уровня промерзания почвы, на глубину около 1 м. (при минимальном расстоянии между соседними трубопроводами – 0,8–1 м). Никакой специальной подготовки почвы при этом не требуется.

Тепловой насос позволяет осуществить процесс отопления без загрязнения окружающей среды вредными выбросами и чрезмерного потребления природных ресурсов, одновременно ощутимо уменьшая денежные затраты.

Основными специализированными климатическими характеристиками для работы тепловых насосов являются расчетные теплотери здания и глубина промерзания почвы.

Данные о теплотерях здания необходимы для того, чтобы выбрать оптимальный тип и мощность теплового насоса. При расчете теплотерь

учитываются основные параметры здания, температура воздуха внутри здания и параметры наружного воздуха (температура, ветер, радиация).

Так как все составные части земляных контуров системы теплового насоса должны устанавливаться на глубину ниже слоя промерзания, то необходимо знать глубину этого слоя для каждого района.

При выборе типа теплового насоса определяются высота, ширина и площадь крыши, стен и окон для каждой из четырех сторон в пространстве (С, С-В; В, Ю-В; Ю-ЮЗ; З, С-З). Затем производится расчет суммарных теплотерь с учетом добавочных коэффициентов и температуры внутри и снаружи здания.

В качестве примера приведен расчет потерь тепла для стандартного дома при температуре наружного воздуха -22 и -11°C (табл. 5.35).

Так как выбор системы вида теплового насоса произведен согласно методике одного из основных производителей тепловых насосов - компании ECR Technologies Inc., то в примере использована американская система определения мощности: 1 ton = 12 000 BTU = 3,5 кВт

Таблица 5.35

Расчет потерь тепла при наружной температуре -22°C

	S	k	T1,°C	T2,°C	T1-T2	K2	K3	Q
Стены	152,7	0,3	22	-22	44	1,1	1,03	2855
Окна	36,3	1,8	22	-22	44	1,1	1	3952
Пол	200,0			-22				1000
Крыша	105,0	0,25	22	-22	44	1,1	1	1588
					Итого Вт			9395
					Итого, BTU			32064

Расчет потерь тепла при наружной температуре -11°C

	S	k	T1,°C	T2,°C	T1-T2	K2	K3	Q
Стены	152,7	0,3	22	-11	33	1,1	1,03	2141
Окна	36,3	1,8	22	-11	33	1,1	1	2964
Пол	200,0			-11				1000
Крыша	105,0	0,25	22	-11	33	1,1	1	1191
					Итого Вт			7296
					Итого, BTU			24901

При выборе земляного контура находятся наиболее близкие значения теплотерия здания (в ВТУ) к данным таблицы 5.36. Таким образом, определяется необходимая мощность теплового насоса и тип земляного контура для конкретного здания.

Таблица 5.36

Таблица выбора земляного контура

Свойства			Тип земляного контура											
			D4, V4			H5			D3, V3, V1.5, H1.5			H1		
кВт	ton	F°/C°	btu	кВт	КПД	btu	кВт	КПД	btu	кВт	КПД	btu	кВт	КПД
8,8	2,5	65/18	26650	7,8	4,0	24784	7,3	3,8	24251	7,1	3,7	22652	6,6	3,4
		13/-11	18990	5,6	3,7	17660	5,2	3,4	17281	5,1	3,3	16141	4,7	3,1
10,6	3	65/18	35885	10,5	4,1	33373	9,8	3,8	32656	9,6	3,7	30502	8,9	3,5
		13/-11	25591	7,5	3,7	23800	7,0	3,5	23288	6,8	3,4	21752	6,4	3,2
14,1	4	65/18	47695	14,0	4,1	44357	13,0	3,8	43403	12,7	3,7	40541	11,9	3,5
		13/-11	33993	10,0	3,7	31614	9,3	3,4	30934	9,1	3,4	28894	8,5	3,1
17,6	5	65/18	59835	17,5	4,2	55647	16,3	4,0	54450	16,0	3,9	50860	14,9	3,6
		13/-11	42283	12,4	4,0	39323	11,5	3,7	38477	11,3	3,7	35940	10,5	3,4
21,1	6	65/18	74704	21,9	4,2	69475	20,4	3,9	67981	19,9	3,9	63499	18,6	3,6
		13/-11	52832	15,5	3,9	49133	14,4	3,7	48077	14,1	3,6	44907	13,2	3,4

Выбранная система					
кВт	ton	F°/C°	btu	кВт	КПД
11	3	65/18	32656	9,6	3,70
		13/-11	23288	6,8	3,40
Расчетные теплотерии					
		-22	32064	9395	
		-11	24901	7296	

После этого по графику (рис.5.11) находится точка баланса системы. Точка баланса показывает, при какой температуре наружного воздуха теплотерии дома равны производительности теплового насоса.

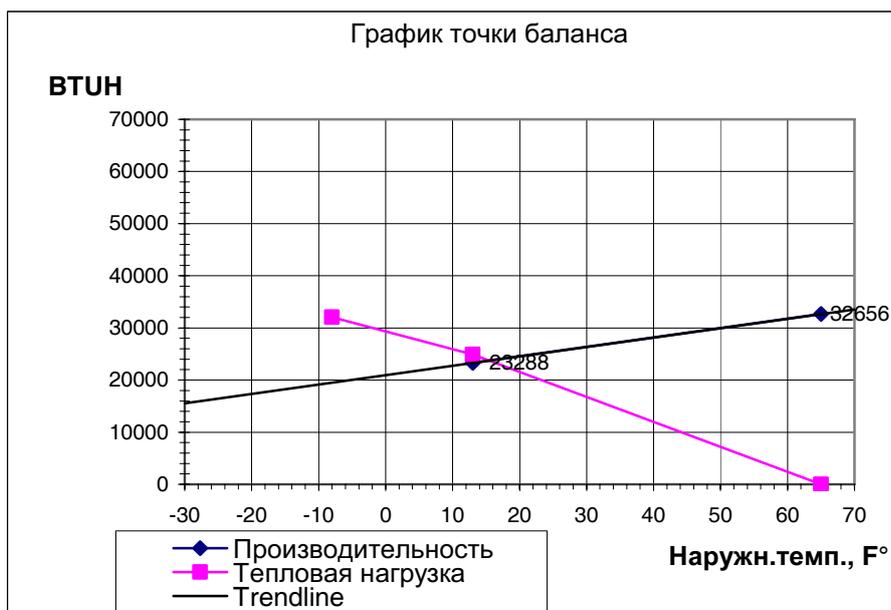


Рис.5.11. Определение точки баланса системы

Если температура воздуха опускается ниже этой точки, то тепловой насос автоматически потребляет дополнительную электроэнергию, которая идет на работу электрического тэна, который входит в комплект теплового насоса, т.е. система продолжает вырабатывать постоянное количество тепла, но потребляет при этом дополнительное количество электроэнергии (табл. 5.37).

Таблица 5. 37

Расчетное дополнительное отопление			
°F	b_{tuh}	кВт	°C
-8	8064	2,4	-22
13	1613	0,5	-11

В качестве источника низкопотенциальной тепловой энергии могут использоваться подземные воды с относительно низкой температурой либо грунт поверхностных (глубиной до 400 м) слоев земли. Так как все составные части земляных контуров системы теплового насоса должны устанавливаться на глубину ниже слоя промерзания, то необходимо знать глубину этого слоя для каждого района. Методика расчета глубины промерзания приведена в «Рекомендациях по расчету специализированных климатических характеристик» (1997).

6. ТРАНСПОРТ

Сухопутный транспорт, включающий автотранспорт и железнодорожный транспорт, перевозит наибольшее количество грузов и пассажиров.

Транспортные проблемы являются одними из самых насущных в экономике России. В число этих проблем для автотранспорта входят плохие дороги, износ основных технических фондов, ограниченность и перегруженность транспортных магистралей. Кроме того, транспортный сектор является одним из крупнейших и быстро набирающих силу источников выбросов парниковых газов.

В число мер по повышению экологических показателей транспортного движения входят не только технические усовершенствования автомобилей и переход к экологически чистым видам топлива, в том числе к альтернативным источникам энергии, но и оптимизация прокладки маршрутов автомобилей, особенно грузовиков, и городское планирование перевозок. В последних мероприятиях должны активно участвовать климатологи.

Неудовлетворительное состояние дорожной системы, ограниченность и перегруженность имеющихся транспортных магистралей, большой объем их недоремонта наряду с резко возросшей необходимостью увеличения потока экспортных грузов требует немедленных и активных действий со стороны не только транспортных ведомств, но и других служб, причастных к дорожной проблеме, в том числе Росгидромета.

Поскольку Россия занимает географически выгодное положение для транспортной связи между Новым и Старым светом, Азиатскими странами и Ближним Востоком, через нашу страну пройдут три международных транспортных коридора Панъевропейской транспортной системы.

Страны Европы и Ближнего Востока имеют большой интерес к этим коридорам, которые дают прямой выход к сырьевым ресурсам и рынкам сбыта стран СНГ. Доля нашей страны к 2010 году в мировом экспорте нефтепродуктов прогнозируется на уровне 25%, нефтяного газа -2%, угля - 2%, фосфатов - 10%, леса - 20%. Объемы контейнерных перевозок будут расти к 2010 году темпами 20-22% в год.

Автотранспортным узлом становится Кольский полуостров, где создается новая транспортная инфраструктура и развивается новый транспортный коридор. Значение создания современного транспортного коридора на Кольском полуострове выходит далеко за рамки регионального сотрудничества, уже в недалеком будущем он может выступить в качестве альтернативы международной транспортной артерии из финских портов Котка и Хамина на Санкт-Петербург.

Помимо дорог международного класса планируется прокладка ряда внутренних современных автомагистралей. Планируется построить третье транспортное кольцо вокруг г. Москвы и второе – вокруг Санкт-Петербурга.

В Санкт-Петербурге создается современная скоростная магистраль, пересекающая город. Эта трасса, названная “Западный скоростной диаметр”, будет иметь протяженность 62,5 км и суммарная интенсивность движения по ней будет достигать 100 тыс. автомобилей в сутки, что требует 6-8 полосной проезжей части, 19 мостовых и тоннельных переходов и 15 транспортных развязок в разных уровнях.

Автодорожное строительство планируется и в других регионах.

Железнодорожный транспорт, также как и автотранспорт является одной из ведущих отраслей экономики России. Он осуществляет более половины всего грузооборота и большую часть пассажирских перевозок. Для развития отрасли также требуются и в настоящее время осуществляются техническая реконструкция, строительство высоковольтных линий, внедрение новых технологий и т.д. Так применяется безстыковочная прокладка 800-метровых рельсовых участков, проводов при электротяге и пр. Все это требует более детальной климатической информации для безаварийной работы транспорта.

Эксплуатационная протяженность железных дорог в стране составляет более 150 тыс. км. Следовательно, сеть железных дорог в стране расположена на большой по географической протяженности территории в разных климатических зонах.

Создание современной транспортной системы должно сопровождаться соответствующим гидрометеорологическим и, в частности, климатологическим специализированным обеспечением. Существующая система климатологического обеспечения транспорта, использующая лишь стандартную информацию общего назначения, крайне несовершенна и требует коренной переработки.

По данным многих авторов не менее 20-30% случаев дорожных происшествий связаны с опасными явлениями погоды. Опыт зарубежных стран подтверждает возможность существенного уменьшения таких происшествий, повышения эффективности проектирования и эксплуатации дорог за счет улучшения и расширения климатологического обеспечения. Вовлечение климатической информации в процессы обеспечения системы ВАДС (водитель, автомобиль, дорога, среда) не только существенно увеличивает безопасность движения, но и уменьшает ущерб от ДТП, а также значительно удешевляет строительство и содержание дорог.

Климатическое обеспечение автодорожной и железнодорожной отраслей должно осуществляться по нескольким направлениям, для каждого из которых используется система специализированных климатических показателей, хотя эти системы связаны между собой и для обеспечения климатической информацией одного направления необходимо принимать во внимание климатологическую обеспеченность всех остальных направлений. Например,

при проектировании дорог следует учесть ее будущую пропускную способность, которая зависит от количества перевозимых грузов. И, наоборот, планируя перевозки, необходимо принимать во внимание зависимость пропускной способности дороги от климата.

На рис. 6.1 представлена схема звеньев сухопутного транспорта и основных видов климатической информации, необходимой для обеспечения каждого из этих звеньев.

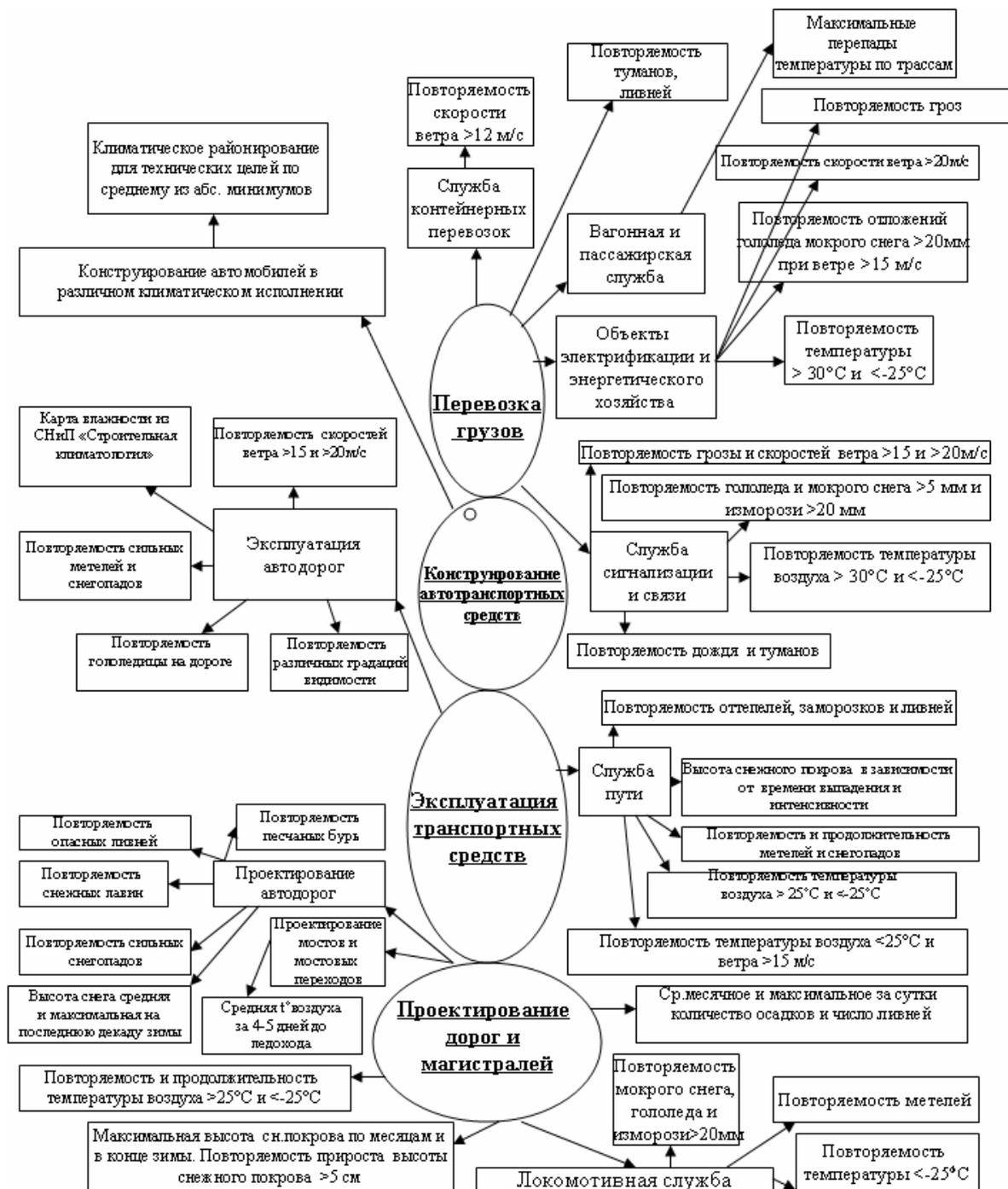


Рис. 6.1 Транспортно-климатические ресурсы (ресурсы климата для сухопутного транспорта)

Современные технологии получения и применения климатической информации в указанных направлениях позволят обеспечить безопасность и непрерывность движения на дорогах, а также удешевить перевозки.

Рассмотрим более подробно влияние климата на автодорожную и железнодорожную отрасли и методику его климатологического обеспечения.

6.1 Автодорожный транспорт

В различных климатических условиях и в различные сезоны года аварийные ситуации на дорогах (ДТП) создают разные стихийные метеорологические явления. На ЕТС, особенно в северо-западных районах в осенне-весенние и зимний периоды наибольшую опасность для автомобильного движения создает скользкость дорог, особенно в сочетании с плохой видимостью или сильным ветром. На северо-западе ЕТС 70% всех ДТП связано с гололедицей. По финским данным гололедица и плохая видимость приводит к наибольшему (до 30% от общего числа) количеству ДТП с погибшими и ранеными.

На Дальневосточном побережье на первый план выступают обильные осадки в период муссонных дождей, приводящие к размыву дорожного полотна и увеличению ДТП в результате аквапланирования, и кроме того туманы и метели.

На Северном Кавказе и в Краснодарском крае наибольшую опасность создает повышенный уровень интенсивности солнечной радиации, ведущей к образованию неровностей на дорогах (сдвигах асфальта) и ослеплению водителя, высокой температуры в салоне и появления миражей на дороге.

Опасные для автомобильного транспорта метеорологические явления можно условно разделить на 3 группы:

- ≡ ухудшающие состояние дорожного покрытия, т.е. сцепление колес с дорогой;
- ≡ ухудшающие видимость на дороге;
- ≡ все прочие, которые часто приводят к перебоям в движении (заносимость, размыв насыпи), но редко являются сами по себе причиной аварии и лишь в комплексе с двумя первыми факторами вызывают аварию.

Рассмотрим более подробно влияние опасных и особо опасных для автотранспорта метеорологических явлений каждой группы.

Опасные явления, ухудшающие состояние дорожного покрытия, могут возникать при любом состоянии покрытия: обледенелом, заснеженном, мокром и сухом.

Особенно большую опасность создает скользкость дорожных покрытий [Самодурова, 2003]. При гололедице скорость движения снижается в 2-2,5

раза, производительность автомобиля - на 30-40%, а себестоимость перевозок возрастает в 2-5,5 раз. В результате потери маневренности происходит опрокидывание автомобилей, столкновения, наезды на неподвижные препятствия.

Существует несколько классификаций гололедно-изморозевых явлений в метеорологии и различных классификаций видов зимней скользкости (з.с.) искусственных покрытий, к которым относятся и дорожные покрытия. В основу каждой классификации положены определенные понятия: процессы образования, структура отложений, физические свойства, внешние признаки, технологии работ по ликвидации и т.д. Все виды зимней скользкости имеют свои отличительные признаки - цвет, структуру поверхности и физические свойства - плотность, прочность, адгезию (силу сmerzания) к покрытиям.

Самая простая классификация используется в нормативно-технической литературе (ВСН 20-87, ВСН 24-88).

В основу этой классификации положено довольно четкое различие видов зимней скользкости, как по внешним признакам, так и по физическим свойствам. Нормативные документы выделяют три вида скользкости: рыхлый снег, уплотненный снег и стекловидный лед. Эта классификация позволяет легко определять каждый вид скользкости визуально, но она ориентирована на существующие технологии работ, в основе которых лежит ликвидация скользкости, образовавшейся на дорожном покрытии.

Отложение рыхлого снега происходит в виде ровного слоя при снегопадах в безветренную погоду. Если снег сухой, то он не уплотняется колесами проходящего транспорта и остается в рыхлом состоянии. Плотность свежеснег выпавшего снега, в среднем, составляет около 1 г/см^3 . Коэффициент сцепления при этом может понижаться до 0,2.

Уплотненный снег, или снежный накат, представляет собой слой спрессованного снега различной толщины. Это наиболее распространенный на дорогах вид зимней скользкости. Он образуется при уплотнении свежеснег выпавшего снега колесами автомобилей. Плотность снега в снежном накате повышается до $0,6 \text{ г/см}^3$, а коэффициент сцепления снижается до 0,1.

Стекловидный лед образуется на дорожном покрытии в виде гладкой стекловидной пленки толщиной от 1 до 3 мм, а иногда и в виде шероховатой ледяной корки толщиной более 10 мм. Отложения имеет плотность от 0,7 до $0,9 \text{ г/см}^3$, а коэффициент сцепления снижается до 0,08.

Стекловидный лед является наиболее опасным видом скользкости. Он образуется при замерзании выпавших жидких осадков на дорожном покрытии с отрицательной температурой.

Эта классификация ориентирована на ликвидацию скользкости после ее образования. Выбор норм распределения противогололедных материалов

производится в зависимости от температуры воздуха и толщины отложений на дорожном покрытии.

При переходе на более совершенные технологии организации работ по содержанию дорог, в основе которых должна лежать профилактика образования скользкости, этой классификацией пользоваться нецелесообразно, т.к. стекловидный лед образуется на дорожном покрытии при различном сочетании метеорологических и дорожных условий и динамике их изменений. Профилактика предусматривает учет изменения этих условий для правильного выбора норм распределения и вида противогололедного материала, а также технологии работ.

При более детальном учете погодных и дорожных условий все многообразие видов зимней скользкости искусственных покрытий Т.В. Самодурова [Самодурова, 2003] делит на шесть групп. Эта классификация и условия образования различных видов зимней скользкости приведены в таблице 6.1.

Как показывает анализ таблицы 6.1, на условия образования зимней скользкости влияют как метеорологические условия (температура, относительная влажность воздуха, осадки и их агрегатное состояние, количество и интенсивность выпадения), так и дорожные условия, которые влияют на температуру покрытия. Кроме того, метеорологические условия, предшествующие образованию каждого вида скользкости и наблюдающиеся после ее образования, различны. В связи с этим необходимо более детальное описание всех, представленных в таблице, видов скользкости.

Первая группа обледенения автомобильных дорог – это те виды зимней скользкости, к образованию которых приводит замерзание влаги на дорожном покрытии, т.н. гололедица. Источниками увлажнения на дорогах могут стать дождь, тающий снег, снег с дождем. Все эти виды осадков выпадают при положительных, но близких к 0°С температурах воздуха. Источником увлажнения дорожного покрытия может стать влага, оставшаяся после его обработки противогололедными материалами. При резком понижении температуры влага, имеющаяся на покрытии, замерзает. Время последствия осадков — это время их возможного испарения, т.е. просыхания покрытия.

Процессу образования гололедицы предшествует ряд метеорологических явлений:

- повышение атмосферного давления на фоне выпадающих осадков;
- установление ясной безоблачной погоды после прекращения выпадения осадков;
- одновременное понижение относительной влажности и температуры воздуха от положительных значений до отрицательных.

Образование гололедицы наиболее вероятно при температурах воздуха от -2 до -6°С, относительной влажности воздуха от 65 до 85%.

Отличительной особенностью этого вида скользкости является то, что температура воздуха может понижаться до значений, при которых использование противогололедных солей неэффективно. Следовательно, для выбора норм распределения необходим прогноз минимальной температуры воздуха.

Ко **второй группе** обледенения относятся те виды зимней скользкости, которые возникают на сухой поверхности дороги за счет кристаллизации влаги из воздуха при температуре покрытия ниже точки росы. Такие виды скользкости в различных классификациях называют иней, изморозь, «черный лед».

