

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ
И МОНИТОРИНГУ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ
(РОСГИДРОМЕТ)

КЛИМАТИЧЕСКИЙ ЦЕНТР РОСГИДРОМЕТА



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«ГЛАВНАЯ ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ ИМ. А. И. ВОЕЙКОВА»



МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

**по расчету специализированных климатических характеристик
для обслуживания различных отраслей экономики**

**Строительство
Транспорт**

Санкт-Петербург
2017

УДК 551.58

Методические рекомендации по расчету специализированных климатических характеристик для обслуживания различных отраслей экономики. Строительство. Транспорт.

Авторы: Кобышева Н. В., Ключева М. В., Акентьева Е. А., Стадник В. В., Псаломщикова Л. М., Петерс А. А., Пигольцина Г. Б., Разова Е. Н., Фасолько Д. В.

Общее методическое руководство и редактирование осуществлялось д-ром геогр. наук, профессором Н. В. Кобышевой, канд. геогр. наук В. В. Стадник

Рецензенты: д-р геогр. наук, профессор Г. В. Менжулин (СПбГУ)
канд. геогр. наук В. И. Кондратюк (ГГО)

В рекомендациях рассматриваются методы расчета специализированных характеристик, позволяющие ориентироваться в вопросах использования климатических данных и предоставления климатической продукции и услуг для строительной и транспортной отраслей экономики при решении наиболее актуальных прикладных задач.

Приводятся реестры основных задач пользователей и климатическая информация (индексы) для строительной и транспортной отраслей экономики со ссылками на нормативные документы, в которых содержатся либо значения этих индексов по станциям государственной наблюдательной сети Росгидромета, либо указания на необходимость их использования.

ISBN 978-5-9500883-2-2

© Главная геофизическая
обсерватория им. А. И. Воейкова
(ФГБУ «ГГО»), 2017

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	6
1 Общие положения.....	6
2 Нормативные ссылки.....	7
3 Вероятностно-статистические методы расчета базовых климатических показателей.....	7
3.1 Основные статистические характеристики метеорологических величин.....	8
3.2 Статистика экстремальных значений.....	16
4 Методы формирования и оценки однородности исходных климатических рядов.....	25
5 Методы расчета специализированной климатической информации для строительной отрасли экономики.....	29
5.1 Облученность зданий.....	29
5.1.1 Продолжительность инсоляции зданий.....	29
5.1.2 Поступление солнечной радиации на стены зданий.....	32
5.1.3 Естественная освещенность.....	42
5.2 Теплозащита зданий (ограждающие конструкции).....	50
5.2.1 Специализированные климатические параметры температуры воздуха холодного и теплого периодов.....	51
5.2.2 Наибольшая из средних скоростей ветра по румбам за январь (июль).....	55
5.3 Энергетика зданий (системы отопления, вентиляции, кондиционирования).....	55
5.3.1 Затраты энергии на обогрев и охлаждение помещений (индексы HDD и CDD).....	57
5.3.2 Расчетные параметры наружного воздуха для заданных характеристик микроклимата помещений.....	58
5.4 Нагрузки и воздействия.....	58
5.4.1 Ветровые нагрузки.....	58
5.4.2 Гололедные нагрузки.....	61
5.4.3 Ветровые нагрузки при гололеде.....	66
5.4.4 Гололедно-ветровые (результатирующие)	68

	нагрузки.....	
5.4.5	Снеговые нагрузки.....	69
5.5	Водоотведение и водоочистка.....	71
5.5.1	Максимальный слой осадков от мало интенсивных часто повторяющихся дождей с периодом однократного превышения расчетной интенсивности.....	71
5.5.2	Суточный максимум осадков.....	74
5.5.3	Твердые, жидкие, смешанные осадки.....	76
5.5.4	Профиль дождя.....	77
5.6	Долговечность зданий.....	85
5.6.1	Расчет долговечности ограждающих конструкций.....	85
5.6.2	Климатические характеристики «косых дождей».....	90
5.7	Глубина промерзания грунта.....	95
5.8	Учет микроклимата при строительном проектировании.....	97
5.8.1	Учет микроклимата в условиях неоднородной деятельной поверхности с небольшими относительными превышениями местности (холмистый рельеф).....	98
5.8.2	Учет микроклимата в условиях горного рельефа.....	106
6	Методы расчета специализированной климатической информации для транспортной отрасли экономики.....	110
6.1	Условия образования скользкости на дорогах и характеристики снегопадов.....	111
6.2	Снегозаносимость дорог.....	117
6.2.1	Снегоперенос.....	117
6.2.2	Снегопринос.....	120
6.2.3	Определение расчетного объема снегоприноса к автомобильной дороге.....	122
6.3	Определение высоты слоя свежевывпавшего снега по данным осадкомеров.....	124
	Список литературы.....	131

Приложение 1. Реестр основных задач пользователей и климатическая информация для строительной отрасли экономики	134
Приложение 2. Реестр основных задач пользователей и климатическая информация для транспортной отрасли экономики.....	144

Введение

Главная задача климатического обслуживания в Российской Федерации — научное и информационно-аналитическое обеспечение адаптации экономики и населения страны к текущему и ожидаемому состоянию климатической системы.