Таблица 6.1

Классификация различных видов зимней скользкости дорожных покрытий и условия их образования

Вид зимней скользкости	Условия образования				
	Температура воздуха, °С	Температура покрытия, °С	Осадки, их вид	Состояние покрытия	Дополнительные условия
Гололедица	Ниже 0	Ниже 0	Любые, выпадающие при температуре воздуха выше -3°С	Мокрое	Время последствия осадков 12 час
Черный лед	Ниже 0	Ниже 0, ниже точки росы	Нет	Сухое	-
Твердый налет	Выше 0	Ниже 0	Жидкие	-	-
	От 0 до -5	Ниже 0	Мокрый снег	-	Количество осадков Q= 0 мм
Гололед	Ниже 0	Ниже 0	Переохлажденные жидкие (дождь, морось)	-	-
Снежный накат	От 0 до -6	-	Твердые (снег, мокрый снег)	-	Количество осадков не менее 5 мм
	От 2 до 0	-	Твердые (снег, мокрый снег)	-	Интенсивность снегопада не менее 0,6 мм/час
	От -6 до -10	-	Твердые (снег, мокрый снег)	-	Относительная влажность воздуха не менее 90%

Рыхлый снег	От -6 до -10	-	Твердые (снег, мокрый снег)	-	Относительная влажность воздуха не менее 60%
	Ниже -10	-	Твердые (снег, мокрый снег)	-	-

Независимо от названия они имеют одну причину образования — понижение температуры дорожного покрытия ниже точки росы и одновременно ниже температуры замерзания влаги. Процессу обледенения сопутствуют и предшествуют следующие условия:

- ясная морозная погода (полное отсутствие облачности);
- отсутствие ветра;
- высокая относительная влажность воздуха;
- температура покрытия ниже нуля и ниже точки росы.

В результате радиационного охлаждения дорожного покрытия ниже точки росы влага из воздуха конденсируется на нем и превращается в иней или очень тонкий и прозрачный слой льда (из-за этого и используется термин «черный лед»),

Образование этого вида скользкости возможно в ночное время в широком диапазоне изменения температуры воздуха и при его относительной влажности, близкой к 100 %. В зимний период такое сочетание метеорологических условий наиболее вероятно в прибрежных морских районах и в горной местности, где из-за высокой прозрачности воздуха температура покрытия сильно понижается в ночные часы при радиационном охлаждении. Наиболее часто такой вид скользкости будет возникать на автодорожных мостах, которые обладают меньшей теплоинерционностью, чем дорожная одежда, и имеют более низкую температуру покрытия при радиационном выхолаживании в ночное время.

Третью группу обледенения составляют те виды скользкости, которые образуются при выпадении жидких осадков на покрытие, имеющее отрицательную температуру. В нее входят твердый, зернистый и ледяной налет.

Основной причиной образования этого вида скользкости является потепление после длительных морозов, т.е. перемещение теплой воздушной массы воздуха, которая приносит с собой жидкие осадки. Этому процессу предшествуют следующие метеорологические явления:

- устойчивое падение атмосферного давления в течение суток;
- возможность выпадения жидких осадков по данным прогноза;
- устойчивый рост относительной влажности и температуры воздуха.

В четвертую группу объединены такие виды скользкости, которые образуются при выпадении переохлажденных осадков (дождя или мороси), к ним относят гололед и зернистую изморозь.

С точки зрения влияния дорожных условий, все виды зимней скользкости третьей и четвертой группы имеют одинаковые причины образования. Они образуются при выпадении жидких осадков (дождя, мороси или тающего снега) на покрытие, имеющее отрицательную температуру. С точки зрения метеорологов, различия состоят в состоянии выпадающих жидких осадков (переохлажденные, непереохлажденные), а это очень важно для прогноза.

В дорожной классификации все виды скользкости третьей и четвертой групп могут быть объединены в один вид, так как образование их происходит на фоне повышения температуры воздуха после длительных морозов. При выборе норм распределения противогололедных материалов необходимо учитывать температуру дорожного покрытия, которая всегда будет ниже температуры воздуха.

Образование этих видов скользкости наиболее вероятно при температурах воздуха от +2 до -5,2°C, относительной влажности воздуха выше 90%.

Пятую группу составляют все виды зимней скользкости, образующиеся при уплотнении и укатывании снега на покрытии дороги. В нее входят *снежный накат, оледенелый и тающий снег*.

Снежный накат образуется при наличии на дорожном покрытии снега от снегопадов или метелей. Уплотнение снега происходит при определенных метеорологических условиях и влажности снега. Наиболее вероятно снежный накат образуется при следующих погодных условиях:

- при выпадении снега при температурах воздуха от 0 до -6°C (в этом диапазоне температур снег имеет повышенную влажность и легко уплотняется);
- при температурах воздуха от -6 до -10°C образование снежного наката возможно при относительной влажности воздуха выше 90%, когда снег имеет достаточную влажность для уплотнения;
- если снег выпадает при положительных температурах воздуха (не выше +2 °C), то снежный накат наиболее вероятно образуется при высокой интенсивности снегопада (более 0,6 мм/ч в пересчете на воду), при которой снег не успевает растаять на покрытии и легко уплотняется транспортными средствами.

Шестая группа — рыхлый снег. Если снег выпадает при метеорологических условиях, отличных от вышеуказанных, то на дорожном покрытии он будет находиться в рыхлом состоянии. Следовательно, образование *рыхлого снега* возможно при снегопадах, выпадающих при пониженных температурах воздуха (ниже -10°C), а при температуре воздуха от -6 до -10°C снег не будет уплотняться при относительной влажности воздуха менее 90%.

В этой классификации четко представлены метеорологические условия, которые сопутствуют образованию каждого из видов зимней скользкости. Прогнозирование их количественных значений и анализ динамики изменения помогут предвидеть возникновение скользкости на покрытиях и выбрать необходимые технологии работ для обеспечения безопасности движения.

Как показывает анализ, образование зимней скользкости зависит, прежде всего, от температуры дорожного покрытия, т.е. от дорожных условий. На температуру дорожных покрытий оказывает влияние большое количество параметров, как метеорологических, так и дорожных, в связи с этим она будет различаться для разных участков дороги. Это приводит к тому, что скользкость может образоваться только на отдельном небольшом участке, в то время как на соседних участках она не будет отмечена. Это существенно усложняет как прогнозирование образования скользкости в зимний период, так и расчет ее климатических характеристик. Вместе с тем, существуют косвенные связи между характером покрытия, температурой воздуха и температурой покрытия.

Так как скорость движения зависит от коэффициента сцепления (шин автомобиля с дорожным покрытием), установлена связь между коэффициентом сцепления и скоростью автомобиля. Она выражается формулой:

$$V = \frac{2 \cdot g \cdot \varphi \cdot St}{Kэ} \quad (6.1)$$

где:

V - скорость движения автомобиля;

φ - коэффициент сцепления;

St - тормозной путь автомобиля;

Kэ - коэффициент эксплуатационного состояния тормозов;

g - ускорение силы тяжести.

Зависимость коэффициента сцепления от состояния покрытия представлена в таблице 6.2

Таблица 6.2

Коэффициент сцепления на покрытие в зависимости от состояния дорожного полотна

Состояние дорожного покрытия	Коэффициент сцепления на покрытиях		
	асфальто-бетонном, цементно-бетонном	щебеночном	грунтовом

Продолжение таблицы 6.2

сухое	0,7-0,8	0,7-0,8	0,5-0,6
мокрое	0,4-0,5	0,4-0,5	0,3-0,4
покрытое мокрым снегом	0,2-0,3	0,2-0,3	0,2-0,3
покрытое снежно- ледяной коркой обледенелое	0,08-0,15	0,08-0,15	0,08-0,15

Наблюдения ГАИ позволяют выделить особо гололедо-опасные участки на трассе, куда в первую очередь должны направляться технические бригады.

Заснеженное покрытие дорог связано с заносимостью дорог и возникает при несвоевременной уборке снега с трасс. При длительных снегопадах и метелях (12 часов), при слабом ветре и приросте снежного покрова 6-10 см, а также при скорости ветра ≥ 15 м/с вводится снегоуборочная техника. При ветре ≥ 15 м/с прирост снега более 10 см равносителен стихийному бедствию. При приросте снежного покрова за сутки более 20 см или при интенсивности снегопада более 0,4 мм/мин движение становится аварийно опасным, а при приросте более 30 см - вообще невозможным для основного парка машин. Мокрое покрытие образуется в результате выпадения осадков при положительных температурах и при таянии мокрого снега при небольших отрицательных температурах (до -5°C). При применении противогололедных средств мокрое покрытие может быть и при более низких температурах.

При мокром покрытии довольно часто наблюдается явление аквапланирования или глиссирования, особенно на скоростных трассах при скорости движения более 60 км/час и при определенных геометрических параметрах трассы (уклоны). Аквапланирование зависит от интенсивности дождя и возможно при интенсивности дождя более 0,5 мм/мин. В соответствии с формулой (6.2), толщина пленки воды h рассчитывается:

$$H = a \cdot L \cdot n / 30 \cdot i \quad (6.2)$$

где:

a - интенсивность дождя

L - длина участка стекания воды

n - гидравлический показатель шероховатости

i - уклон участка стекания воды

К явлениям, ухудшающим видимость до опасных пределов, создающих ДТП, относятся: туман, дождь, снег, пыльные бури, мгла и метель определен-

ной интенсивности и длительности. Параметры МДВ (метеорологической дальности видимости) оказывают существенное влияние не только на вероятность ДТП, но и на среднюю скорость транспортного потока и пропускную способность дороги. Снижение скорости автомобиля при ухудшенной видимости зависит от характера атмосферных явлений и категории автомобиля. Скорость легковых автомобилей в тумане снижается с 72 км/ час при видимости 1 км до 47 км/час при видимости 100 м, а в снегопад - с 65 до 47 км/час. Анализ данных зависимости скорости транспортного потока от МДВ, проведенный А.П. Васильевым (Васильев, 1986) показал, что пик повторяемости снижения скорости движения приходится на МДВ в 500 м, т.е. критическими значениями видимости, с которых начинается заметное снижение скорости автомобиля, является 500 м днем и 1000 м ночью.

К.М. Левитин (Левитин, 1986) предлагает оценивать уровень безопасности движения по формуле:

$$\frac{S_{\text{вид}}}{S_{\text{ост}}} \geq 1 \quad (6.3)$$

где $S_{\text{вид}}$ - дальность видимости дорожного объекта в сложных погодных условиях, связанных с МДВ выражением:

$$S_{\text{вид}} = \ln \frac{k}{e} \left(\frac{3}{S_m} + \frac{4.35}{\sqrt{Q}} \right) \quad (6.4)$$

где:

$e=0,05$ - контраст чувствительности глаза

k - контраст объекта с фоном

Q - площадь объекта

S_m - метеорологическая дальность видимости

$S_{\text{ост}}$ - остановочный путь автомобиля

$$S_{\text{ост}} = k_3 v^2 (245\varphi) + T_{\Sigma} v / 3.6 + S_0 \quad (6.5)$$

где :

k_3 - коэффициент эффективности торможения

v - скорость автомобиля

φ - коэффициент сцепления с дорогой

T_{Σ} - суммарное время опознания объекта, реакция водителя и срабатывание механизма привода тормозов

S_0 - расстояние между остановившимся автомобилем и препятствием

При уменьшении МДВ с 500 до 300 м скорость движения должна быть снижена на 15%, при уменьшении МДВ с 300 до 100 м - на 45%. При МДВ, равной 50 м, безопасная скорость движения составляет 20 км/час, т.е. снижена в 4 раза.

При видимости меньше 50 м, наблюдающейся непрерывно более 12 часов, Управления транспортными средствами имеют право прекращать движения автомобилей. В Правилах дорожного движения опасным является ухудшение видимости до 100 м (требуется снизить скорость более чем на 45% и держать безопасную дистанцию между автомобилями). Климатическая информация о видимости используется также на уровне конструирования автомобиля (устанавливается противотуманная система), при проектировании и обслуживании трассы и при планировании перевозок.

Климатическими специализированными параметрами служат вероятность значений видимости ≤ 500 м, ≤ 1000 м, ≤ 50 м, ≤ 100 м. По визуальным наблюдениям за видимостью возможно достоверное определение лишь вероятности видимости ≤ 1000 м. Для определения повторяемости других градаций видимости ≤ 6 км следует использовать инструментальные наблюдения за видимостью и лучше всего проводящихся на АМСГ.

Существенное влияние на режим автотранспорта оказывает ветер, создавая ветровую нагрузку на автомобиль. Во-первых, ветер при высоких скоростях стремится сдвинуть автомобиль, перевернуть, изменить траекторию движения. Во-вторых, он способствует перерасходу топлива и износу шин в результате тормозных усилий. Воздействие ветра зависит от скорости ветра, скорости движения и технических характеристик автомобиля. Критической можно считать ветровую нагрузку, равную весу автомобиля. Ветровая нагрузка g рассчитывается по формуле:

$$g = kg_0F \quad (6.6)$$

где F - площадь проекции автомобиля на плоскость, перпендикулярную направлению ветра,

$g_0 = V_p^2/16$ - скоростной напор ветра 1 раз в n лет

k - аэродинамический коэффициент (1,1).

Необходимо учитывать также боковую составляющую скорости ветра. По данным ряда авторов при скорости движения 90 км/час критическая скорость ветра - 20 м/с. При скорости автомобиля 80 км/час, порывах или скорости ветра 15 м/с при времени реакции водителя 1,5 с отклонение траектории составляет 0,4 м, а при времени реакции 2 с отклонение достигает 2 м, что

уже представляет большую опасность. На обледенелых покрытиях критическая скорость ветра 10-15 м/с.

Температура воздуха и поверхности дороги также влияет на систему ВАДС. При низких отрицательных температурах (-30° , -40°) аварии могут возникнуть из-за поломки автомобилей, кроме того, увеличиваются потери при перевозках, а также увеличивается время на запуск двигателя машины. Необходимы дополнительные меры по обеспечению незамерзания воды и масла в системах автомобилей. При слишком высоких и слишком низких температурах наблюдается рост аварийности из-за ухудшения психофизического состояния водителей. Комфортные условия в кабине должны составлять около 20°C . Низкие температуры сказываются также на качестве дорожного полотна, вызывают пучения и размывы дорожных одежд. В зависимости от средней температуры самого холодного месяца используются разные строительные материалы. Высокие температуры образуют наплывы на асфальтовом покрытии.

Воздействия всех рассмотренных факторов усугубляются в тех случаях, когда ряд этих факторов действует совместно. Очень опасным является сочетание плохой видимости или сильного ветра с гололедицей. На эти условия приходится наибольшее число аварий. Чрезвычайно важно также установить зависимость между скоростью транспортного потока и комплексным влиянием условий погоды. На рис. 6.2 показана зависимость коэффициента сцепления от температуры воздуха и состояния покрытия. Рядом специалистов (В.С. Чвак, А.П. Васильев) разработаны модели комплексного воздействия различных климатических факторов на расчетную скорость движения автомобилей различной обеспеченности и показатели комплексного влияния на условия движения автомобилей.

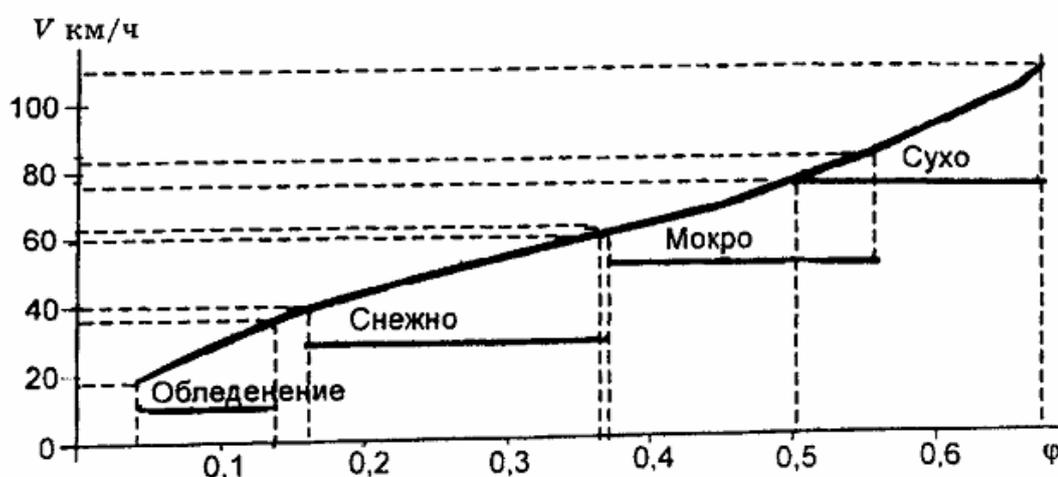


Рис. 6.2 Зависимость допустимой скорости движения V от коэффициента сцепления ϕ

В заключение сформулируем полную систему климатических показателей, используемых для специализированного климатического обеспечения автотранспортной отрасли в различных направлениях.

Для проектирования системы автомобильных дорог требуются следующие климатические показатели:

1. При проектировании высоты и ширины снегозащитной насыпи:

- = максимальная высота и распределение высоты снежного покрова заданной обеспеченности 1 раз в 10 лет и в 20 лет (нормативная характеристика),
- = повторяемость различного количества осадков, начиная с градации более 5 мм в сутки (с апреля по октябрь)
- = интенсивность осадков заданной обеспеченности

2. Для обеспечения сохранности дорог:

- = средняя и квантиль 95% обеспеченности глубины промерзания и протаивания почвы
- = средняя и максимальная интенсивность осадков за 30 мин
- = средняя и максимальная интенсивность снеготаяния
- = суточный максимум осадков

3. При выборе дорожного покрытия:

- = средняя температура воздуха наиболее холодного и наиболее жаркого месяца и с обеспеченностью 0,94 (нормативная характеристика)
- = повторяемость дней с осадками более 5 мм в сутки
- = повторяемость периодов температуры воздуха ниже -30° и выше 30° в течение 5 дней
- = средняя и 95% квантиль температуры поверхности почвы и асфальтобетонного и цементно-бетонного покрытий наиболее холодного и жаркого месяцев
- = средняя глубина промерзания и протаивания почвы
- = средняя и максимальная интенсивность снеготаяния
- = повторяемость различного состояния дорожного покрытия (сухое, мокрое, покрытое мокрым снегом, покрытое снежно-ледяной коркой, обледенелое)

4. При проектировании мостов и мостовых переходов:

- = нормативные климатические характеристики главы СНиП “Нагрузки на гидротехнические сооружения” (повторяемость зимних оттепелей, температуры воздуха в период таяния льда, скорость ветра 1% обеспеченности при ледоходе)

Для дорожного строительства и производства дорожных работ:

1. Для установления расценок работ на открытом воздухе:
 - = число дней с температурой воздуха ниже -25°C
 - = число дней с преобладающей скоростью ветра более 10 м/с при отрицательных зимних температурах (нормативы ВНДЗ)
2. Для определения периода производства основных дорожных работ (железобетонных, каменных, асфальтовых покрытий и др.)
 - = среднее и максимальное число дней со средней суточной температурой выше 5°C в весенне-осенний периоды;
 - = повторяемость периодов с положительной и отрицательной температурами воздуха продолжительностью 5, 10 и 15 дней в весенне-осенний период;
 - = повторяемость числа дней с осадками >5 мм/сутки за период с апреля по октябрь.

Для безопасной и бесперебойной эксплуатации железных дорог и организации движения на дорогах:

1. При климатическом прогнозе на ближайшие месяц, сезон, год и несколько лет:
 - = вероятность всех основных стихийных явлений, регламентируемых указаниями Росгидромета;
 - = вероятность видимости ночью <1000 м, днем <300 м, <100 м, <50 м;
 - = вероятность выпадения за 12 часов снега высотой 10 и 15 см, а за 1-2 суток - 20 и 30 см;
 - = вероятность интенсивности снегопада >4 мм/час;
 - = вероятность снегопереноса разной интенсивности;
 - = вероятность дождя интенсивностью 0,5 мм/час;
 - = вероятность скорости ветра ≥ 15 м/с, ≥ 20 м/с;
 - = расчетные скорости ветра;
 - = вероятность комплексов: скорость ветра >10 м/с при гололедице; видимость <6 км, <1 км (ночью) и <500 м (днем) при гололедице.
2. При разработке систем сигнализации на дорогах и инструктаже водителей автомобилей:

все выше перечисленные характеристики. Особенно важны характеристики ухудшенной видимости, среднее и максимальное число дней со всеми явлениями, ухудшающими видимость (не только с особо опасными); повторяемость мокрого снега в сочетании с последующими резкими ($>5^{\circ}\text{C}$, $>10^{\circ}\text{C}$)

понижениями температуры воздуха; повторяемость различного состояния покрытия дороги; повторяемость обложных дождей, когда за сутки или несколько суток выпадает месячная норма осадков.

Для планирования перевозок:

При определении средней скорости транспортного потока и пропускной способности дороги используют все перечисленные в предыдущем пункте характеристики, но в первую очередь комплексы состояния дороги в сочетании со скоростями ветра, ухудшенной видимостью и снегопадами. Расчеты целесообразно вести на основе приведенных выше формул, таблиц и графиков. В расчетах необходим учет возможностей снего-водо борьбы, и обработка дороги песочно-солевой смесью и др. смесями.

Для разработки мероприятий, нейтрализующих вредные воздействия окружающей среды:

1. При оценке необходимости и частоты введения снегоуборочной техники:

- повторяемость метелей продолжительностью до 3 часов при скорости ветра до 10 м/с;
- повторяемость метелей при снежном покрове, образующемся за 12 часов выше 10 см;
- повторяемость общих метелей продолжительностью от 4 до 12 часов при скорости ветра до 10-14 м/с и прирост снега за 12 часов 6-10 см;
- повторяемость общих метелей продолжительностью от 4 до 12 часов при скорости ветра ≥ 15 м/с и прирост снега за 12 часов 5 см и более (при 10 см и более - стихийное бедствие);
- повторяемость метели и поземки продолжительностью более 12 часов;
- повторяемость метелей (любых) продолжительностью более 1-2 недель (требует круглосуточной работы техники).

2. При расчете количества снегоочистителей и снегоуборочных машин (с наименьшими расходами за n лет):

- среднее и среднее квадратическое отклонение максимального прироста снежного покрова за зиму на территории дороги длиной L, шириной очищаемой полосы снега d;
- вероятность различных значений объемов снегопереноса за зиму.

3. При определении начала и конца обработки дороги песчанно-солевой смесью:

- = схема дорог, разбитая на участки по месяцам начала и конца образования гололедицы и гололеда.

4. При расчете количества соли для обработки дорог:

- = повторяемость снегопадов;
- = зимний индекс состояния дороги (число дней с гололедицей и мокрым снегом при ухудшенной видимости и сильном ветре), включающий характер покрытия дороги и транспортный парк.

Для конструирования автомобилей:

1. При создании условий комфорта водителей:

- = число дней с высокими и низкими температурами,
- = число дней с высокой влажностью,
- = число дней с большой продолжительностью солнечного сияния.

2. При планировании строительстве полигона для испытания автомобильных шин:

- = повторяемость сухой погоды при положительных температурах, но не более 30° и скорости ветра ≤ 3 м/с;
- = средняя годовая температура воздуха;
- = средняя годовая температура воздуха в дневные часы;
- = число дней с осадками > 5 мм;
- = месячная сумма осадков.

Приведем пример стандартного климатического описания автомобильной трассы.

Пример

Климатические характеристики автомагистрали “Мурманское шоссе”

Мурманское шоссе проходит по низменной (50-100м над уровнем моря), во многих местах заболоченной территории вдоль Ладожского озера, на некоторых участках в непосредственной близости от него. Трасса располагается в сравнительно суровых климатических условиях с низкими зимними температурами и высокой степенью увлажнения.

Средняя месячная, минимальная и максимальная температура воздуха января (С-Петербург -7.8°C, 6.0°C, -36.0 °C; Выборг - 7.0°C,9.6°C, -34.0 °C; Петрозаводск -11.0°C, 5.0°C, -35.0 °C; Мурманск -10.5°C, 7.0°C, -39.0 °C). Количество осадков составляет 750-800 мм за год. Максимальное суточное количество осадков: С-Петербург – 14.6 мм, Выборг -20.7 мм, Петрозаводск - 15.8 мм, Мурманск – 11.9 мм.

Ветровой режим на трассе характеризуется достаточно сильными ветрами. Максимальная скорость ветра в С-Петербурге составляет 21 м/с, в Выборге - 28 м/с, в Петрозаводске – 29 м/с, в Мурманске – 42 м/с.

Высота снега средняя и максимальная составляет в С-Петербурге соответственно 19 и 54 см, в Выборге - 26 и 106 см, в Петрозаводске- 19 и 59 см, в Мурманске- 21 и 57 см.

Число дней с грозой, метелями, гололедом, изморозью, ветром со скоростью 15 и/с и более составляет в С-Петербурге соответственно 0, 4, 2, 6, 0.2 дня; в Выборге - 0, 6, 3, 6, 3.2 дня; в Петрозаводске- 0.03, 10, 3, 12, 0.5 дня; в Мурманске- 0.1, 12, 0.4, 11, 7 дня.

За период с 1981 по 1990 год на трассе зарегистрировано около 800 дорожно-транспортных происшествий (т.е. около 80-ти происшествий за год). Резкое увеличение аварий приходится на период с середины лета до начала осени, т.к. увеличивается парк автомобилей. Однако число аварий из-за неблагоприятных метеоусловий приходится на холодный период года. Наибольшее число аварий по метеорологическим условиям связано с плохим состоянием покрытия дороги (гололедицей и гололеда) и во вторую очередь с ухудшением видимости (туманом). В 1987 году на Мурманском шоссе зарегистрирована авария с участием 23 транспортных средств.

К аварийности на трассе приводит прежде всего сочетание ухудшенной видимости (менее 4 км) с гололедицей. Начало образования гололедицы и гололеда на трассе приходится на ноябрь и лишь на небольшом участке у С-Петербурга – на конец октября. Окончание гололедицы – в апреле, у С-Петербурга – в марте. Повторяемость гололедицы за холодный сезон на станциях вдоль трассы: С-Петербург – 27 дней, Выборг – 30 дней, Приозерск – 44 дня, Петрозаводск – 35 дней, Мурманск – 26 дней.

Повторяемость видимости 0.5 км и менее в светлое время суток в холодный период составляет от 3 до 6–7%, а в теплый – 1–2%. Повторяемость видимости 1 км и менее составляет от 4 до 10 % в холодный период и 3–4 % - в теплый период. Повторяемость комплекса “гололедица при видимости от 0.5 до 1 км” составляет за холодный период: 11 дней за темное время суток и около 10 дней – в светлое.

Повторяемость мокрого, заснеженного и обледенелого покрытия по трассе при ухудшенной видимости до 4 км составляет соответственно 14, 6 и 30 дней за год.

Данные сведения должны служить основой для планирования посыпания дороги песчано-солевой смесью.

В целом за год аварийно-опасное состояние покрытия образуется примерно в течение 10% всех дней.

Дополнительно предоставляется микроклиматическое описание трассы по ее участкам.

В заключение укажем необходимые действия для организации специализированного обслуживания автотранспортной системы, которые целесообразно включить в «Концепцию метеорологического обеспечения дорожной отрасли»:

- составление рекомендаций по уточнению наблюдений за некоторыми погодными условиями, учет которых необходимыми для обеспечения автотранспортной отрасли;
- уточнение критериев опасных явлений применительно к автотранспорту, особенно комплексных характеристик;
- разработка полной системы специализированных климатических показателей для автодорожного транспорта, технология их расчета и методики климатического описания автодороги с учетом ее профиля;
- составление климатического районирования территории России для автотранспорта и передача его в Госстрой для включения в СНиП, а также составление климатического атлас автомобильных дорог России;
- разработка справочно-информационной системы специализированных данных для автотранспорта (специализированный климатический справочник), включив в нее: программы расчета коэффициентов снижения пропускной способности дорог в зависимости от климатических факторов, количества и времени введения снегоуборочной техники, количества разных смесей для обработки дороги, а также времени начала и конца обработки дорог этими смесями и другие расчеты.

6.2 Железнодорожный транспорт.

Техническое перевооружение железнодорожного транспорта в последние годы на базе новейших достижений науки и техники приводит к ещё большей его зависимости от погоды и климата. Поэтому решение многих текущих и перспективных задач железнодорожной отрасли требует использования многообразной климатологической информации.

Наиболее подвержена влиянию погодных и климатических условий **служба пути** (земляное полотно, верхнее строение, искусственные сооружения), так как все элементы находятся постоянно под открытым небом и испытывают большие статические и динамические нагрузки.

Увеличение пропускной способности железной дороги достигается за счёт повышения скорости движения поездов как на участках, так и на станционных путях. Ускорение движения поезда потребовало введения централи-

зованного управления стрелочными переводами на станциях и диспетчерского управления участками и направлениями. При этом стрелочные переводы должны содержаться безупречно чистыми, исключаящими напрессовку снега между рамным рельсом и острием.

Сильные снегопады и метели приводят к нарушению работы этой системы. Снег забивает «стрелки» и их приходится очищать вручную, вызывая специальные бригады рабочих. Это одно из самых уязвимых мест всей системы службы пути, требующее больших расходов, так как на крупных станциях и узлах сотни стрелочных переводов, и одна из причин нарушения движения. Использование снегоуборочной техники затруднено, так как станционные пути постоянно заняты.

Со снегопадами на перегонах в настоящее время удаётся справляться без особого труда, так как за счёт больших скоростей современных поездов, часть снега сдувается с пути и уборку оставшегося снега выполняет снегоуборочная техника. Метели, при этом, более опасны, чем даже самые сильные снегопады: они могут создавать заносы, особенно при профилях пути первой категории, имеющих выемки до 0,4 м.

Общая метель, продолжительностью до 3 часов при скорости ветра до 10 м/с, создающая прирост снежного покрова за 12 часов более 5 см, опасна всем станциям, а при высоте снега более 10 см, требует ввода снегоуборочной техники и вызова рабочих.

Для обеспечения нормальной работы железнодорожного транспорта в зимнее время используется определённое количество снегоочистительной и снегоуборочной техники. Её количество очевидно зависит от количества выпавшего снега и повторяемости метелей. В данном случае применительно к транспорту, высоту снежного покрова за зиму, H , следует определять суммированием толщин слоев снега, выпадающего при каждом отдельном снегопаде, т.е. по формуле

$$H = h_1 + h_2 + \dots + h_n \quad (6.7)$$

где h_i – толщина слоя выпавшего снега при i – ом наблюдении.

Объём выпавшего снега V_0 , который необходимо убрать за зиму с главных путей, находится из соотношения:

$$V_0 = CL \cdot \bar{H} \quad (6.8)$$

где C и L – ширина и длина очищаемой от снега полосы главных путей соответственно; \bar{H} – средняя взвешенная высота прироста снежного покрова на дороге

$$\bar{H} = \frac{1}{L} \sum_{j=1}^m l_j H_j \quad (6.9)$$

где H_j – средняя многолетняя высота прироста снежного покрова за зиму на j -ом участке дороги, число которых m , l_j – длина j -го участка дороги.

Кроме выпавшего снега дополнительное количество снега приносится метелями. Объём снегопереноса, обусловленного метелями V_m , вычисляется по формуле

$$V_m = kL \sum_{i=1}^n V_i^3 n_i \tau_i \quad (6.10)$$

где k – коэффициент равный 0,00046 (при плотности снега 0,17 г/см³);

V_i – скорость ветра за промежуток времени τ_i , м/с;

n_i – число случаев метелевого ветра со скоростью V_i .

Таким образом, объём снега, который необходимо убрать с главных путей дороги за зиму V_{Π} равен:

$$V_{\Pi} = V_o + V_m \quad (6.11)$$

Помимо уборки снега с главных путей дороги нужно ещё очищать от снега станций.

Со станций требуется убрать объём $V_{ст}$, который можно оценить по формуле

$$V_{ст} = \sum_{k=1}^c S_k \cdot H_k \quad (6.12)$$

S_k – площадь станции или узла на дороге;

H_k – средняя многолетняя годовая высота прироста снежного покрова на k -ом объекте.

Следовательно, с главных путей и станций на дороге ежегодно следует убирать объём снега V , равный

$$V = V_n + V_{ст} \quad (6.13)$$

Пример.

Длина Октябрьской железной дороги $L = 10185$ км.

Объём снегопереноса в районе Октябрьской железной дороги составляет около 100 м³/м за зиму.

Значит $V_m = 10185 \cdot 5 \cdot 100 = 5072,5 \cdot 10^3 \text{ м}^3$.

$V_o = 10185 \cdot 5 \cdot 10^3 \cdot 1,35 = 68748,75 \cdot 10^3$.

Тогда $V_{\Pi} = 68748,75 \cdot 10^3 + 5072,5 \cdot 10^3 = 73821,25 \cdot 10^3 \text{ м}^3$.

Полученный объём снега необходимо убрать с главных путей Октябрьской железной дороги за зиму.

Метод расчёта оптимального количества снегоочистительной и снегоуборочной техники на железнодорожной сети.

Рассмотрим каким должно быть оптимальное размещение на дороге снегоуборочной и снегоочистительной техники на период T лет. Выбрав машину снеготехники с определённой производительностью Π и разделив суммарную производительность парка на Π , получим число имеющихся в парке условных единиц снеготехники. Спрос на снеготехнику, в принятых условных единицах, вызываемым выпадением снега, является случайной величиной.

За критерий оптимальности примем минимум расходов на снегоуборку, т.е. минимум функции математического ожидания (среднего арифметического) суммарных расходов на снегоборьбу за период T лет, $M(z)$.

Математическое ожидание суммарных расходов на снегоборьбу за T лет является функцией от z , числа снегоуборочных машин $M(z)$, которая выражается через функцию плотности z и постоянные a , b , c , обозначающие следующие составляющие стоимости работ:

a – стоимость работы одной машины в течение года по очистке станций (перегонов) от снега;

b – стоимость хранения единицы снеготехники, средняя за год в период T лет;

c – стоимость ручной уборки снега в количестве, убираемом одной машиной за год.

Статистическое распределение спроса на количество снеготехники можно считать нормальным.

После выражения производной от математического ожидания $M'(z)$, через значения интегральной функции распределения спроса на количество сантехники $F(z)$ и приравнивания производной K_0 определяется значение интегральной функции от z_0 , оптимального числа единиц сантехники

$$F(z_0) = \frac{c - a}{b - c} \quad (6.14)$$

При оптимальном числе единиц сантехники, Z_0 , расходы на снегоуборку на дороге на протяжении T лет будут минимальными. По формуле (6.14) определяется функция $F(z_0)$, а затем по данной функции нормального распределения находится z_0 . Предварительно рассчитываются параметры нормального распределения z , т.е. среднее число снегоуборочных машин, \bar{z} , и среднее квадратическое отклонение σ_z по формулам

$$\bar{z} = \frac{\bar{H} S}{\tau \cdot \Pi} \quad (6.15)$$

$$\sigma_z = \sqrt{\frac{\sum (H_i - \bar{H})^2}{n}} \cdot \frac{S}{\tau \cdot \Pi} \quad (6.16)$$

где \bar{H} - средняя высота прироста снежного покрова;
 Π – производительность машины снеготехники;
 τ – время работы машины (90 дней).

Пример.

Октябрьская железная дорога имеет 73 снегоуборочных машины типа СМ-2. Каждая машина за смену может убрать 2400 м^3 снега. Площадь всех станций и узлов $S = 13 \cdot 10^6 \text{ м}^2$. Какова должна быть численность снегоуборочных машин, чтобы на ближайший период $T = 10$ лет, расходы дороги на снегоуборку были бы минимальными.

Начинаем с определения объёма снега, который можно убрать со станции за одну зиму (90 дней) имеющимися парком машин

$$V = 2400 \cdot 90 \cdot 73 = 15768 \cdot 10^3 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Одна машина-смена по уборке 2400 м^3 снега состоит 87 рублей, вручную – 144 рубля (по ценам 1987 года). В принятых выше обозначениях имеем

$$a = 90 \cdot 87 = 7830 \text{ р.}$$

$$c = 90 \cdot 144 = 12960 \text{ р.}$$

Хранение машины за зиму $b = 240 \text{ р.}$

$$\text{Вычислим функцию распределения } F(z_0) = \frac{c - a}{c + b}$$

$$F(z_0) = \frac{12960 - 7830}{12960 + 240} = 0.39$$

По функции нормального закона $F(z_0) = 0.39$ определяем z_0 .

Чтобы найти z_0 сначала надо определить параметры нормального распределения z .

Известно, что средняя высота прироста снежного покрова \bar{H} равна 135 см, а среднее квадратическое отклонение $\sigma_H = 29$ см.

Тогда

$$\bar{z} = \frac{1.35 \cdot 13 \cdot 10^6}{90 \cdot 2400} = 81.25 \text{ машин}$$

$$\sigma_z = \frac{0.29 \cdot 13 \cdot 10^6}{90 \cdot 2400} = 17.45$$

По таблицам интеграла вероятности по $F(t) = 0.39$, найдём значение $t = -0.28$, а так как $t = \frac{z_0 - \bar{z}}{\sigma_z}$, то $z_0 = 81,25 - 17,45 \cdot 0,28 = 76,36$

Парк снеготехники должен состоять из 76 машин.

Следующим метеорологическим фактором, от которого зависит работа путейцев является экстремальная температура воздуха (высокая, более 25°C и низкая, менее -25°C).

Под влиянием высокой температуры рельсы удлиняются и могут про-
изойти: сгон стыков, образование так называемых «слепых зазоров», что
приводит к «выбросу» пути.

Низкие температуры воздуха вызывают укорачивание рельса, наруше-
ние изоляции изолирующих стыков, вследствие чего происходят разрыв сты-
ков и излом рельсов.

При производстве путевых работ по разгонке и регулировке зазоров,
определении длины рельсов при бесстыковом пути и других работах, необхо-
димо знать непосредственно температуры рельсов. В таблицах 6.3 и 6.4 при-
ведены системы поправок для рельсов расположенных с запада на восток и с
севера на юг. В первом случае температура рельсов выше, чем во втором.

Таблица 6.3

Поправка к температуре воздуха для определения температуры рельсов,
расположенных с запада на восток при ясном небе

Месяц	Декада	Часы наблюдения												
		7	8	9	10	11	12	13	14	макс	15	16	17	18
Апрель	1	-	-	0	4	8	10	13	14	15	14	12	10	-
	2	-	-	1	6	10	12	14	15	16	15	13	11	-
	3	-	-	3	7	11	13	15	16	17	15	14	12	-
Май	1	-	-	5	9	12	15	16	17	18	17	15	13	-
	2	-	-	5	10	12	15	17	18	18	18	16	14	-
	3	-	-	7	10	12	15	18	18	19	18	16	14	-
Июнь	1	1	4	7	10	12	15	18	18	20	18	16	14	11
	2	1	4	7	10	12	15	18	18	20	18	16	14	11
	3	1	4	7	10	12	15	18	18	20	18	16	14	11
Июль	1	1	4	7	10	12	15	18	18	20	18	16	14	11
	2	1	4	7	10	12	15	18	18	20	18	16	14	11
	3	1	4	7	10	12	15	18	18	20	18	16	14	11
Август	1	1	3	6	9	12	15	17	17	19	17	15	13	11
	2	0	1	4	7	11	14	16	16	18	16	14	12	11
	3	0	0	2	6	10	13	15	15	17	15	13	11	10
Сентябрь	1	-	-	1	5	9	13	15	15	17	15	13	10	-
	2	-	-	0	4	7	11	14	14	16	14	12	9	-
	3	-	-	1	3	6	9	12	12	14	12	9	6	-
Октябрь	1	-	-	2	2	5	7	10	10	12	10	8	-	-
	2	-	-	2	2	3	6	10	10	11	10	8	-	-
	3	-	-	2	1	2	4	9	9	10	9	7	-	-

Таблица 6.4

Поправка к температуре воздуха для определения температуры рельсов,
расположенных с севера на юг

Месяц	Декада	Часы наблюдения											
		7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Апрель	1	-	-	7	8	9	8	8	9	9	10	11	-
	2	-	-	8	10	11	10	9	10	10	11	12	-
	3	-	-	10	11	12	11	10	10	10	12	13	-
Май	1	-	-	13	14	14	14	13	13	13	14	15	-
	2	-	-	13	15	14	14	14	14	14	15	16	-
	3	-	-	15	15	14	14	14	14	14	15	16	-
Июнь	1	5	9	12	13	14	15	13	13	13	13	14	12
	2	5	9	12	13	14	15	13	13	13	13	14	12
	3	5	9	12	13	14	13	13	13	13	13	14	12
Июль	1	5	9	12	13	14	15	13	13	13	13	14	12
	2	5	9	12	13	14	15	13	13	13	13	14	12
	3	5	9	12	13	14	15	13	13	13	13	14	12
Август	1	4	8	11	13	14	15	13	12	12	12	13	12
	2	3	6	9	11	13	14	11	11	11	11	12	12
	3	1	4	7	10	12	13	10	10	10	10	11	11
Сентябрь	1	-	-	6	8	10	11	9	9	10	10	10	-
	2	-	-	5	7	8	9	8	8	9	9	9	-
	3	-	-	4	6	7	7	6	6	7	6	6	-
Октябрь	1	-	-	0	3	5	4	5	4	4	5	-	-
	2	-	-	1	3	3	3	3	4	4	5	-	-
	3	-	-	1	2	2	1	2	3	3	4	-	-

Поправки прибавляются к максимальной температуре воздуха в 13 часов.

Опасным считается нагрев рельсов весной до +25 С, а летом до +40 С и выше.

На состояние пути влияют также:

- весенние оттепели, вызывая перекосы и просадки пути, благодаря быстрому оттаиванию балластной призмы;
- ранние и длительные морозы, создающие пучины;
- сильные обложные и ливневые дожди, размывающие насыпи и вызывающие оползни на откосах;
- туманы, осложняющие проведение путевых работ;
- весенние и дождевые паводки на дорогах на юге России, которые подмывают опоры мостов, а в низких поймах и земляное полотно;
- интенсивное снеготаяние, которое нарушает нормальную работу электрических рельсовых цепей.

Второй по степени зависимости от погоды является **служба сигнализации и связи**. На её работу влияет низкая (менее -25°C) и высокая (более 30°C) температура воздуха и резкие (более чем на 10°C) колебания температуры; осадки, туманы, гололёдно-изморозевые отложения, грозы и ветер.

Повышение температуры воздуха до $t \geq 30$, вызывает провисание проводов. При ветре происходит касание проводов и такое сильное их раскачивание, что провода, особенно старые и подвергшиеся коррозии, рвутся.

Жара и сильные морозы выводят из строя устройства автоблокировки (управление сигналами). При этом возможна самопроизвольная смена сигнала (например, красного на зелёный). Понятно чем это грозит.

Дождь, морось, туман влияют на слышимость, снижая её иногда до полного исчезновения. Следует отметить, влияет не количество и интенсивность, а их продолжительность. Влияние же тумана на слышимость связана не только с продолжительностью, но и с интенсивностью.

Отложение гололёда и снега свыше 20 мм, особенно в сочетании с ветром приводит к обрыву проводов и поломке столбов линий связи.

Гроза иногда выводит из строя устройство сигнализации централизации и блокировки.

Сильный ветер ≥ 15 м/с часто приводит к обрыву телефонно-телеграфных проводов, а при ветре со скоростью ≥ 20 м/с может произойти и повалка столбов.

Аналогичные метеорологические факторы или часть их, влияют на объекты **электрификации и энергетического хозяйства**. Так, например, ветер ≥ 15 м/с вызывает боковое смещение контактной сети, что может привести к сходу пантографа и его поломке, так же как и при отложении гололеда и мок-

рого снега, а ветер более 20 м/с разрушает ЛЭП так же, как и сильный гололед.

Особого внимания применительно к **ЛОКОМОТИВНОМУ ХОЗЯЙСТВУ** заслуживает учёт ветра в тяговых расчётах, которые определяют размеры состава, скорость движения поездов, расход топлива.

Правилами тяговых расчётов рекомендуется учитывать дополнительное сопротивление, обусловленное встречным или боковым ветром. Обычно это сопротивление принимается постоянным на всё время эксплуатации дороги. На самом деле сопротивление, обусловленное ветром, существенно меняется по магистрали и от сезона к сезону.

Ветер оказывает существенное влияние на увеличение воздушно-ветрового сопротивления. Причем увеличение воздушно-ветрового сопротивления за счёт скорости ветра имеет ясно выраженный годовой ход. Использование воздушно-ветрового сопротивления при нормировании поездной работы вместо принятого в настоящее время постоянного в течение всего года ветрового сопротивления позволяет обоснованно учесть влияние скорости ветра на воздушно-ветровое сопротивление. Полученные скорости эффективного ветра (табл. 6.5) можно также использовать и при оперативных расчётах воздушно-ветрового сопротивления с учётом прогноза скорости и направления ветра на железной дороге.

Таблица 6.5

Скорость эффективного ветра (м/с) для железнодорожного состава с техническими характеристиками $v = 0,5$ м, $h = 3,15$ м, $C_x = 1,366$, $N = 11$ вагонов, $S_0 = 10,95$ м², $V_{п} = 60$ км/ч

Скорость фактического ветра, м/с	1*	СВ	Ю	СЗ	3	В	Скорость фактического ветра, м/с	1*	СВ	Ю	СЗ	3	В		
		ЮВ	С	ЮЗ					ЮВ	С	ЮЗ				
	2*	СЗ	С	СВ				В	3	2*	СЗ			С	СВ
		ЮЗ	Ю	ЮВ							ЮЗ			Ю	ЮВ
3*	СВ	3	ЮВ	Ю	С	3*	СВ	3	ЮВ	Ю	С				
	СЗ	В	ЮЗ				СЗ	В	ЮЗ						
4*	ЮВ	3	СВ	С	Ю	4*	ЮВ	3	СВ	С	Ю				
	ЮЗ	В	СЗ				ЮЗ	В	СЗ						
0		0	0	0	0	0	20		23	11	-9		20		
2		2	1	0	-2	2	22		25	12	-11		22		

Продолжение таблицы 6.5

4		5	3	-1	-5	5	24		28	13	-16		24
6		7	4	-1	-6	6	26		30	14			26
8		9	5	-2	-8	8	28		32	15			28
10		12	6	-3	-10	10	30		34	15			30
12		14	7	-4	-12	12	32		37	16			32
14		16	8	-5	-14	14	34		39	16			34
16		18	9	-6	-16	16	36		41	17			36
18		21	10	-7		18	38		43	18			38
							40		45	18			40

Примечания:

1* – при движении поезда с запада на восток,

2* – при движении поезда с востока на запад,

3* – при движении поезда с юга на север,

4* – при движении поезда с севера на юг.