Основным видом климатического обслуживания, выполняемого УГМС и ЦГМС под методическим руководством ГГО, является выдача стандартных справок, которые содержат базовые климатические показатели — статистические характеристики климатических рядов и специализированные нормативные характеристики, чаще всего из СНИП, реже из ПУЭ (Правила устройства электроустановок) и ПНАЭ (Правила и нормы атомной энергетики), отсутствующие в местах строительства, разработки месторождений полезных ископаемых и др.

Материалы настоящих методических рекомендаций позволят ориентироваться в вопросах использования климатических данных и предоставления климатической продукции и услуг в различных областях экономики.

Методические рекомендации адресованы климатологам для использования при статистической обработке метеорологических данных с целью получения специализированной климатической продукции.

1. Общие положения

Настоящие Методические рекомендации устанавливают общие положения и требования к организации и методологии проведения климатических расчетов и получению специализированных климатических показателей для их обоснованного учета при проектировании новых, расширении, реконструкции и технического перевооружения действующих предприятий, зданий и сооружений. В Методических рекомендациях рассматриваются также методы для специализированного обслуживания автотранспорта в зимних условиях.

Используемая для климатологического обслуживания система специализированных климатических показателей включает набор базовых климатических показателей, т. е. статистических параметров метеорологических величин и атмосферных явлений. В контексте климатологического обслуживания базовые показатели приобретают статус специализированных, т. е. используются при проектировании и строительстве конкретных объектов, в том числе автомобильных дорог.

Методы расчета базовых климатических показателей в конкретных задачах не излагаются. Приводятся общие вероятностно-статистические методы и даются ссылки на имеющиеся издания.

Методики расчета специализированных показателей являются основным содержанием разделов 5 и 6 данных Методических рекомендаций.

2. Нормативные ссылки

В настоящих Методических рекомендациях приводятся Реестры задач для строительной и транспортной отраслей экономики, решаемых на основе и с учетом климатических показателей с указаниями на их нормативную принадлежность (Приложения 1 и 2).

3. Вероятностно-статистические методы расчета базовых климатических показателей

Климатическая информация, на основе которой разрабатываются расчетные климатические показатели для строительства, представляется разными количественными характеристиками и содержится в различных источниках.

Первичной метеорологической информацией являются данные наблюдений метеорологических станций, работающих по единой программе. Наблюдения проводятся в 0, 3, 6, 9, 12, 15, 18 и 21 ч по всемирному скоординированному времени (до 1966 г. наблюдения проводили в 1, 7, 13, 19 ч по местному среднесолнечному времени).

На отдельных метеостанциях самописцы фиксируют ежечасные значения некоторых метеорологических величин.

3.1. Основные статистические характеристики метеорологических элементов

Повторяемость (в долях единицы или в процентах) различных значений метеорологической величины) есть отношение числа случаев со значениями, входящими в данную градацию (интервал), к общему числу членов ряда. Повторяемость, полученную на основании длинного ряда наблюдений, называют вероятностью.

Накопленная повторяемость характеризует частоту появления значений метеорологической величины, превышающих (или не превышающих) заданное значение. Она рассчитывается последовательным суммированием относительных или средних абсолютных частот соответствующих интервалов в ряду статистического распределения. Суммарную повторяемость, полученную на основании длинного ряда наблюдений, называют интегральной вероятностью или обеспеченностью.

Расчет обеспеченности интегрального статистического распределения (P) с использованием ранжированного климатологического ряда, включающего полную совокупность наблюдений, производится по формуле:

$$P = \frac{m}{n}, \quad (3.1)$$

В зависимости от общего числа членов ряда расчет P производится по формулам:

$$P = (m - 0,3)/(n + 0,4), \quad P = (m - 0,25)/(n + 0,5), \\ P = m/(n + 1), \quad (3.2)$$

где m — порядковый номер членов климатологического ряда; n — число членов ряда.

Если в ряду есть несколько одинаковых членов x_i , имеющих разные номера, то P следует рассчитывать не для каждого из них, а

только для первого (последнего) члена в ранжированной по убыванию (возрастанию) совокупности метеопараметров.