Оценка сопротивления воздуха движению поездов.

Сила сопротивления воздушной среды, в которой движется транспорт, оказывает тормозящее воздействие на подвижной состав. Это воздействие проявляется в лобовом давлении воздушной среды, сопротивлении поверхностного трения, в усилении фрикционного трения ходовых частей вследствие прижатия ветром подвижного состава к одной из нитей рельсовой колеи.

Лобовое давление на поезд может быть вычислено по формуле:

$$W_{л} = \frac{C_x \rho}{2} (V_{п} + V_{э})^2 S_0, \quad (6.17)$$

где C_x – коэффициент воздушного сопротивления;

ρ – плотность воздуха;

S_0 – Миделево сечение поезда;

$V_{п}$ – скорость поезда;

$V_{э}$ – скорость эффективного ветра.

Выражение для скорости эффективного ветра:

$$V_{э} = \sqrt{\frac{(S_0 + N_{в} \text{htg} \beta)(V_{п}^2 + V_{в}^2 + 2V_{п}V_{в} \cos \alpha) \cos^2 \beta}{S_0}} - V_{п} \quad (6.18)$$

Выражение (6.18) справедливо, когда составляющая скорости фактического ветра, совпадающая с направлением движения состава, не превышает скорости поезда. При равенстве этих величин лобовое сопротивление

становится равным нулю и при дальнейшем росте скорости ветра выражения (6.17), (6.18) теряют смысл. Из выражения (6.18) следует, что $V_{\text{э}}$ определяется скоростью и направлением ветра, а также рядом характеристик самого железнодорожного состава. С помощью (6.18) можно оценить влияние скорости и направления ветра на воздушное сопротивление. Для этого, прежде всего, необходимо вычислить скорость эффективного ветра при различных сочетаниях скорости и направления фактического ветра. Результаты вычислений для железнодорожного состава с техническими характеристиками $v = 0,5$ м, $h = 3,15$ м, $C_x = 1,366$, $N = 11$ вагонов, $S_0 = 10,95$ м², $V_{\text{п}} = 60$ км/ч представлены в табл. Знак минус в табл. 6.6 означает, что эффективный ветер совпадает по направлению с движением поезда и уменьшает воздушное сопротивление состава. Результаты расчётов сопротивления поезда по формуле (6.17) с использованием данных об эффективном ветре, содержащихся в табл., представлены в табл. Рассматривая данные 5-го и 6-го столбцов этой таблицы, мы видим, что сопротивление движению поезда с ростом скорости ветра уменьшается. Объясняется это тем, что эффективный ветер для этих столбцов 0, т.е. является попутным, ускоряющим движение поезда.

Таблица 6.6

Значение составляющей $W_{\text{л}}$ воздушно-ветрового сопротивления поезда (в ньютонах) при $V_{\text{п}} = 60$ км/ч. (Технические характеристики поезда и обозначения соответствуют данным таблицы 6.5)

Скорость фактического ветра	1	СВ ЮВ	Ю С	СЗ ЮЗ	3	В
	2	СЗ ЮЗ	С Ю	СВ ЮВ	В	3
	3	СВ СЗ	3 В	ЮВ ЮЗ	Ю	С
	4	ЮВ ЮЗ	3 В	СВ СЗ	С	Ю
0		2793	2793	2793	2793	2793
2		3504	3139	2793	2163	3504
4		4720	3889	2468	1369	4720
6		5632	4295	2468	1144	5166
8		6624	4720	2163	756	6118
10		8262	5166	1878	447	7150
12		9455	5632	1614	219	8262

Продолжение таблицы 6.6

14		10729	6118	1369	72	9455
16		12083	6624	1144	5	10729
18		14264	7150	940		12083
20		15819	7696	591		13517
22		17454	8262	323		15031
24		20058	8849	5		16627
26		21894	9455			18302
28		23811	10082			20058
30		25808	10082			21894
32		28954	10729			23811
34		21153	10729			25808
36		33431	11396			27886
38		25790	12083			30044
40		38230	12083			32282

Для расчёта сопротивления течению $W_{\text{тр}}$ также необходимо знать $W_{\text{л}}$ и определить коэффициент γ , т.е.

$$\frac{W_{\text{тр}}}{W_{\text{л}}} = \gamma \quad (6.19)$$

Коэффициент γ рассчитывается по техническим характеристикам поезда B , h , L и коэффициентам: аэродинамического сопротивления C_x и трения воздуха C_F .

В заключение следует отметить, что воздушно-ветровое сопротивление поезда зависит не только от формы и размеров подвижного состава, скорости движения поезда и скорости и направления ветра, но и от температуры воздушной среды и атмосферного давления. Зависимость силы тяги от температуры и давления учитывается с помощью коэффициентов k_t и k_p , которые указаны в правилах тяговых расчётов.

Для уменьшения воздушно-ветрового сопротивления движению состава необходимо:

- создавать локомотивы более обтекаемой формы, у пассажирских поездов плотно закрывать междвагонные промежутки, по возможности уменьшать количество и габариты деталей, крепящихся на внешних поверхностях вагонов;

- при формировании составов грузовых поездов за локомотивом располагать сначала крытые вагоны, затем полувагоны, за ними – платформы; следует компактно размещать грузы на платформах и в полувагонах;

- при увеличении скорости движения поездов, в частности, при создании высокоскоростного наземного транспорта, работающего на скоростях 300-400 км/ч, следует иметь в виду, что определяющей силой сопротивления движению является воздушно-ветровое, по сравнению с которым механическое сопротивление является весьма малой величиной;

- понижение температуры воздуха способствует увеличению воздушно-ветрового сопротивления от дня к ночи на несколько процентов, а от лета к зиме на 40-50 %;

- с понижением атмосферного давления воздушное сопротивление несколько уменьшается (в циклонах W_B меньше, чем в антициклонах на несколько процентов).

Использование прогностических данных скорости и направления ветра, о температуре и давлении воздуха в практике тяговых расчётов обеспечит экономию эксплуатационных расходов на железнодорожном транспорте.

Вагонная и пассажирская службы также требуют на этапах конструирования вагонов и их эксплуатации привлечения климатических данных.

Грузовые и пассажирские вагоны находятся в постоянной эксплуатации и часто в течение короткого времени (сутки или несколько суток) оказываются в разных климатических условиях. Например, пассажиры, которые выезжают в апреле из Мурманска, где ещё зима, через 36 часов приезжают в Москву, где уже весна в полном разгаре, а ещё через сутки их встречает Адлер летней погодой.

Поэтому, чтобы создать для пассажиров комфортабельные условия, необходима специальная подготовка пассажирских составов.

Эксплуатация грузовых вагонов, оборудованных скользящими подшипниками, тоже представляет определённые трудности. Уязвимым местом здесь является буксовый узел. При попадании воды в него ухудшается подача смазки, что вызывает нагрев буксового узла и может привести к излому шейки оси вагона. Доступ воды в буксовый узел возможен в двух случаях:

- если во время движения в него попадает снег;
- если на внутренних стенках буксового узла образуется иней при переходе вагона из района с положительными температурами воздуха в район с отрицательными температурами; когда снег или иней растают, получается, как говорят, обводнение буксового узла, что и приводит к ухудшению подачи смазки к оси вагона.

Но наиболее опасным метеорологическим фактором является температура воздуха $\leq -25^{\circ}\text{C}$, особенно если такая температура сохраняется длительное время. При такой температуре воздуха происходит замораживание пассажирских вагонов, то есть выход из строя водяной отопительной системы: раз-

рыв котла и труб, появление ледяных пробок в магистрали. Восстановление замороженных вагонов дело длительное и дорогостоящее.

Контейнерные перевозки зависят в основном от ветра, сильного ливня и тумана. В зависимости от конструкции кранов на них разрешена работа до определённой скорости ветра. Нижний предел, при котором запрещено работать на кране составляет ветер со скоростью 12 м/с.

Сильные ливневые дожди приводят иногда к обесточиванию кранов также как и туман, а также снижают работоспособность людей.

Ведущей службой на дороге является **служба движения**. Чёткая, устойчивая работа возможна только при взаимодействии с другими службами дороги. Поэтому обо всех особо опасных явлениях погоды, ожидаемых или имеющих место на дороге, должны знать руководители службы движения и её оперативно-распределительный отдел.

К метеорологическим факторам, непосредственно влияющим на работу служб движения, относятся сильные снегопады, метели и ветер (≥ 15 м/с). Они затрудняют подготовку территории станций к приему и отправке поездов, работу на сортировочных «горках», требуют крепления подвижного состава на путях.

При проектировании новых и реконструкции старых узлов и станций необходимо учитывать их пропускную и перерабатывающую способность с учётом перспективы развития узловых станций. Важным звеном сортировочных станций, является сортировочная горка, с помощью которой происходит сортировка вагонов по назначениям следования. Проектируемые горки имеют различную мощность, которая зависит от их высоты. При расчёте же высоты горки следует учитывать нестандартные климатические данные по температуре наружного воздуха, направлению и скорости ветра как для зимы, так и для лета [Сюзюмова, Романенко, 1979]. Иногда проектируют две горки: зимнюю и летнюю.

Для бесперебойной сортировки вагонов расчётная высота горки должна обеспечивать скатывание четырёхосного порожнего крытого вагона «плохого бегуна» до некоторой расчётной точки при неблагоприятных условиях скатывания. Расчётная точка находится на расстоянии не менее 50 м от подножья горки. Высота горки может регулироваться временным подъёмом горба (наиболее высокой части горки). Для горок, фактическая высота которых меньше расчётной, в условиях низких температур наружного воздуха (ниже -250°C) при проектировании предусматривается временный подъём горба.

В условиях низких температур наиболее опасными являются встречные ветры, которые замедляют движение вагонов, что вызывает замерзание смазочных масел в буксах. Летом надо учитывать продольную составляющую

попутного ветра, так как она вызывает ускорение скатывания вагона, и поэтому при сильных ветрах для летней горки предусматривается строительство дорогостоящих дополнительных смазочных устройств.

Пример расчета высоты горки можно найти в [Зябриков, Кобышева, Циркунов, 2000].

7. БИОКЛИМАТОЛОГИЯ

Климатологическая информация учитывается при решении следующих основных проблем биоклиматологии человека:

- климатология, курортология и климатофизиология, т.е. вопросы воздействия погоды и климата на человека;
- акклиматизация;
- гигиенические и биоклиматические аспекты, влияющие на производственную деятельность человека.

7.1 Воздействие климатических условий на здоровье человека (климатофизиология)

Анализ всех воздействий окружающей среды на человека показывает, что наиболее существенными для здоровья, самочувствия человека и его жизнедеятельности (работоспособности, производительности труда) являются факторы, которые определяют его тепловое состояние. При особо неблагоприятных сочетаниях этих факторов возникает угроза переохлаждения или даже обморожения, или же перегрева организма (теплового или солнечного удара).

Общеизвестно, что тепловое состояние человека существенно зависит от окружающей микроклиматической обстановки. Однако следует подчеркнуть, что микроклиматические параметры сами по себе еще не характеризуют в количественном отношении тепловое состояние организма. Необходим переход от метеорологических характеристик зоны жизнедеятельности человека к таким показателям теплового состояния человека, которые бы выражали соответствующие физиологические реакции организма на воздействие окружающей среды и в то же время поддавались количественному учету.

В настоящее время существует большое число различных методов оценки теплового состояния человека. Одним из них является использование «комплексных биоклиматических показателей» (которые, по сути, являются формализацией комплекса метеорологических факторов: температура воздуха, скорость ветра, влажность, атмосферное давление и т.д.), определяющих уровень тепловой нагрузки на человека. Как правило, эти индексы определяют диапазон значений метеорологических факторов, при которых человек будет чувствовать себя комфортно или (индексы холодного стресса и теплово-

го удара) дискомфортно. Т.е. биоклиматические индексы – показатели субъективного восприятия комфорта/дискомфорта.

7.1.1 Биоклиматические индексы

Почти все параметры климата влияют на жизнь человека, однако наиболее существенными из них являются состав атмосферного воздуха, атмосферное давление, температура, относительная и абсолютная влажность воздуха, скорость ветра, солнечная радиация. Наиболее объективная оценка особенностей биометеорологических условий получается на основе комплексного учета упомянутых метеорологических элементов- биоклиматических индексов.

В зависимости от сочетания элементов, входящих в биоклиматические индексы, их условно можно разделить на температурно-влажностные, температурно-ветровые, температурно-влажностно-ветровые и т.д. Поскольку основной составляющей индексов является температура воздуха, то эффект воздействия комплекса элементов выражается в виде поправки к температуре воздуха, учитывающей теплоощущения человека и состояние его комфортности.

Из большого разнообразия существующих в биоклиматологии методов оценки влияния климата на человека здесь мы приведем лишь наиболее часто используемые при биоклиматической оценке городов, мест отдыха и туризма. Основной акцент будет сделан на комплексные показатели, отражающие тепловое состояние человека: это тепловой баланс тела человека, температурные шкалы и индексы, классификации погод по степени благоприятности их воздействия на человека.

В таблице 7.1 представлена классификация наиболее часто используемых в нашей стране биоклиматических индексов по [Головина, Трубина, 2000; Трубина, 2002, 2004].

Таблица 7.1

Температурно-влажностные показатели

БМП	Расчетная формула	Примечание
ЭТ (°С) – эффективная температура (по А.Миссенарду).	$ЭТ = t - 0,4 * (t - 10) * (1 - f/100);$ t – температура воздуха (°С), f – относительная влажность (%).	Характеризует температуру сухого воздуха, насыщенного водяным паром, используется для биоклиматической классификации и районирования (для всех сезонов года). Изолинии ЭТ называются изоэстесами.

DI (баллы) – индекс дискомфорта (США) или ТВИ температурно-влажностный индекс (по Тому).	$DI = 0,4 * (T + T_{cm}) + 4,8;$ T и T_{cm} – соответственно температура сухого и смоченного термометра ($^{\circ}C$).	Эмпирический показатель при отсутствии ветра аналогичен показателю ЭТ.
DY (баллы) – индекс дискомфорта (Япония).	$DY = 0,99 * T + 0,36 * T_d + 41,5;$ T_d – температура точки росы ($^{\circ}C$).	Нормальное теплоощущение при $60 \leq DY \leq 70$.

Температурно-влажностно-ветровые показатели (для теневых пространств).

БМП	Расчетная формула	Примечание
ЕТ ($^{\circ}C$) – показатель Миссенарда тепловой чувствительности человека.	$ЕТ = 37 - ((37 - t) / (0,68 - 0,0014f + 1(1,76 + 1,4 v^{0,75}))) - 0,29t (1 - f/100).$	Характеризует теплоощущения одетого человека. Используется для биоклиматической глобальной классификации. Имеются группы с 12-ти и 6-ти градусными ступенями ЕТ.
ЭЭТ ($^{\circ}C$) - эквивалентно-эффективная температура (В.И.Русанов).	$ЭЭТ = t[1 - 0,003 * (100 - f)] - 0,385 v^{0,59} * [(36,6 - t) + 0,662 * (v - 1)] + [(0,0015 * v + 0,008) (36,6 - t) - 0,0167] * (10 - f)$	Определены степени комфорта для раздетого человека ($17,3 \leq ЭЭТ \leq 20,7$).
НЭЭТ ($^{\circ}C$) - нормальная ЭЭТ (по И.В.Бутьевой)	$НЭЭТ = 0,8 ЭЭТ + 7^{\circ}C$	Зона комфорта существует в пределах $17,2 - 21,7^{\circ}C$. Значение НЭЭТ, в котором люди чувствуют себя комфортно, составляет $18^{\circ}C$.

**Температурно-влажностно-ветровые показатели, учитывающие
солнечную радиацию**

БМП	Расчетная формула	Примечание
<p>Q_s (кВт/м²) – оценка теплоощущений – сальдо теплового баланса (по В.И.Русанову). Индекс используется для построения модели теплового состояния человека и дает объективную оценку степени функционального напряжения терморегуляционной системы человека.</p>	<p>$Q_s = (ct \cdot g \cdot h / \pi) \cdot S + 0,5 D) \cdot (1 - \alpha) + M + 0,004 \text{ ЭЭТ} - 0,98;$ S – прямая солнечная радиация, кВт/м²; D – рассеянная солнечная радиация, кВт/м²; h – высота солнца, град.; α – альbedo кожи; M – теплопродукция человека, кВт/м². Упрощенный метод расчета: $Q_s = 0,04 \cdot \text{ЭЭТ} - 0,98$</p>	<p>Эмпирическая формула, в основу которой положено уравнение теплового баланса тела человека. В основе классификации погоды момента В.И.Русанова (с учетом терморегуляторных реакций человека), используются рассчитанные Q_s для типов погоды, определяются режимы труда и климатотерапии при различных классах погоды момента теплого и холодного периодов. Классификация по Q_s теплоощущению человека: $Q_s > 0,10$ – жарко, $0,10 < Q_s < -0,05$ – тепло; $-0,06 < Q_s < -0,30$ – комфортно; $-0,31 < Q_s < -0,65$ – прохладно; $-0,66 < Q_s < -0,98$ – холодно; $Q_s < -0,98$ – резко холодно.</p>

<p>С (ед. кло) – теплоизоляция одежды (1 кло соответствует термическому сопротивлению одежды, равному $0,155 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{Вт}^{-1}$)</p>	<p>$C = -3,7 \cdot Q_s - 0,15$ Q_s – интенсивность дефицита или избытка тепла в организме человека, $\text{кВт}/\text{m}^2$</p>	<p>Позволяет объективно оценить теплоизоляцию комплекта одежды для поддержания теплового комфорта. Используется для биоклиматического районирования территорий и выделения зон по летним и зимним условиям теплоизоляции одежды.</p>
<p>K_T (баллы) – коэффициент дискомфорта климата (по В.И.Русанову)</p>	<p>$K_T = (K_{LO_i} \cdot D_i - K_{LO_k} \cdot D_k) / (K_{LO_k} \cdot D)$ K_{LO_i} – средняя месячная теплоизоляция одежды, обеспечивающая комфорт; D_i – число дней в i-том месяце; K_{LO_k} – теплоизоляция одежды при комфортных условиях, равная 1 кло; D_k – число дней с комфортной погодой в исследуемом периоде; D – число дней за весь исследуемый период.</p>	<p>В зависимости от величины коэффициента K_T выделены зоны дискомфорта климата: 1 – абсолютного дискомфорта, $K_T > 8,0$; 2 – экстремального дискомфорта, $7,9 - 6,0$; 3 – дискомфорта, $5,9 - 4,0$; 4 – относительного дискомфорта, $3,9 - 2,0$; 5 – относительного комфорта, $1,9 - 1,0$; 6 – комфорта, $K_T < 1,0$</p>
<p>РЭЭТ ($^\circ\text{C}$) – радиационная эквивалентная температура (по Г.В.Шелейховскому и с уточнением В.И.Русанова)</p>	<p>$РЭЭТ = 125 \cdot 1g [1 + 0.02 \cdot t + 0.0001 \cdot (t - 8) \cdot (f - 60) - 0.0045 \cdot (33 - t) \sqrt{v} + 0.129\beta]$; $\beta = Q(1 - \alpha)$; β – солнечная радиация, поглощенная поверхностью тела; Q – суммарная солнечная радиация; α – альбедо (с учетом пигментации) кожи:</p>	<p>Характеризует теплоощущения одетого человека с учетом комплексного воздействия метеофакторов и интенсивности солнечной радиации. Используются для оценки теплоощущений человека в теплое время. Выделены оптимальные диапазоны</p>

	<p>значение 0,28 для не пигментированной кожи, 0,11 – для пигментированной.</p> <p>Упрощенный метод расчета:</p> $РЭЭТ = 6,2 + НЭЭТ$ $РЭЭТ = 0,83 \cdot ЭЭТ + 12 \text{ } ^\circ\text{C}$	<p>РЭЭТ:</p> <p>17 – 21 °С – южные районы;</p> <p>13 – 18 °С – умеренные районы;</p> <p>10 – 18 °С – северные районы;</p> <p>Оптимальная РЭЭТ = 18 °С.</p> <p>Метод Б.А.Айзенштата использует РЭЭТ в качестве показателя напряженности терморегуляторной системы человека, – определяет степень нагрузки организма в условиях жаркого климата.</p>
<p>БАТ (°С) – биологически активная температура</p>	$БАТ = 9 \text{ } ^\circ\text{C} + 0,8 \cdot НЭЭТ$	<p>Характеризует теплоощущения одетого человека с учетом радиации, отраженной поверхностью Земли. Определена зона комфорта (10 < БАТ < 20).</p>
<p>$T_{пр}$ (°С) – индекс “приведенной температуры” (по В.Н.Адаменко, К.Ш.Хайруллину).</p>	$T_{пр} = t - 8 \cdot \sqrt{v} + Q;$ <p>Q – радиационная добавка (см. стр. 298).</p>	<p>Используются для оценки теплоощущений человека в холодное время. Оценка степени дискомфорта: $T_{пр} < -17 \text{ } ^\circ\text{C}$ – ограничение пребывания на воздухе больных; $T_{пр} < -28 \text{ } ^\circ\text{C}$ – слабый дискомфорт; $T_{пр} < -38 \text{ } ^\circ\text{C}$ – жесткий дискомфорт; $T_{пр} < -42 \text{ } ^\circ\text{C}$ – полное прекращение пребывания на воздухе.</p>

Индексы холодного стресса

БМП	Расчетная формула	Примечание
<p>W (ккал/м² * ч) – ветро-холодовой индекс (по Сайплу).</p>	<p>$W = (9,0 + 10,9 \cdot \sqrt{v - v}) \cdot (33 - t);$ v – скорость ветра на высоте 2 м (м/сек).</p>	<p>Оценка теплоощущения проводится по шкале: W > 600 – прохладно; W > 800 – холодно; W > 1000 – очень холодно; W > 1200 – жестко холодно; W > 2500 – невыносимо холодно.</p>
<p>S (баллы) – индекс суровости (по Бодману).</p>	<p>$S = (1 - 0,04 \cdot t) \cdot (1 + 0,272 \cdot v);$</p>	<p>Дана шкала для характеристики “суровости погоды”: S < 1 – зима не суровая; 1 < S < 2 – зима мало суровая; 2 < S < 3 – умеренно суровая; 3 < S < 4 – суровая; 4 < S < 5 – очень суровая; 5 < S < 6 – жестко суровая; S > 6 – крайне суровая.</p>