Обеспеченность в климатологии часто выражается не в долях единицы или в процентах, а в виде частоты (вероятности) повторения явления (например, значений меньше или больше некоторого X_i в среднем один раз в некоторое число лет (2, 5, 10, 20, ..., 50, 100, ..., 10000 и т. д.). Это число лет T называют в статистике периодом повторения. Формулы перевода обеспеченности в периоды повторения имеют вид:

$$T = \frac{1}{1 - P} \quad \text{— если } P \text{ в долях единицы,}$$

$$T = \frac{100}{100 - P} \quad \text{— если } P \text{ в процентах,} \quad (3.3)$$

Ниже в таблице 3.1 представлены некоторые значения обеспеченности P при заданном периоде повторения T :

Таблица 3.1

T	1	5	10	20	25	50	100	500	1000	10000
P	0,000	80,000	90,000	95,000	96,000	98,000	99,000	99,800	99,900	99,990

Средние арифметические значения метеорологических величин «срочного», часового, суточного, декадного, месячного и годового разрешения рассчитываются по формулам:

— из исходного ряда значений

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \quad (3.4)$$

где x_i — член исходного ряда;

— из статистического распределения (сгруппированных данных)

$$\bar{x} = \frac{\sum_i^k x_i \cdot m_i}{n} = \sum_i^k x_i \cdot p_i^*, \quad (3.5)$$

где x_i — середина градации, m_i — частота (число случаев), p_i^* — частота (эмпирическая вероятность), k — число градаций.

Среднее арифметическое значение метеорологической величины представляет собой сумму значений членов ряда, деленную на их общее число. Как дополнение к среднему значению вычисляют медиану и моду.

Мода — это наиболее часто встречающееся значение в ряду. Мода полезна при описании уровня распределений числа дней с явлением, направления ветра и для других резко асимметричных распределений. В качестве приближенного значения моды можно использовать середину интервала, на который приходится наибольшая повторяемость.

Медиана делит совокупность упорядоченных данных на две группы одинакового размера. Она является средним членом ранжированного ряда при нечетном числе членов ряда и средним из двух срединных членов ряда при четном числе членов. Медиану целесообразно использовать, когда крайние значения определены недостаточно надежно, что может привести к существенной ошибке среднего значения.

Медиана используется и тогда, когда отдельные наблюдения не дают определенных значений. Например, при рассмотрении временного ряда дат образования устойчивого снежного покрова встречаются зимы, в которые устойчивый снежный покров не образовывался. В этом случае медиана определяется по ранжированному ряду, в котором зимы с отсутствием снежного покрова располагаются после членов ряда с более поздними датами. Показателями изменчивости или рассеивания значений той или иной величины относительно среднего служат среднее квадратическое отклонение и коэффициент вариации. Среднее квадратическое отклонение σ вычисляют по формуле:

— из исходного ряда

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - \bar{x})^2}{n}}, \quad (3.6)$$

где x_i — член исходного ряда;

— из статистического распределения

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_1^k (x_i - \bar{x})^2 m_i}{n}} = \sqrt{(x_i - \bar{x})^2 p_i^*}, \quad (3.7)$$

где x_i — середина градации, m_i — число случаев в градации.

Среднее квадратическое отклонение, возведенное в квадрат, носит название дисперсии.

Коэффициент вариации $C_v = \sigma/\bar{x}$ является относительной характеристикой изменчивости и используется в тех случаях, когда сравнивается изменчивость распределений, имеющих различающиеся в разных районах средние значения (например, сумма осадков, суммы солнечной радиации и др.).

Среднее арифметическое значение и среднее квадратическое отклонение являются достаточными для характеристики нормального распределения. Для описания распределения, отличающегося от нормального, используют характеристики, позволяющие судить о степени асимметрии и крутости распределения.

Мерой асимметрии (или скошенности) распределения служит коэффициент асимметрии A , численно равный отношению среднего куба отклонений значения (x_i) от среднего арифметического \bar{x} к кубу среднего квадратического отклонения σ :

— из исходного ряда

$$A_x = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - \bar{x})^3}{n\sigma^3}}, \quad (3.8)$$

где x_i — член исходного ряда;

— из статистического распределения

$$A_x = \sqrt{\frac{\sum_1^k (x_i - \bar{x})^3 m_i}{n\sigma^3}}, \quad (3.9)$$

где x_i — середина градации, m_i — число случаев в градации.