<p>Т (баллы) – коэффициент жесткости погоды (по И.А.Арнольди).</p>	$T = t - 2 \cdot v$	<p>Увеличение скорости ветра на 1 м/с условно приравнивается к понижению температуры воздуха на 2 °С. Хорошо коррелирует с физиологическими данными, характеризующими тепловое состояние человека. При $T > 30$, пребывание и работа на воздухе ограничены, при $T > 45$ – недопустимы.</p>
<p>S_o (баллы) – модифицированная формула суровости – жесткость погоды суток (по И.М.Осокину).</p>	$S_o = (1 - 0,006 \cdot t) (1 + 0,006 \cdot H) \cdot K_v \cdot A_c;$ <p>Н – высота над уровнем моря (м); K_v – коэффициент учитывающий влияние относительной влажности воздуха; A_c – коэффициент учитывающий влияние суточной амплитуды температуры. Эти коэффициенты можно определить по таблице приведенной в [Осокин, 1968]</p>	<p>Суровость зимы S_o оценивается по шкале: $S < 1$ – мягкая; $1,1 < S < 2,0$ – зима мало суровая; $2,1 < S < 3,0$ – умеренно суровая; $3,1 < S < 4,0$ – суровая; $4,1 < S < 5,0$ – очень суровая; $5,1 < S < 7,0$ – жестко суровая; $S > 7$ – крайне жестко суровая. Не всегда адекватно отражает суровость погоды в различных климатических зонах.</p>
<p>Н (вт/м²/с) – индекс ветрового охлаждения (по Хиллу); N_c – сухое охлаждение; N_w – влажное охлаждение.</p>	$N_c = (0,13 + 0,47 \cdot \sqrt{v}) (36,6 - t);$ $N_w = N_c + (0,085 + 0,102 \cdot v^{0,3}) (61,1 - e)^{0,75};$ <p>e – упругость водяного пара.</p>	<p>Теплоощущения по индексу N_c оцениваются по шкале (вт/м²): $< 0,35$ вт/м² – жарко; 0,6 – 0,9 – комфортно; $> 1,7$ – холодно; $> 2,3$ – экстремально холодно.</p>

		При $N_w = 4,5 - 5,5$ погода дискомфортная, при $N_w > 8,0$ погода абсолютно дискомфортная.
ЭШТ ($^{\circ}C$) – эквивалентно-штилевая температура (оценка “суровости погоды” производится без учета теплоизоляции одежды).	$ЭШТ = T - n \cdot \Delta T$; N – характеризует теплопродукцию; ΔT – поправка с учетом ветра.	Характеризует охлаждение под влиянием ветра с учетом подвижности человека (n): $N = 1$ – покой; $N = 2$ – легкая работа; $N = 3$ – средняя тяжесть; $N = 6$ – тяжелая работа. Существует шкала для значений ΔT [Русанов, 1981]
БИСМ (у.е.) - биоклиматический индекс суровости метеорежима (по В.Ш.Белкину).	$БИСМ = t \cdot (P - 226)(1 - 0,02 \cdot v) / 75 \cdot m \cdot K$; P - давление воздуха; m, K - коэффициенты влияния относительной влажности и прямой солнечной радиации.	Универсальный индекс, учитывающий влияние как низких, так и высоких температур, а также избыток или дефицит УФР. Применим для северных и горных территорий. Чем меньше индекс, тем больше дискомфортность климата: при БИСМ в пределах: 1.0 - 8.0 – комфорт; 7.9 - 7.0 – относительный комфорт; 6.9 - 6,0 – относительный дискомфорт; 5.9 - 4.0 – компенсируемый дискомфорт; менее 4.0 – некомпенсируемый дискомфорт

Индексы патогенности и изменчивости погоды и климата

БМП	Расчетная формула	Примечание
<p>I - общий индекс патогенности погоды (по В.Г.Бокша, Б.В. Богутскому.);</p> <p>I_1 - отражает состояние погоды суток по основным метеопараметрам,</p> <p>I_2 - отражает межсуточную изменчивость ЭМП, геомагнитного поля и солнечной активности.</p>	<p>$I = I_1 + I_2;$</p> <p>$I_1 = I_t + I_f + I_v + I_n + I_{\Delta p} + I_{\Delta t};$</p> <p>$I_t, I_f, I_v, I_n$ - характеризует среднесуточную изменчивость температуры, относительной влажности, ветра, облачности;</p> <p>$I_{\Delta p} + I_{\Delta t}$ - характеризует межсуточную изменчивость атмосферного давления и температуры воздуха;</p> <p>$I_2 = I_e + I_{\Delta m} + I_{\Delta s}$</p> <p>$I_e$ - характеризует электрическую активность атмосферы;</p> <p>$I_{\Delta m}, I_{\Delta s}$ - межсуточная изменчивость геомагнитного поля и межсуточное изменение солнечной активности.</p>	<p>Эмпирические соотношения, включающие частные клинические индексы погодной патогенности, определяемые как математические функции параметров погоды и солнечной активности. Интегральный метеорологический индекс I_1 указывает на характер раздражающего воздействия погоды на организм и оценивается следующим образом:</p> <p>$I_1 = 0 - 9$ - оптимальные;</p> <p>$I_1 = 10 - 24$ - раздражающие;</p> <p>$I_1 > 24$ - острые.</p> <p>Общий индекс патогенности I оценивается как:</p> <p>$I = 0 - 19$ - оптимальные;</p> <p>$I = 20 - 49$ - раздражающие;</p> <p>$I > 50$ - острые.</p>
<p>ТР - определяет тип погоды или класс погоды момента (КПМ);</p>	<p>Комплексы метеорологических величин и условий объединены в типы (классы) погоды. Каждый тип погоды определяется строго ограниченными интервалами метеопараметров (температуры, влажности воздуха, скорости ветра, нижней облачности, как косвенного показателя радиационного режима).</p>	<p>Классификация погоды (по И.В.Русанову) на основе комплексного учета основных метеопараметров. Выделено 13 классов погоды. Тип (класс) погоды характеризует величину теплового баланса человека в теплый период и степень суровости погоды в холодный.</p>

МИЗ (у.е.) – комплексный показатель метеорологический индекс здоровья (по Богаткину О.Н.)	В основе методики расчета лежат фактические значения температуры воздуха, относительной влажности, скорости ветра, атмосферного давления, облачности, осадков и коэффициента влияния погодных условий на здоровье человека	Для определения индивидуального балла комфортности К используются специальные шкалы. Оценка степени влияния дается в словесной форме как предупреждение. МИЗ индивидуален для каждого человека.
-------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Рассмотрим некоторые показатели более подробно.

7.1.1.1 Температурно-влажностные показатели

К основным параметрам, включаемым в информацию о влиянии климатических условий на человека, относятся температура воздуха и влажность.

Эффективная температура (E_T°). Показателем тепловой чувствительности является эффективная температура E_T . Этот показатель, получивший широкое распространение, характеризует теплоощущения одетого человека и получен опытным путем для ряда сочетаний температуры и относительной влажности воздуха при неподвижном воздухе, при которых эффект теплоотдачи и теплоощущения будет одинаковым. Одинаковое теплоощущение в неподвижном воздухе сохраняется при следующих сочетаниях T и f :

$T, ^\circ\text{C}$	17,8	18,9	20,1	20,7	21,7	3,22	23,2
$f, \%$	100	80	60	50	40	30	20

В зависимости от сезона года категории тепловых нагрузок оцениваются по +, - E_T следующим образом:

диапазон	теплоощущение	нагрузка
+ ET⁰		
более 30	очень жарко	сильная
30-24	жарко	умеренная
24-18	тепло	комфортно
18-12	умеренно тепло	комфортно
12-6	прохладно	
6-0	умеренно	
- ET⁰		
0 – -12	холодно	умеренная
-12 – -24	очень холодно	сильная угроза обмороживания
-24 – -30	крайне холодно	очень сильная угроза обмороживания
ниже -30	крайне холодно	чрезвычайно высокая вероятность замерзания

Аналитическое выражение для ET предложено А. Миссенардом

$$ET = T - 0,4(T - 10) \left(1 - \frac{f}{100} \right) \quad (7.1)$$

T – температура сухого термометра, °С; f – относительная влажность, %.

Некоторые показатели, полученные эмпирически, подтверждают величину ET. Это индексы дискомфорта DI (Том, 1957), DI_к (Кавамура, 1965) и DI_т (Тенненбаум, 1961)

$$DI = 0.4(T - T_{см}) + 4,8 \quad (7.2)$$

$$DI_K = 0.99T + 0.36T_d + 41.5 \quad (7.3)$$

$$DI_T = \frac{T + T_{см}}{2} \quad (7.4)$$

Где T – температура сухого термометра, °С; $T_{см}$ – температура смоченного термометра, °С; T_d – температура точки росы, °F

Все индексы при отсутствии ветра и при одинаковых тепловых нагрузках имеют небольшие отклонения от порогового значения, равного 24°С. Нормальные теплоощущения приходятся на оценки индексов DI и $DI_t < 70$ и $60 < DI_k < 70$.

В дальнейшем диапазон изменений тепловых свойств среды был расширен включением в число переменных скорости ветра.

7.1.1.2 Температурно-влажностно-ветровые показатели (для теневых пространств)

Эквивалентно-эффективная температура (ЕТ), являющаяся функцией температуры, влажности и ветра, и характеризующая теплоощущение человека в тени, рассчитывается по формуле А. Миссенарда.

$$ET = 37 - \frac{37 - T}{0,68 - 0,0014 \cdot f + \frac{1}{1,76 + 1,4v^{0,75}}} - 0,29T \left(1 - \frac{f}{100} \right) \quad (7.5)$$

где: T - температура, °С, f - относительная влажность, %, v - скорость ветра, м/с; ветер должен пересчитываться на высоту 1,5 м, т.е. скорость составляет 2/3 от скорости на стандартной высоте.

Пример. Пусть $T = 20$ °С, $f = 70$ %, $v = 2$ м/с. В этом случае

$$ET = 37 - \frac{37 - 20}{0,68 - 0,0014 \cdot 70 + \frac{1}{1,76 + 1,4 \cdot 2^{0,75}}} - 0,29 \cdot 20 \left(1 - \frac{70}{100} \right) = 17,2^\circ\text{C}$$

Этот показатель характеризует теплоощущения одетого человека. Он использовался для глобальной классификации с 12° и 6° степенями, которые полностью подходят для диапазона тепла, удовлетворительно – для диапазона охлаждения, а для диапазона холода – в качестве предположительных критериев.

Существует несколько вариантов зон комфорта, т.е. диапазонов ЕТ, в которых человек испытывает оптимальное теплоощущение:

17,2 - 21,7°С - зона комфорта по определению американских ученых;

13,5 - 18,0°С - зона комфорта по Маршаку (наблюдения на Юж. Берегу Крыма)

10,0 - 18,0°C - зона комфорта по В.Ю. Милевскому (для ЕТР).

Для большей части людей комфортными являются температура воздуха 22,0-23,0°C и относительная влажность 56 %, что близко к 18° ЭЭТ.

Как показали опытные расчеты среднее значение ЭЭТ со сравнительно небольшой погрешностью (2°) можно получить, подставив в формулу лишь средние значения t , f и v .

В отечественных исследованиях используется еще одна, так называемая эквивалентно-эффективная температура (ЭЭТ), предложенная Б.А. Айзенштамом:

$$\text{ЭЭТ} = t[1 - 0,003(100 - f)] - 0,385v^{0,59}[(36,6 - T) + 0,622(V - 1)] + [(0,0015V + 0,008)(36,6 - T) - 0,0167](100 - f). \quad (7.6)$$

где: T - температура, °C, f - относительная влажность, %, v - скорость ветра, м/с.

Степени комфорта для этого показателя для раздетого человека ($17,3 \leq \text{ЭЭТ} \leq 21,7$) и одетого человека ($16,7 \leq \text{ЭЭТ} \leq 20,7$).

По повторяемости оценок ЭЭТ в пределах 17-22°C определяют потенциальные климатолечебные ресурсы местности.

Для условий, приведенных в примере 1

$$\text{ЭЭТ} = 20 * (1 - 0,003 * (100 - 80)) - 0,358 * 2^{0,59} * ((36,6 - 20) + 0,662 * (2 - 1)) + ((0,0015 * 2 + 0,008) * (36,6 - 20) - 0,0167) * (100 - 80) = 13,2$$

Недостатком этих индексов является то, что они не учитывают радиационное тепло. Поэтому ниже мы поговорим о температурно-влажностно-ветровых индексах в учетом солнечной радиации.

7.1.1.3 Температурно-влажностно-ветровые показатели (с учетом солнечной радиации)

РЭЭТ – радиационно-эквивалентная-эффективная температура, включающая дополнительно зависимость теплового состояния человека от радиации, оценивается специалистами как самый информативный индекс.

Согласно [Головина, Русанов, 1993] РЭЭТ может определяться по эмпирической формуле:

$$РЭЭТ = 1251g[1 + 0,02T + 0,001(T - 8)(f - 60) - 0,045(33 - T)\sqrt{V} + 1,129\beta] \quad (7.7)$$

где $\beta = \varepsilon(1 - \alpha)$ - поглощенная поверхностью тела солнечная радиация в квт/м²; $\alpha = 0,28$, $\alpha = 0,11$ - альбедо пигментированной и непигментированной кожи, ε - интенсивность солнечной радиации; для T, f, V - обозначения те же, что и в п. 5.1.1.2.

Приближенные оценки РЭЭТ для теплоощущений на солнце получают по приближенным соотношениям И.В. Бутьевой:

$$\begin{aligned} \text{РЭЭТ} &= \text{НЭЭТ} + 6,2^\circ\text{C}, \\ \text{или} & \\ \text{РЭЭТ} &= 0,83\text{ЭЭТ} + 12,0^\circ\text{C}. \end{aligned} \tag{7.8}$$

Оценка РЭЭТ характеризует климатолечебные ресурсы местности по радиационному режиму.

Методы анализа различного вида эффективно-эквивалентных температур обычно используются для теплого периода года. В холодный период показателем климатических условий обычно служат индексы дискомфорта.

7.1.1.4 Индексы холодового стресса

Тепловое состояние человека в холодный период года в основном определяется низкой температурой воздуха и скоростью ветра, которые особенно влияют на охлаждение незащищенных одеждой частей тела и органы дыхания.

Для оценки суровости погоды – фактора ограничивающего пребывание человека на открытом воздухе и обуславливающего потребность в соответствующей одежде, разработано большое количество коэффициентов, индексов, показателей холодового воздействия метеофакторов на организм.

Одним из наиболее популярных является метод Бодмана, предложившего следующий индекс оценки суровости:

$$S = (1 - 0,04 T) * (1 + 0,272 V), \text{ где} \tag{7.9}$$

S – индекс суровости, баллы

T – температура воздуха

V- скорость ветра.

Для удобства и быстроты расчетов, на основании данной формулы, Бодман предложил шкалу баллов, по которой в зависимости от температуры воздуха и скорости ветра определяется балл «суровости погоды».

В соответствии со шкалой, при:

S = 1 - зима несуровая, мягкая;

S = 1-2 - зима мало суровая;

S = 2-3 - умеренно суровая;

- S = 3-4 - суровая;
- S = 4-5 - очень суровая;
- S = 5-6 - жестко суровая;
- S > 6 - крайне суровая.

Основной недостаток данного метода заключается в том, что он не обоснован физиологически и не отражает реальную картину, или хотя бы близкую к ней, реакции организма человека на различные сочетания температурно-ветрового режима. Тем не менее, этот показатель довольно широко распространен в биоклиматической практике и, прежде всего, по-видимому, из-за простоты пользования им. В Наставлении по проведению метеорологических наблюдений на курортах, шкала суровости Бодмана рекомендована для характеристики погодных условий холодного времени года.

В дальнейшем формула Бодмана была уточнена И.М.Осокиным. Он ввел три поправочных, коэффициента и несколько изменил константы перед температурой воздуха и скоростью ветра.

$$S = (1 - 0.006t)(1 + 0.20V)(1 + 0.006HM) * K_B * A_c;$$

где

H - высота над уровнем моря, м;

K_B - коэффициент, учитывающий влияние относительной влажности на суровость погоды;

A_c - коэффициент, учитывающий роль суточных амплитуд температуры воздуха на суровость погоды.

Значения коэффициентов K_B и A_c определяются в зависимости от величины относительной влажности воздуха и суточной, амплитуды температуры.

Влияние отрицательных температур воздуха и скорости ветра на тепловое состояние оценивается также с помощью ветро-холодового индекса Сайпла, который рассчитывается по следующей формуле:

$$W = (9.0 + 10.9 \sqrt{V - V_0}) (33 - t), \quad (7.10)$$

где

t - температура воздуха, °C

V - скорость ветра на высоте 2м, м/с

W - ветро-холодовой индекс, ккал/м²ч. Оценка теплоощущения проводится по следующей шкале:

600 ккал/ м²ч - прохладно,

800 - холодно,

1000 - очень холодно,

1200 - жестко холодно
2500 - невыносимо холодно.

Индекс Сайпла более чем предыдущие баллы "жесткости погоды" отражает ощущение холода, которое испытывает человек, хотя и он не имеет серьезного научного обоснования, т.к. не учитывает влияния теплозащитных свойств одежды на теплоотдачу организма человека. Однако практически применимость его оправдана тем, что выносливость человека к воздействию низких температур, в конечном счете, определяется незащищенными частями тела, т.е. лицом и шеей.

Для оценки степени дискомфорта различных типов городской застройки и их мелиоративных возможностей в зависимости от радиационно-термического и ветрового режима холодного полугодия, В.Н.Адаменко и К.Ш.Хайруллин предложили метод "приведенных температур".

Под "приведенной температурой" они понимают температуру воздуха при штиле, при которой теплообмен с незащищенными частями тела /лица, шеи, рук/ такой же, как при конкретных значениях температуры воздуха, скорости ветра и радиационного баланса, т.е. "приведенные температуры" оценивают теплотери организма в условиях штиля. Величина "приведенной температуры" определяется по формуле:

$$T_{\text{ПР}} = T_{\text{В}} - 8.2 V^{0.5} + Q_{\text{R}} , \quad (7.11)$$

где

$T_{\text{В}}$ - температура воздуха, °С,

V - скорость ветра, м/с,

Q_{R} - радиационная добавка, Дж/см²

$$Q = \frac{2,5 \cdot B_0}{0,04 + 0,08 \sqrt{e^v}}$$

Радиационная добавка существенно влияет на тепловой баланс человека в целом, а также на температуру кожи открытых частей тела. При слабом ветре и температуре воздуха ниже 0°С вследствие радиационного нагрева температура кожи может повышаться на 15-20°.

В.Н. Адаменко и К.Ш. Хайруллин [Адаменко, Хайруллин, 1973] считают, что ощутимый результат радиационная добавка дает лишь в месяцы, когда высота солнца в полдень достигает 15° и выше, в остальных случаях достаточно учитывать лишь ветровую добавку. Они приводят таблицу, в которой указывают месяцы, где имеет смысл вводить радиационную поправку в зависимости от широты места.

Эта методика позволяет оценить не только мелиоративный эффект городской застройки в зависимости от реальных и возможных сочетаний температуры воздуха, скорости ветра и радиационного баланса, но и возможность выполнения различного вида работ или просто пребывания на открытом воздухе в зимний период.

Авторы формулы предложили пороговые значения приведенных температур по степени их неблагоприятного воздействия на тепловой режим человека;

-приведенные температуры выше -17°C , не предполагают никаких ограничений для пребывания людей на открытом воздухе;

-приведенные температуры ниже -17°C соответствуют условиям частично ограничивающим пребывание на улице только ослабленных людей или с расстройством сердечно-сосудистой системы;

-приведенные температуры ниже -28°C соответствуют условиям слабого дискомфорта. При нахождении на открытом воздухе в движении или на работе необходим 10-15-минутный обогрев в теплом помещении, через каждые 40-50 минут.

-приведенные температуры ниже -38° соответствуют условиям жесткого дискомфорта, при котором возможно обморожение лица даже при кратковременном появлении на улице. Требуется сокращение пребывания на открытом воздухе или рабочего времени на 30% против обычного. приведенные температуры ниже -42° соответствуют условиям жесткого дискомфорта, когда необходимо полное прекращение пребывания и выполнения любой работы на открытом воздухе. Предложенные пороговые значения довольно хорошо согласуются с границами дискомфорта, разработанными гигиенистами АМН СССР.

Наиболее часто условная температура используется при биоклиматической оценке холодного периода территорий Сибири, отличающихся суровыми климатическими условиями, разнообразным сложным рельефом, что в комплексе формирует жесткий биотермический режим и существенно лимитирует пребывание человека на открытом воздухе. В последние годы опубликовано достаточно большое количество работ, в которых с использованием условной температуры дается детальное биоклиматическое обоснование возможности освоения и охраны природно-климатических ресурсов отдельных регионов Западной и Восточной Сибири в связи с начавшимся или предполагаемым их дальнейшим заселением, рациональным использованием при промышленном и жилищном строительстве.

Следует отметить еще один индекс суровости климата, предложенный В.Ш. Белкиным [Белкин, Полторака, 1983]. БИСМ - биоклиматический индекс

суровости метеорежима, в основе которого лежит ряд эмпирических формул, необходимых для вычисления его интегрального значения. Можно сказать, что БИСМ - это эмпирическая мера комфорта, отражающая суровость климатического влияния на организм человека.

Для этого индекса в качестве оценки масштаба градации комфорта были выбраны следующие параметры среды: 1) комфортная температура 22 °С с экстремально положительной границей плюс 60 °С и экстремально отрицательной минус 90 °С (-89,3 °С зарегистрировано на станции Восток в Антарктиде); 2) комфортное барометрическое давление 1016 hPa с экстремальной границей 266 hPa; 3) комфортная скорость ветра 0 м/с, экстремальная 50 м/с; 4) комфортная относительная влажность 50 %, с экстремальными границами 0 и 100 %, при этом принято во внимание, что данный фактор не оказывает прямого летального действия на организм человека, но резко ограничивает его работоспособность и другие условия жизнедеятельности.

$$\text{БИСМ} = \frac{T_i + (P - 266)(1 - 0.2V)}{r_i \cdot S \cdot 75} \quad (7.12)$$

где T_i - температурный коэффициент; P - барометрическое давление, Гпа; V - скорость ветра, м/с; r_i - коэффициент относительной влажности; S - коэффициент солнечной радиации.

В идеале коэффициент БИСМ = 10, при экстремальных значениях всех членов уравнения БИСМ = 0.

Теперь кратко определим термины, введенные в формулу.

Пределы тепловой толерантности без защитной одежды имеют 38-градусный диапазон, расположенный в границах между 22 и -60 °С. С учетом этого температурный коэффициент T_i можно определить как

$$T_i = \begin{cases} 1 - 0.0089 \cdot (22 - T) & \text{при } T < 22 \\ 1 - 0.0263 \cdot (T - 22) & \text{при } T > 22 \end{cases}$$

$$T_i \approx 0 \text{ при } T \text{ от } -90 \text{ °С и } +60 \text{ °С,}$$

$$T_i = 1 \text{ при } T = 22 \text{ °С.}$$

Влияние фактора влажности на величину БИСМ и, соответственно, степень дискомфорта для организма человека оцениваются приблизительно в 30 %.

Исходя из этого допущения, коэффициент относительной влажности (r_i) можно определить из формулы:

$$r_i = \begin{cases} 1 - 0.6 \cdot \frac{(50 - r)}{100} & \text{при } r < 50 \\ 1 - 0.6 \cdot \frac{(r - 50)}{100} & \text{при } r > 50 \end{cases}$$

В формулу расчета БИСМ введено значение коэффициента солнечной радиации (S). Это крайне важно для северных регионов при объективной оценке степени дискомфорта, вызванного широтным изменением сезонной естественной инсоляции и повышением (с увеличением высоты местности H) радиации прямых солнечных лучей.

$$r_i = \begin{cases} 1 & \text{при } H < 2000 \text{ м} \\ 1 + 0.45 \cdot \frac{(H - 2000)}{1000} & \text{при } H > 2000 \text{ м} \end{cases}$$

По значениям БИСМ выделяются 5 уровней дискомфорта: комфорт (10.0-8.0 баллов); относительный комфорт (7,9 – 7.0 баллов), относительный дискомфорт (6,9 – 6.0 баллов), компенсируемый дискомфорт (5,9 – 4.0 балла); некомпенсируемый дискомфорт (4 и менее балла).

Разработанная формула БИСМ позволяет определить его величину в любой момент и в любой точке, где выполняются метеорологические наблюдения. В зависимости от характера используемой метеорологической информации, БИСМ может отражать как случайное, разовое сочетание метеорологических условий, так и характеризовать их за различные периоды времени - сутки, месяц, вплоть до многолетних климатических оценок.

Недостатком всех перечисленных индексов ветрового охлаждения является и их чисто «эмпирическое» происхождение. Основанные на предположении, что температура поверхности кожи должна оставаться на постоянно высоком уровне, они не учитывают лучистый и конвективный потоки тепла как самостоятельные процессы теплообмена и теплозащитные свойства кожных покровов и одежды.

7.1.1.5 Индексы теплового воздействия

Излишняя тепловая нагрузка в странах с умеренным, особенно — континентальным климатом, также представляет собой угрозу для состояния здоровья человека, находящегося на открытом воздухе. Вероятность получения «теплового удара» особенно высока в городской среде,

где фоновый уровень температуры воздуха повышается, а скорость ветра понижается по сравнению с открытой местностью. Актуальность применения индекса жары в России, отличающейся выраженной континентальностью климата, очевидна, поскольку даже в странах с гораздо более мягким климатом перегрев и переохлаждение лидируют среди всех причин смертности, обусловленной погодными условиями. Например, в США, по данным национальной службы погоды, за 1991—2000 годы от перегрева ежегодно погибает больше людей, чем от ураганов, торнадо и наводнений вместе взятых (41%).

Тепловой перегрев происходит тогда, когда окружающая человека среда (температура воздуха, влажность и скорость ветра), одежда и вид его деятельности взаимодействуют таким образом, что происходит повышение температуры тела. В этом случае включается терморегулирующая система тела, чтобы увеличить теплоотдачу от перегрева. Такая реакция может быть очень мощной и эффективной, но она может вызывать переутомление организма, которое приводит к дискомфорту, а иногда и к летальному исходу.

В мировой практике для оценки совместного воздействия на организм человека температуры и влажности воздуха используется «индекс жары» («Heat index» HI) [Steadman, 1979]. Связь индекса с температурой и влажностью воздуха можно приблизительно описать

$$HI = c_1 + H * (c_{14} + H * (c_{15} + c_{16} * H)) + T * (c_2 + H * (c_5 + H * (c_6 + c_7 * H))) + T * (c_3 + H * (c_8 + H * (c_9 + c_{10} * H))) + T * (c_4 + H * (c_{11} + H * (c_{12} + c_{13} * H)))$$

(7.13)

Где T – температура воздуха, °C, H - относительная влажность, %.

- c1 = - 0.429783, c2 = 0.6691767, c3 = 0.0102724, c4 = - 0.000125211,
- c5 = - 0.0737656, c6 = - 0.000228621, c7 = 0.000000103391,
- c8 = 0.000868291, c9 = 0.0000146039, c10 = - 0.00000000681059,
- c11 = 0.00000462416, c12 = - 0.000000070771, c13 = - 0.000000000156160
- c14 = 1.428556, c15 = - 0.00502815, c16 = 0.0000193122

Таблица 7.2

Значения индекса жары ($^{\circ}\text{C}$)

Температура, $^{\circ}\text{C}$	Относительная влажность (%)												
	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
47	69												
43	57	61											
41	51	55	58										
40	49	52	55	58									
39	46	49	52	55	58								
38	44	46	49	52	55	58							
37	42	44	46	49	51	54	57						
36	40	42	44	46	48	50	53	56					
34	36	37	39	41	42	44	46	48	51	53			
33	34	36	37	38	40	41	43	45	47	49	51		
32	33	34	35	36	37	39	40	42	43	45	47	49	52
31	31	32	33	34	35	36	37	39	40	42	43	45	47
30	30	31	31	32	33	34	35	36	37	39	40	42	43
29	29	29	30	31	31	32	33	34	35	36	37	38	40
28	28	28	29	29	30	30	31	32	32	33	34	35	36
27	27	27	28	28	28	29	29	30	30	31	32	32	33

Характер теплового воздействия при различных индексах жары представлен в таблице 7.3.

При применении ИЖ необходимо учитывать, что он определялся для людей среднего возраста и комплекции, находящихся в состоянии относительного покоя.

Таблица 7.3

Категория	Индекс жары, °С	Возможные расстройства здоровья для населения в группах высокого риска
Экстремальная опасность	54 и выше	Тепловой или солнечный удар
Опасность	41 - 54	Солнечный удар, мышечные судороги, спазм сосудов от перегрева при длительном воздействии и / или физической активности.
Экстремальная осторожность	32 - 41	Возможны солнечный удар, мышечные судороги, спазм сосудов от перегрева при длительном воздействии и / или физической активности.
Осторожность	27 - 32	Переутомление при длительном воздействии и / или физической активности.

При оценке метеорологических и климатических условий, воздействующих на человека в теплый период года, кроме оценки жары, используется понятие "душные погоды" т.к. установлено, что душная погода вызывает отрицательные реакции в организме человека, связанные с нарушением терморегуляции. Принято считать день душным, если в один из сроков метеорологических наблюдений, упругость водяного пара (абсолютная влажность воздуха) достигала или превышала 18.8мб.

Душный день можно представить как комплекс метеорологических характеристик (температуры воздуха и относительной влажности) через упругость водяного пара. Поскольку диапазон значений абсолютной влажности характеризующий душный день, велик, Н.Н.Акимович и О.А.Балалла [Акимович., Балалла , 1971] предложили классификацию душных погод по баллам "интенсивности духоты" в зависимости от упругости водяного пара.

Таблица 7.4

Интенсивности духоты

Интенсивность духоты, балл	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Парциальное давление водяного пара, гПа	18,8	20,8	22,8	24,8	26,8	28,8	30,8	32,8	34,8	36,8

С помощью номограммы (рис.7.1) для любого района умеренных широт, по сочетанию температуры воздуха и относительной влажности можно определить балл и зону интенсивности духоты. Причем, как отмечают авторы, нижний предел духоты наступает при температуре воздуха 16.8° и относительной влажности 100%, т.е. душные погоды при температуре ниже указанной, вообще не отмечается.

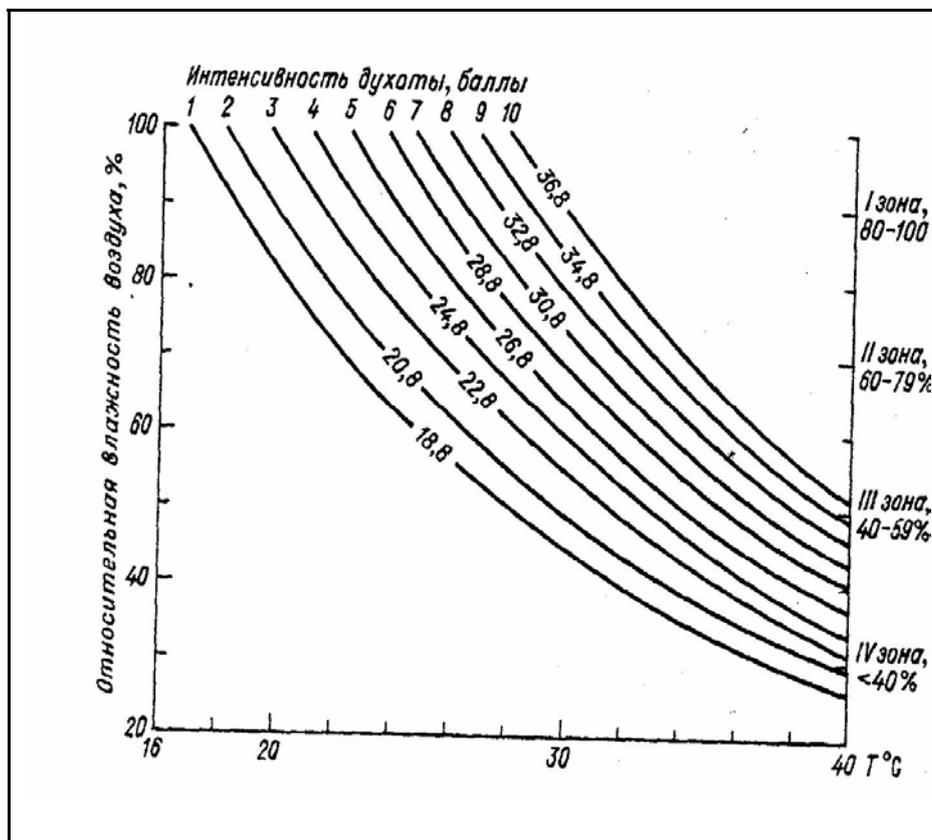


Рис. 7.1 Номограмма для определения интенсивности духоты

7.1.1.6 Индексы патогенности изменчивости погоды и климата

1. Г.Д. Латышев и В.Г. Бокша [Латышев, Бокша, 1965] для количественного определения степени раздражающего действия погодных факторов на организм человека предложили клинический индекс погоды (или общий индекс патогенности). Он складывается из частных индексов патогенности, отражающих динамику погоды суток по изменению температуры воздуха, влажности, скорости ветра, облачности, межсуточного изменения атмосферного давления, температуры и т.д. Оптимальные значения параметров патогенности, при которых возникает минимум метеопатических реакций: температура 18°C , относительная влажность 50%, скорость ветра 0 м/с, облачность 0 баллов, изменчивость давления - 0 мб/сут., изменчивость температуры - $0^{\circ}\text{C}/\text{сут.}$

Данный индекс указывает на степень раздражающего действия погоды на организм и представляет собой сумму индексов патогенности разных метеорологических величин

$$I = I_t + I_f + I_v + I_n + I_{\Delta p} + I_{\Delta t}; \quad (7.14)$$

где

I_t – индекс патогенности температуры воздуха. $I_t = 0,02(18 - t)^2$ при t меньше или равной 18°C ; $I_t = 0,2(t - 18)$ при t более 18°C , t – среднесуточная температура, $^{\circ}\text{C}$;

I_f – индекс патогенности влажности воздуха; $I_f = (f-70)/2$, f – среднесуточная относительная влажность (%);

I_v – индекс патогенности ветра; $I_v = 0,2v^2$, v – среднесуточная скорость ветра (м/с);

I_n – индекс патогенности облачности, который определяют по 11-балльной системе: 0 соответствует полное отсутствие облаков, а 10 баллов – сплошная облачность; $I_n = 0,06n^2$, n – балл облачности;

$I_{\Delta t}$ – индекс патогенности межсуточного изменения температуры. $I_{\Delta t} = 0,3(\Delta t)^2$, Δt – межсуточное изменение температуры воздуха, $^{\circ}\text{C}$

$I_{\Delta p}$ – индекс патогенности межсуточного изменения атмосферного давления. $I_{\Delta p} = 0,06(\Delta p)^2$. Δp – межсуточное изменение давления, гПа

Пример. Рассчитать индекс патогенности погоды в январе-феврале в Санкт-Петербурге и Сочи.

	I_t	I_f	I_v	I_n	$I_{\Delta t}$	$I_{\Delta p}$	I
Сочи	2.3	0.0	2.5	2.1	1.8	1.5	10
Санкт-Петербург	5.2	6.9	1.2	3.9	4.9	4.1	26

Суммарный метеорологический индекс патогенности указывает не на характер изменения погоды, а лишь на степень ее раздражающего воздействия на организм. В зависимости от величины I условия оцениваются как:

$I = 0$ — 9 - оптимальные, $I = 10$ — 24 - раздражающие, $I > 24$ - острые.

2. При оценке воздействия климата на организм человека, довольно распространенной является классификация погоды момента В.И.Русанова [Русанов, 1981]. В ней все многообразие метеорологических условий объединено в типы и классы погоды. Каждый тип погоды определяется строго ог-

раниченными интервалами температуры и влажности воздуха, скорости ветра и нижней облачности.

Создавая классификацию погоды момента для медицинской оценки климата, В.И.Русанов исходил из следующих положений: типы и классы погоды должны определяться данными стандартных метеорологических наблюдений и отражать теплообмен человека с окружающей средой; классификация погоды должна раскрывать метеорологическую структуру погоды, быть общей для большой территории, допускать механизированную обработку данных и в определенной мере обеспечивать сравнимость характеристик климата для целей медицины, полученных с использованием других методов.

В классификации погоды момента всё многообразие метеорологических условий объединено в типы и классы погоды. Каждый тип погоды определяется строго ограниченными интервалами температуры и влажности воздуха, скорости ветра и нижней облачности. При этом нижняя облачность рассматривается как косвенный показатель радиационного режима.

Все типы погод при температуре воздуха в диапазоне от 35 до -50°C , ограничены 5-ти градусными интервалами.

В зависимости от величины относительной влажности воздуха В.И.Русанов предложил выделять типы погоды по следующим градациям:

до 29% - очень сухо;

30-59% - сухо;

60-79% - умеренно сухо;

80-100% - влажно.

В зависимости от скорости ветра и его динамического воздействия на человека, В.И.Русанов предлагает следующие градации: скорость ветра –

до 1м/с - слабодинамическая

2-3м/с - среднединамическая

4-7м/с - сильнодинамическая

8-15 м/с - крайнединамическая

>15 м/с - штормовая.

Эти градации выбраны с учетом параболического изменения величины теплопотерь человеком в зависимости от скорости движения воздуха, что вытекает из анализа уравнений теплового баланса тела человека. Скорости ветра указанные при классификации погоды момента взяты на высоте флюгера, но при оценке ее влияния на тепловой баланс человека или при оценке суровости погоды, скорость ветра следует приводить к высоте 2м., т.е. $V_{2\text{м}} = 0.67 \cdot V_{\text{фл}}$

Типы погоды разделены на группы с ясной погодой - нижняя облачность 0-5 баллов и с облачностью - 6-10 баллов.

Тепловое состояние здорового, находящегося в покое и не защищенного одеждой человека, В.И.Русанов оценивал по величине дефицита или избытка тепла в организме и рассчитывал их по уравнению теплового баланса тела человека составленного для стационарных условий. Величина дефицита или избытка тепла в организме человека характеризует отклонение его от оптимального. По степени дефицита и избытка тепла при положительной температуре воздуха, автор данного метода выделил 8 классов погоды:

I - жаркая и сухая погода

II - теплая,

III - комфортная

IV - прохладная

V- холодная

VI- резко холодная

VII- жаркая и влажная

VIII- погода с положительной температурой воздуха, при скорости ветра более 15м/с

При отрицательной температуре воздуха термические условия пребывания человека на открытом воздухе оценивались по степени суровости погоды, влияния ее на охлаждение и ограничивающее пребывание его вне помещения.

Для характеристики степени суровости погоды В.И.Русанов использовал коэффициент жесткости погоды, предложенный И.А.Арнольди, согласно которому, каждый метр скорости ветра приравнивается к понижению температуры воздуха на 2° . "Условная температура" определяется по формуле:

$$T_y = t_B - 2 \cdot V,$$

где

T_y - условная температура, в $^{\circ}\text{C}$.

t_B - температура воздуха, $^{\circ}\text{C}$,

V - скорость ветра, м/с.

Условная температура отражает не только степень суровости погоды, но и определяет потребность человека в одежде, обеспечивающей тепловой комфорт при различной физической нагрузке. В.И.Русанов подтверждает наличие довольно тесной корреляции между T_y и величиной теплоизоляции одежды C , обеспечивающий тепловой комфорт и приводит уравнения регрессии для различной физической нагрузки:

человек в состоянии покоя: $C = 4.0 - 0.12T_y$;

при выполнении легкой работы: $C = 2.65 - 0.09T_y$;

при выполнении работы средней тяжести: $C = 1.3 - 0.06T_y$;

где, C - теплоизоляция одежды, обеспечивающая тепловой комфорт в единицах КЛО, $1\text{КЛО} = 0.155^\circ\text{C м}^2/\text{Вт}$ - тепловое сопротивление одежды.

Поскольку между скоростью движения воздуха и его охлаждающей способностью нет линейной зависимости, как это предполагается в методе И.А.Арнольди, то при выделении типов и классов морозной погоды В.И.Русанов предлагает принять интервал скорости ветра с учетом параболического закона влияния последнего нагревания тела. Поэтому охлаждающая способность воздуха в зависимости от температуры и скорости ветра при разных, классах погоды резко увеличивается при ветре до 5м/с и замедляется при больших скоростях.

В зависимости от "условной температуры" он выделил пять классов погоды момента при отрицательных температура воздуха:

- 1 - мягкая;
- 2 - умеренно суровая;
- 3 - суровая;
- 4 - очень суровая;
- 5 - крайне суровая;

По мнению В.И. Русанова, интенсивность дефицита тепла в организме человека и условная температура воздуха, с одной стороны тесно коррелируют с теплоизоляцией одежды, обеспечивающей тепловой комфорт, а с другой - одежда нивелирует биотермические свойства погоды, что искажает оценку влияния климата на тепловое состояние человека в изучаемых районах. Поэтому при выделении классов погоды момента в зависимости от интенсивности дефицита или избытка тепла в организме и условной температуры, тип одежды не принимался во внимание, т.е. В.И. Русанов учитывал лишь охлаждающую способность погоды.

3. О.Г. Богаткиным [Богаткин, 2006] была предложена простая методика определения метеорологического индекса (МИЗ), который позволяет любому человеку оценить, как погода и ее изменения будут влиять на его самочувствие в течение дня.

Используемыми характеристиками являются – температура воздуха, атмосферное давление, наличие облачности и осадков, скорость ветра, относительная влажность, а также величина изменения температуры и давления за прошедшие сутки. Всего - восемь характеристик погоды. Оценка влияния погоды на человека проводится по так называемым «баллам комфортности» для каждого элемента отдельно. Значения баллов комфортности для различных метеорологических величин приведены ниже в таблице (7.5)

Таблица 7.5

Баллы комфортности для различных метеорологических величин

Температура, °С	-30	-20	-10	0	10	20	25	30	35	40
Балл	0	1	2	3	4	5	4	3	2	1

Давление, мм	720	730	740	750	760	770	780
Балл	1	2	3	4	5	4	3

Скорость ветра, м/с	0	3	6	9	12	15
Балл	5	4	3	2	1	0

Относительная влажность, %	30	40	50	60	70	80	90	100
Балл	2	3	4	5	4	3	2	1

Наличие облаков	Ясно	Переменно	Пасмурно	Низкие облака
Балл	5	3	1	0

Наличие осадков	Нет	Слабые	Умеренные	Сильные	Очень сильные
Балл	5	4	3	2	1

Изменение температуры за сутки, °С	0	2	4	6	8	10
Балл	5	4	3	2	1	0

Изменение давления за сутки, мм	1-2	3-5	6-8	9-11	12-15	16-20
Балл	5	4	3	2	1	0

Значения баллов комфортности можно определять не только по таблице, но также по графикам или шкалам, которые могут быть построены по значениям табл.1.

МИЗ определяется очень просто, но сначала каждый человек самостоятельно определяет для себя коэффициент влияния K , который должен соответствовать, тому, как часто он реагирует на погоду и ее изменения.

Если человек не реагирует на погоду, то $K = 1,0$.

Если человек иногда реагирует на погоду, то $K = 0,9$.

Если человек часто реагирует на погоду, то $K = 0,8$.

Если человек всегда реагирует на погоду, то $K = 0,7$.

Коэффициент влияния K будет постоянным при любой погоде.

По информации о погоде: о температуре воздуха, атмосферном давлении, относительной влажности воздуха, скорости ветра, наличии облачности и осадков можно найти баллы комфортности для шести метеорологических величин. Их сумма не должна быть больше 30. Для более точного определения уровня комфортности можно использовать и две последние части табл.7.5. Для этого нужно знать величины изменения температуры и давления за сутки, а по ним определить баллы комфортности. Эти баллы следует сложить с ранее полученной суммой. В этом случае общая сумма баллов не должна превышать 40. По сумме баллов и постоянному коэффициенту влияния K , который каждый устанавливает себе сам, определяется МИЗ на сегодняшний день.

Если МИЗ рассчитан из максимальной суммы баллов 30 (без учета вчерашней погоды), то:

- при значениях МИЗ 26-30 погода практически не влияет;
- при значениях МИЗ 22-25 погода оказывает слабое влияние;
- при значениях МИЗ 17-21 погода оказывает умеренное влияние. и нужно быть внимательным к себе;
- при значениях МИЗ 12-16 погода оказывает сильное влияние. и нужно быть осторожным;
- при значениях МИЗ меньше 12 погода оказывает очень сильное влияние, и нужно поберечь себя.

Аналогичным образом, если рассчитывать МИЗ с учетом вчерашней погоды (максимально возможная сумма баллов равна 40), то:

- при значениях МИЗ 34-40 погода на вас практически не влияет;
- при значениях МИЗ 28-33 погода оказывает слабое влияние;
- при значениях МИЗ 22-27 погода оказывает умеренное влияние;
- при значениях МИЗ 16-21 погода оказывает сильное влияние;
- при значениях МИЗ меньше 16 погода оказывает очень сильное влияние

Метеорологический индекс здоровья не дает никаких медицинских рекомендаций, а просто предупреждает, какое влияние будет оказывать на индивидуума сегодняшняя погода. На основании этого можно оптимально спланировать на день физическую, деловую интеллектуальную активность.

Отметим, что каждый человек может определять МИЗ только применительно к своей реакции на погоду. Например, температуре воздуха 30°C по общей шкале соответствует индекс комфортности, равный 3. Однако одному при такой температуре будет слишком жарко, и он поставит вместо 3 баллов 1, а другому эта температура покажется комфортной, и может оценить ее в 5 баллов и т. д.

Пример: Расчет МИЗ в Сочи зимой в дни с наиболее комфортными и дискомфортными условиями.

Дата	f	б	n	б	v	б	r	б	p	б	t	б	Δp	б	Δt	б	МИЗ
09.01.68	35.6	3	10	0	20.0	0	0.1	4	745.4	4	14.6	4	8.3	2	13.8	0	17
10.01.71	55.5	5	0	5	0.6	5	0.0	5	760.9	5	9.8	4	1.1	5	0.2	5	39

Где: f - относительная влажность, %, n – количество облачности, балл, v – скорость ветра, м/с, r – количество осадков, мм, p- давление, мм.р.с. t- температура воздуха, Δp - изменение давления за сутки, мм, Δt- изменение температуры за сутки, °С, б -баллы.

Расчеты сделаны для человека, который не реагирует на погоду. Если человек всегда реагирует на погоду, то МИЗ будет соответственно $17 \cdot 0,7 = 12$ и $39 \cdot 0,7 = 27$. Следовательно, 9 января 1968 года погода будет оказывать сильное влияние в первом случае и очень сильное – во втором, а 10 января 1971 года – практически не будет влиять и может оказывать умеренное влияние соответственно.

7.1.1.7 Метод теплового баланса

Метод теплового баланса является наиболее объективным и удобным для различных биоклиматических оценок. Этот метод позволяет количественно оценить суммарные (а также по отдельным компонентам баланса) потери тепла организмом или же тепlopоступления к организму, выраженные в соответствующих тепловых единицах.