При симметричных распределениях значение $A_x = 0$, при правосторонней асимметрии $A_x > 0$, при левосторонней асимметрии $A_x < 0$. Асимметрия считается слабой при $|A_x| \leq 0,25$, умеренной при $0,25 < |A_x| \leq 0,5$ и резкой при $|A_x| > 0,5$. Этими критериями пользуются при выборе способа графического представления (клетчатки) эмпирического распределения.

В качестве меры крутости (островершинности) распределения используется коэффициент эксцесса, вычисляемый по формулам:

— из исходного ряда

$$E_x = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - \bar{x})^4}{n\sigma^4}} - 3, \quad (3.10)$$

— из статистического распределения

$$E_x = \sqrt{\frac{\sum_1^k (x_i - \bar{x})^4 m_i}{n\sigma^4}} - 3, \quad (3.11)$$

где x_i — середина градации, m_i — число случаев в градации.

Коэффициент эксцесса может принимать значения в диапазоне от -2 до ∞ . При $E_x = -2$ кривая распадается на две отдельные кривые.

В качестве климатических показателей комплекса метеорологических величин x и y используются:

— повторяемость и накопленная повторяемость сочетаний значений величин, составляющих комплекс;

— коэффициент корреляции между значениями метеорологических величин, составляющих комплекс (для оценки линейной связи), и корреляционное отношение (для оценки нелинейной связи).

Корреляционные функции используются как для оценки инерционности атмосферных процессов, так и в различных климатических расчетах, в частности при получении одной климатической характеристики по значениям других, при косвенном вычислении статистических характеристик комплексов метеорологических величин, при оценке ошибок статистических характеристик.

Коэффициент корреляции вычисляется по формуле:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{n\sigma_x\sigma_y}. \quad (3.12)$$

Коэффициент корреляции может принимать значения от -1 до $+1$; он уменьшается по своей абсолютной величине по мере ослабления линейной корреляционной связи.

Положительным значениям r соответствует прямая корреляционная зависимость, т. е. при возрастании (убывании) одной из величин другая в среднем также возрастает (убывает); отрицательным значениям r соответствует обратная корреляционная зависимость, т. е. возрастание одной величины соответствует в среднем убыванию другой и наоборот.

На практике принято считать, что величины достаточно тесно связаны между собой, если $|r| > 0,7$ или даже $|r| > 0,6$. Однако всегда следует осторожно относиться к заключениям, основанным на значении коэффициента корреляции. В некоторых случаях нельзя категорически говорить о наличии зависимости даже при $|r| = 0,9$, если она не может быть объяснена физическими процессами.

Коэффициент корреляции характеризует степень связи лишь линейной зависимости между случайными величинами. Нередко между исследуемыми величинами связь имеет место, но она носит нелинейный характер, в этом случае малые значения коэффициента корреляции не свидетельствуют об отсутствии связи.

Для оценки степени нелинейной корреляционной связи в статистике принято вычислять корреляционное отношение. Однако в климатологической практике эта характеристика не имеет широкого применения. Нелинейная связь между метеорологическими величинами обычно не бывает тесной. Следует отметить, что в случае нелинейности связи ее учет не имеет практического смысла, поскольку уточнение тесноты связи за счет нелинейности практически меньше погрешности расчета самой характеристики связи (корреляционное отношение отличается от коэффициента корреляции меньше, чем величина ошибки расчета того и другого).

Одним из наиболее важных вопросов является определение точности расчета статистических характеристик. Если точность характеристики не оценена или оценена неправильно, использование ее в климатических исследованиях может привести к неверным выводам.

Рассматривая статистическую совокупность значений метеорологических величин как выборку из генеральной совокупности, статистические ошибки климатических показателей оценивают по отношению к соответствующим характеристикам генеральной совокупности (неявно предполагаем, что нет закономерных изменений климата).

Чаще всего при этом исходят из допущения (достаточно справедливого при используемых в климатологической практике объемах совокупностей) о нормальности распределения величин выборки. Если допустить также стационарность метеорологических процессов и отсутствие внутрирядной связности, то формулы средних ошибок можно записать следующим образом.

Ошибка средней арифметической:

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n-1}}, \quad (3.13)$$

где σ — среднее квадратичное отклонение отдельных измерений в рассматриваемой выборке.