Для поддержания термостабильного состояния необходимо равновесие между теплообразованием и притоком тепла с одной стороны и потерями тепла - с другой. В общем виде тепловой баланс тела человека для условия теплового равновесия выражается следующим уравнением:

$$FLE = FR_k + FR_d + FP + P_l - LE_l + M \quad (7.15)$$

где F —эффективная поверхность тела, m^2 ; R_k и R_d — коротковолновый и длинноволновый баланс тела, $Вт \cdot m^{-2}$; P — теплообмен между телом и окружающим воздухом путем конвекции, $Вт \cdot m^{-2}$; P_l — теплообмен с воздухом, совершающийся в легких при дыхании, $Вт$; LE_l — затраты тепла на испарение с поверхности дыхательных путей при дыхании, $Вт$; M — теплопродукция организма, $Вт$; LE —затраты тепла на испарение пота с единицы поверхности тела, $Вт \cdot m^{-2}$; L —скрытая теплота испарения, $Вт \cdot ч \cdot г^{-1}$.

Из уравнения теплового баланса следует, что величина FLE в условиях нагрева характеризует тот избыток тепла, который выводится из организма путем испарения пота. В условиях потери тепла FLE характеризует то количество тепла, которое должно быть дополнительно выделено в организме или которое надо сберечь с помощью соответствующей одежды. Отсюда следует, что в качестве интегральной характеристики тепловой нагрузки на организм может быть принята величина FLE или эквивалентная ей величина—скорость испарения пота FE ($г \cdot ч^{-1}$). Эти характеристики могут быть рассчитаны по формуле (5.3) с точностью, достаточной для решения многих задач биоклиматологии.

Вид формулы для FR_k зависит от принятой геометрической модели тела человека. Для модели в форме вертикального цилиндра, высота которого равна шестикратному диаметру, формула имеет вид:

$$FR_k = 0,5F(1 - A_k)[S(0,6\cosh + 0,08\sinh) + D + r] \quad (7.16)$$

или в упрощенном виде (линейная аппроксимация):

$$FR_k = 0,5F\beta(t_3 + t_a - 2t_k) \quad (7.17)$$

Здесь S — энергетическая освещенность прямой солнечной радиацией поверхности, перпендикулярной лучам солнца, $Вт \cdot m^{-2}$; h — высота солнца над горизонтом, $^\circ$; D — энергетическая освещенность рассеянной солнечной радиацией, $Вт \cdot m^{-2}$; r — энергетическая освещенность отраженной солнечной радиацией, $Вт \cdot m^{-2}$; t_3 —температура поверхности почвы, $^\circ C$; t_a — радиационная температура неба, $^\circ C$; t_k — средняя температура кожи человека ($t_k \approx 33^\circ C$); A_k — альbedo кожи; $\beta = 4\delta\sigma$.

Процесс теплообразования связан со всеми механизмами теплообмена в атмосфере; здесь действует первый общий закон термодинамики. Для количественного анализа этого процесса в Германии была разработана модель «Клима-Михель» (рис. 7.2).

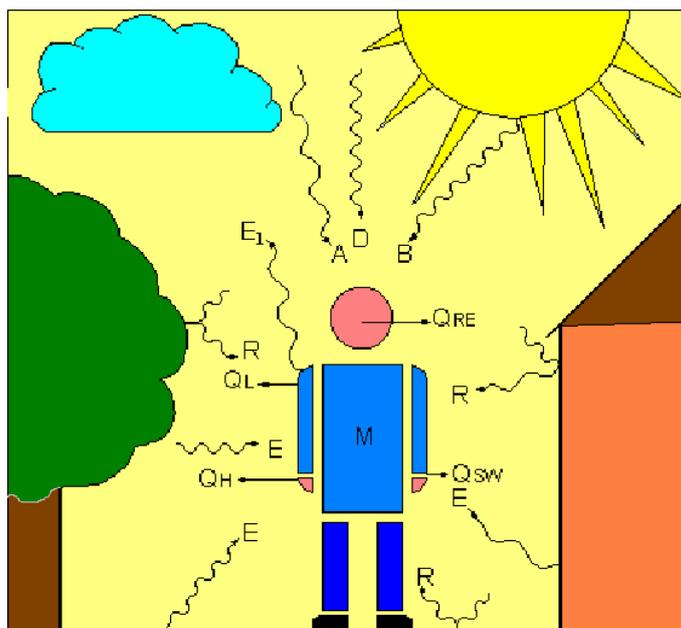


Рис. 7.2 Модель теплового баланса человека.

- **Составляющие теплового баланса**
- M – тепловой баланс человека
- Q_H – конвективный поток ощутимого тепла
- Q_{SW} – конвективный поток скрытого тепла (испарение пота)
- Q_L – конвективный поток скрытого тепла через диффузию водяного пара
- Q_{RE} – поток тепла через дыхание
- **Составляющие радиационного баланса**
- B – прямая солнечная радиация
- D – рассеянная солнечная радиация
- R – отраженная коротковолновая радиация
- A – тепловое излучение атмосферы
- E – тепловое излучение окружающих поверхностей
- E_1 – тепловое излучение человека

В этой модели рассматриваются связи между теплообразованием тела человека и метеорологическими величинами, такими как, температура воздуха и скорость ветра, а также потоками коротко- и длинноволновой радиации, которые определяют теплотери тела в зависимости от эффекта теплоизоляции одежды.

Модель основывается на уравнении комфортности Оле Фангера [Fanger, 1973] (7.18), который в результате исследований получил формулу энергетического баланса человека учитывающую значительное количество

параметров окружающего микроклимата и индивидуальные характеристики человека. Уравнение представляет собой разновидность уравнения теплового баланса. Степень невыполнения условий уравнения комфортности может быть использована в качестве меры требований, предъявляемых к системе терморегуляции. Комфортность соответственно связана с минимальной активностью механизма регуляции.

$$\frac{M}{F} \times (1 - \eta) - 0.35 \times (1.92t_s - 25.3 - P_a) - \frac{E}{F} - 0.0023 \times \frac{M}{F} \times (44 - P_a) - 0.0014 \frac{M}{F} (34 - t_a) - \frac{t_s - t_{cl}}{0.18I_{cl}} = 3.4 \times 10^{-8} f_{cl} [(t_{cl} + 273)^4 - (t_{mrt} + 273)^4] + f_{cl} h_n (t_{cl} - t_a) \quad (7.18)$$

где:

M – уровень теплопродукции;

F – площадь поверхности тела;

η – КПД механической работы мышц;

t_s – средневзвешенная температура кожи;

P_a – парциальное давление водяного пара в воздухе;

E – теплопотери вследствие испарения пота;

I_{cl} – термическое сопротивление от кожи до наружной поверхности одежды;

f_{cl} отношение поверхности одетого человека к поверхности того же обнаженного человека

t_a – температура воздуха;

t_{mrt} – средняя радиационная температура;

h_c – коэффициент конвективного переноса тепла;

t_{cl} – средняя температура наружной поверхности одетого человека

Использование уравнения комфортности для наружных условий стало возможным при параметризации потоков лучистой энергии, которые в этих условиях отличаются большей изменчивостью, чем в помещении. Для эмпирической основы отдельных радиационных компонентов необходимы лишь те метеорологические данные, которые можно легко получить путём измерения или в ходе наблюдений. В отличие от общепринятой метеорологической практики потоки лучистой энергии соотносились не только с горизонтальной поверхностью, сколько с определённой геометрической формой человеческого тела.

Поскольку модель учитывает основные составляющие теплового баланса тела, она значительно отличается от вышеуказанных простых тепловых индексов. Эти чрезмерно упрощённые индексы имеют весьма отдаленную

связь с физиологией; они уже не отвечают запросам современной науки. В то время как модели теплового баланса, в которых проводится электронная обработка данных, легки в употреблении.

7.1.1.8. Роль атмосферного электрического поля при оценке метеотропных реакций человека.

Ряд авторов (Е.П.Борисенков, Э.И.Монокрович, Н.С.Темникова) считают, что на здоровье человека влияют атмосферные электрические факторы. В частности, замечены связи между некоторыми физиологическими показателями и показателями ионизации воздуха, а также, градиентом потенциала электрополя. Так, по Н.С. Темниковой, полезными для здоровья человека являются легкие отрицательные аэроионы. Увеличение тяжелых ионов, в основном положительных, вредно сказывается на здоровье человека, например, они тормозят легочный газообмен. Н.С. Темникова [Темникова, 1968] приводит таблицу концентрации легких ионов летом не только для курортов Латвии, но и для курортов других регионов (табл. 7.6). Данные этой таблицы могут быть использованы для рекомендаций курортным агентствам при выборе курортов и в рекламах тех или иных курортов.

Таблица 7.6

Концентрация легких ионов летом на некоторых курортах России и других стран.

Курорт	n ₋	n ₊	n ₋ /n ₊
Паланга	219	318	1.5
Ялта	269	597	2.2
Евпатория	271	359	1.3
Сочи	1067	1270	1.2
Ессентуки	1062	1062	1.0
Белокуриха(Алтай)	1014	1202	1.2
Давос (Швейцария)	1006	1236	1.2
Юрмала	413	483	1.2
Сауме	1020	1070	1.1

По данным Н.С.Темниковой концентрация легких ионов больше всего в лесу; с ростом температуры воздуха и относительной влажности число легких ионов, и положительных и отрицательных возрастает.

Е. П. Борисенков и Э.И.Монокрович считают, что замеченные связи между изменением давления воздуха и состоянием здоровья человека явля-

ются не причинно-следственными. Они предполагают, что на самом деле влияют происходящие при изменении давления изменения электрического поля атмосферы. Так, Е.П.Борисенков показал, что при сердечно-сосудистых заболеваниях на стадии падения давления, как правило, имело место понижение градиента потенциала электрического поля атмосферы вплоть до перехода к отрицательным значениям. В преобладающем большинстве случаев вслед за этим наблюдались метеотропные реакции у больных. Если это так, то поведение электрического поля может быть использовано в качестве сигнала для проведения профилактики сердечно-сосудистых заболеваний.

7.2 Климатотерапия и климатопатология

7.2.1 Климатотерапия и курортология

Одной из наиболее важных задач курортологии является составление на новой научной основе климатических описаний курортов. В советскую эпоху повышенное внимание уделялось развитию курортов, находившихся вне России (в Крыму, Прибалтике, Грузии). А курорты средней полосы России сохранили архаичную инфраструктуру. Однако их уникальные целебные грязи и источники (например о. Шира, о.Боровое и др.) могут стать источником будущего процветания. Есть государственные программы развития курортов в Новгородской области, в Петербургской зоне, на Урале, в ближнем Подмосковье и др.

В ГГО составлена “Программа и рекомендации по описанию климата курортной зоны” - Л. Гидрометеиздат, 1984. В число основных биоклиматических характеристик, получаемых для описания курортов и климатотерапии, включаются в соответствии с этими рекомендациями характеристики теплового баланса тела человека во время приема климатотерапевтических процедур (иглотерапии, аэротерапии, талассотерапии, терренкура, подвижных игр на воздухе); биоклиматические показатели контрастных изменений погоды; режим ультрафиолетовой радиации. Поскольку человек чутко реагирует на характер и интенсивность изменения метеорологических величин необходимо рассмотреть межсуточные и межсрочные разности метеовеличин а также их годовой и суточный ход. Важными для целей курортологии являются комплексные климатические данные. Все эти вопросы и целый ряд других полезных сведений содержатся в указанных выше “ программе и рекомендациях...”, а также в “Рекомендациях по описанию климата большого города. Часть 4”. При возникновении необходимости составить описание того или

инного курорта, выбрать место расположения курорта или дать рекомендации туристу при выборе места отдыха следует обратиться к этому изданию. Его можно запросить в ГГО и по запросу будет выслана книга.

7.2.2 Методы медицинской керосологии

Медицинская керосология представляет собой важную научную отрасль современной медицинской географии. Она изучает всестороннее влияние на здоровье и деятельность человека погодных условий. К ней тесно примыкают медицинские климатология и метеорология, изучающие влияние на организм человека соответственно климата и отдельных метеоэлементов. По сути дела речь идет о реакциях человека на погоду, связанных с синоптическими ситуациями. В переводе с греческого “керос” означает “погода”.

Метеотропными называются все виды реакций организма человека, развивающиеся под влиянием погодных факторов. Способность организма отвечать на действие погодных факторов развитием метеотропной реакции определяется как метеочувствительность (метеолабильность). Обратную метеочувствительности реакцию определяют как метеотолерантность (метеорезистентность), т.е. устойчивость организма к воздействию неблагоприятных метеорологических факторов. Она означает индивидуальную способность организма переносить погодные влияния без развития метеотропной реакции.

Основу медицинской керосологии составляют следующие научные разделы:

Керософизиология – влияние погоды на организм здорового человека в различных климатогеографических зонах.

Керосопатология – связь и характер различных керосотропных проявлений с медицинскими типами погоды и погодными комплексами при различных заболеваниях и патологических состояниях.

Керосодиагностика – диагностика керосочувствительности и керосотропных реакций, дифференцированное разграничение между керосотропными, метеотропными и климатотропными реакциями, различные стороны патогенетического их тождества и различия.

Керосопрофилактика – использование медикаментозных и немедикаментозных средств и методов в целях устранения керосочувствительности и предупреждения развития керосотропных реакций и обострений, а также их лечение.

Керосопрогнозирование – медико-погодный прогноз, определяющий совокупность метеосиноптических и электрогеофизических показателей атмосферы по расчету и составлению медицинских прогнозов погоды, формы и методы их информации и пропаганды. [Григорьев и др., 1998].

7.2.3 Климатопатология

Существуют болезни, непосредственно вызванные погодными и климатическими условиями, это, например, уже упоминавшиеся тепловые и солнечные удары, холодовые заболевания и др. Но течение большей части заболеваний, хотя и вызванных другими причинами, зависит от погоды и климата.

В таблице 7.7 приводится краткая сводка погодно-климатических факторов отрицательно воздействующих на некоторые виды заболеваний, составленная автором по литературным источникам.

Таблица 7.7

Метеорологические условия, способствующие заболеваниям

Заболевания	Отрицательно воздействующие метеорологические факторы
1. Органов дыхания Туберкулез	Резкие ухудшения погоды.
Хронические неспецифические заболевания легких пневмония, бронхит	Резкие похолодания ($>4^{\circ}$), сильный ветер (>14 м/с), высокая влажность $>95\%$, туманы, грозы, большое количество тяжелых ионов.
бронхиальная астма	Дождь, экстремально низкая температура воздуха, высокое атмосферное давление.
2. Сердечно-сосудистые заболевания гипертония гипертония с неврологическими и эндокринными нарушениями гипотония	Суровая погода. Повышение давления и относительной влажности, понижение температуры.
стенокардия, инфаркт	Высокая температура, повышение температуры ($>4^{\circ}$), повышение давления (>8 мб). Понижение давления, увеличение относительной влажности, повышение температуры.
атеросклероз	Резкое понижение давления, вы-

	сокая температура (> 30°), низкий градиент потенциала электрического поля. Высокая температура.
3.Болезни суставов. Артрит	Понижение температуры воздуха, повышение относительной влажности.
4. Почечные	Низкая температура, высокая влажность (>70%).
5.Кожные 6.Глазные	Увеличение ультрафиолета из-за уменьшения озона, отрицательная температура.
7.Инфекционно-аллергические Ревматизм	Сочетание высокой относительной влажности, низкого давления, большой скорости ветра. Резкая смена погоды, увеличение тяжелых положительных ионов.
8.Инфекционные за счет прямых контактов Распространяемые инфекционными агентами	Резкие смены погоды, экстремально низкая и высокая температура воздуха, адвекция теплого и влажного воздуха. Потепление в зимний период и похолодание в летний, отдельные направления ветра.

Для больных людей смещаются зоны комфорта. В таблице 7.8 показаны значения ЭЭТ, которые являются комфортными при различных заболеваниях.

Таблица 7.8

Комфортные температуры при заболеваниях

Географический район	ЭЭТ	Заболевание
Крым	17,2 – 21,7	Туберкулез легких
Западная Сибирь	18,0 – 24,0	Туберкулез легких
Северный Кавказ	15,0 – 21,1	Сердечно-сосудистые
Крым	17,1 – 21,8	Атеросклероз
Крым	13,5 – 20,3	Гипертония
Восточная Сибирь	15,0 – 21,7	Гипотония

И. Кердо разработан вегетативный тест-индекс используемый в диагностике керосотропных проявлений (метеотропных реакций). Метод определения этого индекса, оценка метода и перечень важнейших керосотропных признаков опубликованы в “Руководстве по составлению медицинских прогнозов погоды, комплексной профилактики неблагоприятных погодных реакций. М., 1997 г.”. Результаты этой работы полезно использовать для выдачи рекомендаций по данным краткосрочного прогноза погоды. В настоящее время многие газеты, наряду с прогнозом погоды, публикуют медицинский прогноз. Чтобы последний был достаточно грамотным, метеоролог должен активно участвовать в процессе составления медицинского прогноза. При неблагоприятном медицинском прогнозе работники медицинских учреждений разрабатывают различного рода профилактические мероприятия. Например, усиливают контроль за больными, отменяют плановые операции, советуют уменьшить физическую нагрузку пациентам, предлагают препараты, успокаивающие нервную систему, сосудорасширяющие (или наоборот) и анальгизирующие. Климатологи должны участвовать в этом процессе, составлять для административных органов здравоохранения справочные руководства по влиянию метеорологических факторов на здоровье человека (разрабатываемые совместно со специалистами в области медицины).

7.3 Акклиматизация и адаптация.

Люди, как и все другие биологические виды, приспособляются к тому климату, в котором они живут, но они в отличие от других биологических видов, перемещаясь за пределы своих климатических зон, адаптируются к непривычным для них типам климата. Способность людей акклиматизироваться в новых климатических условиях весьма значительна. Замечена зависимость адаптационных характеристик организма от климатических факторов. Так, получена связь между параметрами сердечного ритма и вариациями температуры воздуха. Разработаны методы, позволяющие повысить адаптационные возможности человека (правильное питание, физическая активность, закаливание, очистка организма).

Полная акклиматизация человеческой популяции требует длительного времени (столетия и даже тысячелетия) и закрепляется генетически, наследственно. Такую адаптацию называют эволюционной, а если под действием внешних факторов организм приспособился к условиям внешней среды временно, на период проживания в данных условиях, то такое явление называют аккомодацией

В процессе адаптации при очень сильном или длительном воздействии неблагоприятных факторов среды, возникает дизадаптация (нарушение или

срыв адаптации) и развиваются патологические состояния. Они получили название "болезни адаптации". Например, горная болезнь, проявляющаяся в условиях высокогорья. Наиболее распространены болезни адаптации при длительном пребывании людей в неблагоприятных условиях. Вследствие продолжительного напряжения механизмов регуляции, а также клеточных механизмов, связанных с повышенными энергетическими затратами, действием повышенных концентраций и гормонов адаптации, происходит истощение и потеря наиболее важных резервов организма. Часть структур или функций выключается. Дезадаптация и развитие патологических состояний происходит поэтапно:

1. Состояние удовлетворительной адаптации
2. Состояние функционального напряжения механизмов адаптации
3. Состояние неудовлетворительной адаптации
4. Срыв адаптации.
5. Предболезнь
6. Болезнь

Разнообразие природно-климатических зон на территории России и большие миграционные потоки, связанные как с социально-экономическими задачами, так и с рекреацией, делают весьма актуальной задачу прогноза акклиматизационных нагрузок при перемещении мигрантов в новые природно-климатические условия. В настоящее время существует несколько количественных индексов для интегральной оценки средовых воздействий, которые учли бы значимость переездов для аборигенов различных климатических зон.

Так, оценку влияния межрегиональных изменений погоды на адаптацию человека к новым климатическим условиям дал В.И. Русанов [Русанов, 2006]. Им был предложен индекс контрастной изменчивости погоды, определяемый по разным маршрутам и временам года. Для вычисления этого индекса необходимо сначала рассчитать многолетний индекс изменчивости в пунктах маршрута и его среднюю ошибку.

Индекс изменчивости погоды в отдельном пункте рассчитывается по формуле:

$$K=(M_k/N)\cdot 100 \quad (7.19)$$

где K- индекс изменчивости погоды, %; M_k - число контрастных смен периодов с однотипной погодой; N - число дней в рассматриваемом периоде. Если $K = 0-20\%$, погода очень устойчивая, 21-35 - устойчивая, 36-50- изменчивая, $> 50\%$ -сильно изменчивая. Ежедневная смена контрастной погоды принята за 100-процентную изменчивость погоды.

Контрастная смена периодов с однотипной погодой определяется следующим критериям:

1) Смена периодов с облачностью 0-5 или 6-10 баллов в 13 ч. на погоду с атмосферными осадками большими или равными 1 мм в сутки. При этом, если в периоде с осадками, продолжающимися 1,2 и более дней, во второй последующие дни количество осадков оказывается менее 1 мм, то такие дни относятся к периоду с осадками.

2) Смена периодов с облачностью 0-5 баллов на погоду с облачностью баллов или облачной погоды на ясную при межсуточном изменении средней суточной температуры воздуха больше 2 °С.

3) Смена периодов с любой погодой при межсуточном изменении средней суточной температуры воздуха больше 6 °С.

Средняя ошибка индекса изменчивости погоды за многолетний период определяется по формуле:

$$m = \sqrt{K \cdot (100 - K) / (n - 1)} \quad (7.20)$$

где K - величина индекса изменчивости погоды, %; n - число лет, использованных для вычисления многолетнего индекса.

Этот индекс четко отражает появление патологических реакций у людей в зависимости от изменчивости погоды, и чем больше величина индекса, тем чаще появляются патологические реакции, тем больше нагрузка на механизмы адаптации человека [Русанов, 1973].

Индекс контрастной изменчивости погоды (КИП) по различным маршрутам и сезонам года рассчитывается по формуле:

$$КИП = (K_1 - K_2) / \sqrt{(m_1^2 + m_2^2)} \quad (7.21)$$

где K_1 и K_2 - индексы изменчивости погоды в начальном и конечном пути маршрута, %; m_1 и m_2 - средние ошибки многолетнего индекса в начальном и конечном пунктах; КИП- величина безразмерная.

КИП может иметь знаки «плюс» и «минус», указывающие соответственно уменьшение или увеличение нагрузки на механизм адаптации человека в конечном пункте маршрута: чем больше отрицательная величина КИП, тем больше нагрузка на механизмы адаптации, тем тяжелее адаптироваться человеку к новым климатическим условиям, обуславливающим изменчивость погоды, а чем более положительная величина КИП, тем легче человеку адаптироваться к новым условиям. Оценив величину КИП по разным маршрутам и временам года, можно выбрать маршрут и время года, когда переезд из одного пункта в другой будет наиболее благоприятен для человека

Известен еще один показатель функционального отклика организма на воздействие факторов внешней среды, предложенный Кушниренко Э.Ю. и Матюхиным В.А. [Кушниренко, Матюхин, 1986]. Они разработали математи-

ческую модель, позволяющую количественно оценить те требования, которые среда предъявляет организму человека, и учесть изменение этих требований при перемещении человека в новые природно-климатические условия. При перемещении человека в районы с непривычным для организма типом климата происходит целый ряд изменений в организме, в уровне гомеостаза и, самое главное, включение целого ряда специфических и неспецифических механизмов адаптации. При таком подходе любая климатическая зона должна рассматриваться относительно исходной климатической зоны. Предлагаемая модель позволяет в первом приближении учесть эти особенности и оценить численно функциональное изменение организма при переезде.

Климатические, геофизические и другие факторы внешней среды, непосредственно влияющие на состояние системы, характеризуются набором параметров (x_1, \dots, x_n) . Для каждой конкретной задачи выбор параметров набора должен быть физиологически обоснован: в простейшем варианте математической модели предполагается, что эти параметры независимы в математическом смысле.

Согласно [Кушниренко, Матюхин, 1986] функция отклика системы равна

$$K(x_1 \dots x_n) = \prod_{m=1}^n \exp \left[- \frac{(x_m - x_{om})^2}{2nL_m^2} \right] \quad (7.22)$$

Где: x_m – параметр набора (x_1, \dots, x_n) , x_{om} – значение x_m , при которых адаптационные нагрузки минимальны (т.е. среднее значение в месте постоянного проживания), n – количество учитываемых параметров, L_m – масштабный множитель, имеющий размерность x_m .

Многопараметрическая функция $K(x_1, \dots, x_n)$, взятая как среднегеометрическое по всем n параметрам, называется интегральным показателем нагрузки (ИПН). При $x_1=x_{o1}, \dots, x_n=x_{on}$ значение ИПН в этой точке равно 1; это значит, что требования, предъявляемые к системе со стороны внешней среды, минимальны. Отклонение любого из параметров x_m от его значения x_{om} уменьшает значение ИПН, свидетельствуя о том, что воздействие на систему возрастает.

Вероятностный характер адаптации, т. е. приспособленность коренных жителей данного региона к наиболее часто встречающимся значениям метеопараметров, легко учесть, вычислив возможные значения $\delta K(x_1, \dots, x_n)$ при отклонениях параметров x_1, \dots, x_n от их средних значений на величину среднеквадратического отклонения $\sigma_{x_1}, \dots, \sigma_{x_n}$ для каждого параметра. При этом значения $\delta K(x_1, \dots, x_n)$ для каждой временной точки определяются как ошибка функции n переменных при случайных отклонениях этих переменных от их средних значений с дисперсией σ_{x_m} .

При переезде коренных жителей рассматриваемой климатической зоны в другую климатическую зону значения x_{01}, \dots, x_{0n} и L_1, \dots, L_n сохраняются, а значения x_m в этом случае – значения параметров в месте переезда. Различные климато-географические регионы рассматриваются при этом подходе с точки зрения коренных жителей других регионов.

Для определения границ «зон внешних нагрузок» были выбраны следующие численные значения ИПН:

- 1) зона региональной нормы $0,882 < \text{ИПН} \leq 1$,
- 2) зона привычных отклонений $0,778 < \text{ИПН} \leq 0,882$,
- 3) зона функциональных напряжений $0,606 < \text{ИПН} \leq 0,778$,
- 4) зона редких воздействий $0,378 < \text{ИПН} \leq 0,606$,
- 5) зона крайне редких воздействий $\text{ИПН} \leq 0,378$.

К зонам 1 и 2 относятся все значения ИПН, соответствующие как средним значениям метеопараметров, так и значениям, отклоняющимся от средних на $\pm\sigma_{xi}$. Для здоровых людей климатические нагрузки, лежащие в пределах $0,778 < \text{ИПН} \leq 1$, вполне обычны как при смене времён года, так и при переезде. Значения ИПН, лежащие в зоне 3, могут иметь место либо в совершенно необычные по погодным условиям сезоны (для коренных жителей), либо при переезде в новые природно-климатические зоны (для мигрантов). Оценивая возможности переезда человека в такие климато-географические условия, в которых предварительно вычисленные значения ИПН попадают в зону 4, можно прогнозировать значительное функциональное напряжение у новосёллов. Но даже для практически здоровых людей пребывание в климато-географических условиях, соответствующих значениям ИПН меньшим 0,378 (зона 5), должно быть ограничено во времени и требует специального медицинского контроля.

7.4. Биоклиматические аспекты, влияющие на строительство

Данная проблема является чрезвычайно важной. В нормативные документы по планированию жилой застройки, по проектированию зданий входят нормативные медико-климатические показатели, такие как комфортные температура и влажность воздуха, продолжительность освещенности и солнечного облучения помещения и др.

ГОСТ 12.1.005-76 регламентирует внутреннюю температуру воздуха, а также точку росы и относительную влажность в соответствии с нормами технологического проектирования. Б. А. Айзенштадтом и А. В. Ершовым разработаны основные принципы учета радиационных условий в застройке. Выведены формулы теплового баланса тела человека, находящегося в застройке.

Во все формулы радиационного баланса, как при определении длинноволнового обмена с окружающей средой, так и при подсчете теплоступлений к телу коротковолновой радиации, отраженной от отдельных поверхностей, требуется определение коэффициентов облученности между человеком и конкретными поверхностями. А. В. Ершовым рассчитаны косвенным способом такие коэффициенты для различных условий сложной многокомпонентной городской среды. Данную методику и коэффициенты облученности для 62 разновидностей застройки можно найти в книге А. В. Ершова, Л. В. Ребенок, Б. М. Лыских, В. И. Айсина “Градостроительные средства окружающей среды в Белорусской ССР” Минск, “Наука и техника” 1987, 223 с. Подробные методические рекомендации по всем вопросам данного пункта подготовлены Б. А. Айзенштадтом. [Айзенштадт, 1978]. В недавно вышедшей монографии [Мягков В.С. и др., 2007] обобщен большой материал, накопленный в практике архитектуры и градостроительства, касающейся экологии человека.

7.5. Туризм и спорт

Использование метеорологической информации, особенно климатического прогноза, в значительной мере способствуют устойчивому развитию туризма. Около 6% экономической деятельности многих стран связаны с туризмом.

Серьезные затруднения за счет погодно-климатических условий встречает горный туризм. Для того, чтобы способствовать его безопасности, необходимо указать в форме справочной климатической информации тот диапазон погодных условий, которые можно встретить в горах в различное время года. Следует обратить внимание на изменчивость погодных условий, предоставить обзор типов погоды, встречающихся в горах. Наиболее важны специализированные климатические прогнозы о ветре, осадках, температуре, заморозках и о комплексных биоклиматических показателях, отражающих воздействие температуры и ветра на охлаждение организма туриста. Гипотермия в горах часто бывает вызвана влиянием низкой температуры и сильного ветра на человека, находящегося в горах во влажной одежде. Очень полезна информация о количестве снега и о его плотности и изменениях температуры, как о факторах, связанных с лавинами, которые зависят от устойчивости снежного покрова в горах.

Туризм и спорт на воде и вблизи нее также опирается на метеорологическую информацию. Водная регата не может проводиться без участия метеорологов. Для ее проведения кроме прогноза ветра необходимы климатические данные о повторяемости различных скоростей ветра по направлениям,

частоте резких изменений направления и скорости ветра, повторяемости шквалов и ветров, вызывающих зыбь и волнение моря.

Для отдыхающих у воды полезны сведения о характере электрического поля при ветрах с моря, а также радиации, солнечного сияния и УФ радиации. Подробная информация для туристов содержится в уже упомянутой “Программе и рекомендациях по описанию климата курортной зоны” Л. Гидрометеиздат, 1984.

Проведение спортивных мероприятий по легкой атлетике в первую очередь требует сведений о повторяемости различных градаций скорости ветра по различным направлениям. Обязательно следует представлять данные о скорости ветра больше 2 м/с, т.к. рекорды по бегу не засчитываются, если наблюдается попутный ветер такой скорости. Необходимы сведения об ЭЭТ и РЭЭТ с корректировками на бегущего человека.

В таблице 7.9 приведены оценки влияния некоторых метеорологических переменных на спортивные успехи в различных видах спорта

Таблица 7. 9

Степень влияния метеорологических характеристик на спортивные успехи в различных видах спорта

Вид спорта	Давление	Температура	Ветер	Осадки	Туман
Плавание под парусами	1	4	5	3	4
Парусная регата на льду	1	5	5	4	3
Каное-гонки	2	4	5	3	1
Гребля	2	4	5	3	1
Плавание	1	5	4	1	1
Катание на беговых лыжах	2	5	4	5	2
Прыжки на лыжах	1	4	5	5	5
Катание на горных лыжах	1	4	3	5	4
Скоростной бег на коньках	2	5	3	4	1
Фигурное катание на коньках и хоккей на льду	2	5	-	-	-
Легкоатлетический прыжок	2	4	5	3	1
Легкоатлетический бег	3	3	5	3	1

Продолжение таблицы 7.9

Легкоатлетический бросок	3	1	5	2	1
Велоспорт	3	3	5	4	1
Стрельба из лука	-	3	5	3	4
Стрелковый спорт	1	1	5	3	4
Футбол	1	2	4	5	1
Авиаспорт	2	5	5	1	4
Прыжок с парашютом	2	3	5	4	4
Бобслей	1	5	3	4	4
Сумма баллов (указывает на самый важный фактор)	33	75	86	65	47

Степень влияния: 1 – очень мало; 2 – слабо заметно; 3 – периодически значительно; 4 – значительно; 5 – очень сильно

В холодный период года требует климатического обеспечения лыжный спорт. Для этой цели важна повторяемость различных градаций температуры воздуха, т.к. по климатическим данным оценивается возможность проведения соревнований, выбираются лыжные мази и определяются маршруты лыжных соревнований и походов.

Наиболее важной для лыжного спорта представляется информация о характеристиках снежного покрова. Минимальные нормы пригодности снежного покрова для лыжного спорта:

- Снежный покров ≥ 10 см – возможно начинать туристский сезон и тренировку катания на беговых лыжах;
- Снежный покров ≥ 20 см – хорошие условия для туризма и катания на беговых лыжах, возможно начинать туристское катание на горных лыжах;
- Снежный покров ≥ 30 см – очень хорошие условия для туризма и катания на беговых лыжах, хорошие условия для туристского катания на горных лыжах, возможно начинать тренировку катания на горных лыжах для профессиональных спортсменов;
- Снежный покров ≥ 40 см – очень хорошие условия для всех видов туристского и профессионального лыжного спорта.

Для горнолыжного спорта необходимы сведения как о высоте и продолжительности залегания снежного покрова, так и характеристиках склона. Данные, приведенные в таблице 7.10, помогут оценить категорию вновь строящихся горнолыжных курортов.

Здесь:

Категория 1 = пригодно для большого спорта;

Категория 2 = пригодно для спорта тренированных лыжников в свободном времени и во время отдыха; пригодно для тренировки профессиональных спортсменов;

Категория 3 = пригодно для спорта средне-продвинувшихся лыжников в свободном времени и во время отдыха;

Категория 4 = пригодно для детей и начинающих, а также для отдыха в выходные дни (конец недели).

Таблица 7. 10

Категории лыжных районов (по методу оценки К. Барановска-Янота)

Категория	Мощность снежного покрова (см)	Баллы	Длительность залегания снежного покрова (месяцы)	Баллы	Экспозиция	Баллы	Высотная амплитуда (м)	Баллы	Средний наклон (°)	Баллы	Сумма баллов
1	> 100	5	> 3	5	С, СВ, В	5	> 400	5	> 15	20	33-40
2	> 100	5	> 3	5	СЗ, ЮЗ	3	> 400	5	12-15	10	23-32
3	> 50	3	> 2	3	Ю, ЮЗ	1	150-400	3	9-12	5	13-22
4	> 20	1	> 1	1	З	0	23-150	1	< 9	0	3-12

Совершенствование технологии обслуживания туризма и спорта требует развития компьютерной технологии, позволяющей предоставлять как специализированные климатические данные, так и прогноз в различных точках спортивных соревнований и туристических походов.

Для дальнейшего совершенствования методов обеспечения туризма и спорта биометеорологической информацией, необходима совместная работа климатологов и медиков, в целях получения выбора критериев, физически и физиологически обоснованных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Адаменко В.Н., Хайруллин К.Ш. Проблемы биоклиматической оценки суровости погоды и мелиорация микроклимата застройки. – Тр. ГГО, 1973, вып. 306, с. 3-18
- Айзенштат. Б.А. “Рекомендации по описанию климата большого города. Ч. 4, Л., Гидрометелиздат, 1978, 66 с.
- Акентьева Е. М. Методы учета «косых дождей». - Стройпрофиль 2004, №7 (37), стр. 20-23
- Акимович Н.И., Балалла О.А. Душные погоды на юге Приморья и их влияние на организм человека // Изв.АН СССР, Сер.геогр. 1971. - N 4. - С.94-99
- Бекман У., Клейн С., Даффи Дж. Расчет систем солнечного теплоснабжения. М.: Энергоиздат, 1982. – 78с.
- Белкин В.Ш., Полторак Г.И. Некоторые медико-биологические аспекты изучения горных районов Таджикистана // Симпозиум, съезд географического общества в Душанбе. –Душанбе: Дониш, 1983 - С. 19-21
- Богаткин О.Г. Метеорологический индекс здоровья и экономические возможности его применения. //Погода и биосистемы. – Материалы международной конференции, СПб.: 2006. – 173-178.
- Богданова Э. Г. Исследование стандартной гидрометеорологической информации для определения режимных характеристик продолжительности и интенсивности осадков – Тр. ГГО, 1982, вып. 461, стр.44-56.
- Борисенков Е.П. Об энергетических критериях оценки климатического потенциала в системе жизнеобеспечения, внешнеэкономических связей и геополитики. Сб. Климатические ресурсы и методы их представления для прикладных целей. Гидрометеиздат, 2005, с. 9-24
- Васильев А. П. Состояние дорог и безопасность движения автомобилей в сложных погодных условиях.—М.: Транспорт, 1976, 224 с.
- Васильев А.П. Проектирование дорог с учетом влияния климата на условия движения. М., Транспорт, 1986, 248 с.
- Гандин Л.С. и Анапольская Л.Е. Метеорологические факторы теплового режима зданий. Л., Гидрометеиздат, 1973, 110 с.
- Головина Е.Г., Русанов В.И. Некоторые вопросы биометеорологии. Уч. Пособие. – СПб,: Изд. РГГМИ, 1993. – 90 с.
- Головина Е.Г., Трубина М.А. Информационно-аналитическое обеспечение биометеорологических задач. // Сборник докладов Второй Международной

конференции «Состояние и охрана воздушного бассейна и водно-минеральных ресурсов курортно-рекреационных регионов», 8-14 октября 2000 г., г. Кисловодск, С. 206 – 210.

Григорьев И. И., Григорьев А. И., Григорьев К. И. Погода и организм человека. // Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры. 1998, №5

Ершова, А. В., Ребенок Л. В., Лыских Б. М., Айсина В. И. «Градостроительные средства окружающей среды в Белорусской ССР» Минск, «Наука и техника» 1987, 223 с.

Заварина М.В. Строительная климатология. Л., Гидрометеиздат, 1976, 312 с.

Зябриков В.А. , Кобышева Н.В. , Циркунов В.С., Климат и железнодорожный транспорт. М., Метеоагентство Росгидромета, 2000, 185 с.

Исаев А.А. Экологическая климатология. – М.: Научный мир, 2001. – 458 с.

Кондратьев К.А., Пивоварова З.И., Федорова М.П.. Радиационный режим наклонных поверхностей – Л.: Гидрометеиздат, 1978 – 215 с.

Кондратьев К.Я. «Актинометрия», Л., Гидрометеиздат, 1965, 690с.

Кочубей А.А., Разгоняев Ю.В., Несмеев В.П. Определение выходной мощности наземной солнечной батареи. – Гелиотехника, 1987, №3, с.12-15.

Кушниренко Э.Ю. и Матюхин В.А. Интегральный показатель функционального отклика организма на воздействие множества факторов внешней среды. – Бюлл. СО АМН СССР, 1986, №5, с. 73-82

Латышев Г.Д., Бокша В.Г. К вопросу медицинской оценки погод (индекс погоды и реакция больных) // Вопросы курортологии. – 1965, № 4. – С. 345-351.

Левитин, К.М. Безопасность движения автомобилей в условиях ограниченной видимости. М., Транспорт, 1986, 187 с.

Маркус Т.А. и Моррис Э.Н. «Здания, климат и энергия», пер. с англ. Под ред. Н.В. Кобышевой и Е.Г. Малявиной, Гидрометеиздат, 1985, 542 с.

Методические рекомендации по определению расчетных скоростей ветра для оценки особых воздействий на конструкции, здания и сооружения. Л., Гидрометеиздат, 195, 82 с.

Методические указания по производству микроклиматических обследований в период изысканий, Л., 1969, 62 с.

Микроклимат СССР (под ред. И.А. Гольцберг), Л., Гидрометеиздат, 1967, 285 с.

- Мищенко З.А. Биоклимат дня и ночи, Л., Гидрометеоздат, 1984, 280 с.;
- Мягков М.С., Губернский Ю.Д., Конова Л.И. Лицкевич В.К. – М.,. Архитектура- 2007. 344 с.
- Научно-прикладной справочник по климату СССР, вып. 1 – 34, Л.: Гидрометеоздат, 1988-1990.
- Осокин И.М. О суровости зимы в северной Азии // Проблемы регионального зимоведения. Вып. 2. Чита: Забайкальск. Географическое общество СССР, 1968.
- Пивоварова З.И. Радиационные характеристики климата СССР - Л.: Гидрометеоздат, 1977 – 335с.
- Пивоварова З.И. Характеристика радиационного режима на территории СССР применительно к запросам строительства. –Труды ГГО,вып.321,1973 – 128с.
- Пивоварова З.И., Стадник В.В. Климатические характеристики солнечной радиации как источника энергии на территории СССР – Л.: Гидрометеоздат, 1988 – 291 с.
- Пигольцина Г.Б. Радиационные факторы мезо- и микроклимата. Санкт-Петербург, 2003, 200с.
- Подрезов О.А. Опасные скорости ветра и гололедные отложения в горных районах. Л., Гидрометеоздат, 1990, 223 с.
- Программа и рекомендации по описанию климата курортной зоны - Л. Гидрометеоздат, 1984, 93 с.
- Разгоняев Ю.В., Нагайкин А.С. Результаты натурных испытаний фотоэлектрической станции микрорайона «Солнечный». – Гелиотехника,1991, №2, с. 33-36.
- Рекомендации по определению климатических характеристик ветроэнергетических ресурсов. Ленинград, Гидрометеоздат, 1980, 80 стр.
- Рекомендации по расчету климатических параметров гололедных и гололедно-ветровых нагрузок на провода воздушных линий. Л., Гидрометеоздат, 1974, 34 с.
- Рекомендации по расчету специализированных климатических характеристик. Л., Гидрометеоздат, 1997, 76 с.
- Романова Е.Н. Микроклиматическая изменчивость основных элементов климата, Л., Гидрометеоздат, 1977, 288 с.

Романова Е.Н., Гобарова Е.О., Жильцова Е.Л. Методы использования систематизированной климатической и микроклиматической информации при развитии и совершенствовании градостроительных концепций. Л., 2000, 159 с.

Руководство по составлению медицинских прогнозов погоды и комплексной профилактике неблагоприятных погодных реакции / Ред. Григорьев И. И.- М.: Акад. труда и соц. отношений, 1997.- 23 с.

Руководящий документ 52.04.275-89.Методические указания. «Проведение изыскательских работ по оценке ветроэнергетических ресурсов для обоснования схем размещения и проектирования ветроэнергетических установок. Государственный комитет по гидрометеорологии. Москва. 1991, 55 стр.

Русанов В.И. Комплексные метеорологические показатели и методы оценки климата для медицинских целей. – Томск: Томский ГУ, 1981. – 86 с.

Русанов В.И. Методы медико-биологической оценки для характеристики условий адаптации человека // Влияние геофизических и метеорологических факторов и жизнедеятельность организмов. Новосибирск: Сибирский фил. АМН СССР, 1981.

Русанов В.И. Индекс контрастной изменчивости погоды и адаптация человека. // Погода и биосистемы. – Материалы международной конференции, СПб.: 2006. – с. 99-100.

Самодурова Т.В. Метеорологическое обеспечение зимнего содержания автомобильных дорог. Москва, 2003, 185с.

Серебровский Ф.П. Аэрация населенных мест. М., Стройиздат, 1985, 167 с.

Сивков С.И. Методы расчета характеристик солнечной радиации. - Л.: Гидрометеоздат, 1968 – 232 с.

СниП 2.04.01.85 Внутренний водопровод и канализация зданий.

Сотников А.Г. “Основные направления, методы и результаты совершенствования исходных данных для проектирования и оптимизации систем кондиционирования воздуха и вентиляции.” В сб. Вентиляция и кондиционирование воздуха зданий и сооружений. Рига, 1983

Стадник В.В., Разгоняев Ю.В. Оценка суммарного прихода солнечной радиации, поступающей на наклонные поверхности. – Труды ГГО, вып.557. – с.67-84.

Сюзюмова Е.М., Романенко Г.А., Сравнительные исследования воздушного сопротивления пассажирских поездов. // Труды ВНИИЖТ. – М.:, Транспорт, 1979. – Вып. 617. – с.111

Тарнижевкий Б.В. Определение показателей работы солнечных установок в зависимости от характеристик радиационного режима – Теплоэнергетика, вып. 2 – Изд. АН СССР, 1960, с.18-26.

Тарнижевкий Б.В. Оценка эффективности применения солнечного тепло-снабжения в России.- Теплоэнергетика, 1996, №5, с.15-18.

Тарнижевкий Б.В. Солнечные коллекторы нового поколения. – Теплоэнергетика, 1992, №4, с.23-26.

Темникова Н.С. Аэроионы на Рижском взморье Л., - 1968, ГМИ

Трубина М.А. Концепция построения биометеорологической информационной системы для оценки биотропности атмосферы. //Тезисы докладов Итоговой сессии Ученого совета РГГМУ, СПб.: 2004.

Трубина М.А. Эффективность использования информационных ресурсов для оценки биотропности атмосферы. // Метеоспектр №3-4 (11-12). Вопросы специализированного гидрометеорологического обеспечения. АНО «Метео-агентство Росгидромета». М.: 2002. С.93-101.

Шашко Д.И. «Агроклиматические ресурсы СССР», Гидрометеиздат, 1985, 247с.

Энциклопедия климатических ресурсов» Санкт-Петербург, Гидрометеиздат, 2005, 319с.

Fanger P. O. Thermal comfort; Analysis and Application in Environmental Engineering. McGraw-Hill Book Company, N.Y., 1973

Hay J.E. Calculation of solar irradiances for inclined surfaces: validation of selected hourly and daily models – Atmosphere-Ocean, 1986, 24, p.16-41.

Steadman, R.G., 1979: The Assessment of Sultriness, Part I: A Temperature-Humidity Index Based on Human Physiology and Clothing Science. Journal of Applied Meteorology, July 1979

**РУКОВОДСТВО
ПО СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОМУ КЛИМАТОЛОГИЧЕСКОМУ
ОБСЛУЖИВАНИЮ ЭКОНОМИКИ**

**Под редакцией д-ра геогр. наук,
профессора Н.В. Кобышевой**

Отпечатано с готового оригинал-макета в ЦНИТ «АСТЕРИОН»
Заказ № 399. Подписано в печать 15.11.2008 г. Бумага офсетная.
Формат 60x84¹/₁₆. Объем 21 п. л. Тираж 100 экз.
Санкт-Петербург, 191015, а/я 83, тел. /факс (812) 275-73-00, 970-35-70
asterion@asterion.ru