Ошибка средней включает в себя инструментальную ошибку отдельных измерений (доля которой в климатических данных, как правило, мала) и ошибку, обусловленную ограниченностью выборки, когда (при неизменном климате) в рассмотрение вошло ограниченное число членов генеральной совокупности. Речь идет о том, что средние различных ограниченных выборок из одной генеральной совокупности отличаются друг от друга и, естественно, от неизвестной нам средней всей генеральной совокупности. Аналогично для ошибок других статистических характеристик:

— ошибка среднего квадратического отклонения

$$\sigma_{\sigma} = \frac{\sigma}{\sqrt{2n-1}}, \quad (3.14)$$

— ошибка коэффициента вариации

$$\sigma_{c_v} \approx \frac{C_v}{\sqrt{2\pi}} \sqrt{1 + C_v^2}, \quad (3.15)$$

— ошибка коэффициента асимметрии

$$\sigma_A \approx \sqrt{6/n}, \quad (3.16)$$

— ошибка коэффициента эксцесса

$$\sigma_K \approx \sqrt{24/n}, \quad (3.17)$$

— ошибка относительной частоты данной градации

$$\sigma_p \approx \sqrt{\frac{P(1-P)}{n}}, \quad (3.18)$$

— ошибка коэффициента корреляции

$$\sigma_r \approx \frac{1 - r^2}{\sqrt{n}}. \quad (3.19)$$

Все приведенные выражения позволяют получить лишь средние значения статистических ошибок климатических показателей. Более полное представление о точности климатических показателей дают их доверительные интервалы.

Доверительным интервалом J_β называют интервал, который включает неизвестный параметр генеральной совокупности (M , D , C_v , A , E и др.) с некоторой доверительной вероятностью. Доверительная вероятность β — это та вероятность, которую можно признать достаточной для решения конкретной задачи на эмпирическом материале.

Обычно принимают в качестве доверительной вероятности $\beta = 0,95$ или $\beta = 0,99$. Для особо важных сооружений могут быть приняты значения $\beta = 0,999$ и даже $\beta = 0,9999$.

Для достаточно больших статистических совокупностей $n > 30$ доверительные интервалы определяют в предположении о нормальности распределения всех характеристик по формулам:

$$J_\beta(\bar{x}) = \left[\bar{x} - t_\beta \frac{\sigma}{\sqrt{n-1}}; \bar{x} + t_\beta \frac{\sigma}{\sqrt{n-1}} \right], \quad (3.20)$$

$$J_{\beta}(\sigma) = \left[\sigma - t_{\beta} \frac{\sigma}{\sqrt{2n-1}}; \sigma + t_{\beta} \frac{\sigma}{\sqrt{2n-1}} \right]. \quad (3.21)$$

Значение t_{β} при заданном β определяется по таблице интеграла вероятностей Φ_1 .

Например, при $\beta = 0,95$ $t_{\beta} = 1,96$, при $\beta = 0,99$ $t_{\beta} = 2,58$. Ошибка среднего при этом будет вычисляться как

$$\sigma_{\bar{x}_{0.95}} = \pm 1,96 \frac{\sigma}{\sqrt{n-1}}. \quad (3.22)$$

3.2. Статистика экстремальных значений

Экстремальные значения характеризуют те пределы, в которых заключены значения метеорологической величины, отмеченные на данной станции за определенный период времени. Различают:

- абсолютный максимум или минимум;
- среднее из максимальных или минимальных значений метеорологической величины;
- максимум и минимум заданной обеспеченности.

Абсолютные значения максимумов и минимумов следует выбирать из рядов за весь период наблюдений, имеющих в распоряжении климатолога. Значения абсолютных максимумов температуры воздуха за период, принятый в качестве расчетного в СП 131.13330.2012 «Строительная климатология» (1966—2015 гг.) [30], были превышены на большей части территории России, только на Урале и юге Западной Сибири наиболее высокие температуры отмечались в 1936 и 1952 гг. Разность между абсолютными минимумами, определенными за период, использованный в указанных СП, и за весь период наблюдений, достигает 5—10 °С почти на всей территории, кроме Северо-Западного региона. Однако приведение минимальных температур требует использования специальных методов, так как приведение по станциям-аналогам чаще всего нецелесообразно, поскольку ошибки приведения могут быть также

очень значительны из-за высокой чувствительности этих температур к местоположению станции.

Значения температуры, близкие к абсолютным максимумам и минимумам, наблюдаются редко, поэтому для характеристики более вероятных низких и высоких значений определяют средние из экстремумов. Эти значения могут встречаться ежегодно. Средние максимумы и минимумы вычисляются так же, как средние многолетние значения ежедневных, ежемесячных или ежегодных максимумов и минимумов.

Значения наблюдаемых абсолютных максимумов или минимумов в значительной степени случайны, так как они существенно зависят от особенностей местоположения станции. Эти характеристики плохо картографируются и иногда существенно различаются на соседних станциях.

В специализированные расчеты для строительства включают экстремальные характеристики определенной обеспеченности, которые более свободны от указанных недостатков.

Для моделирования экстремальных событий были предложены многочисленные вероятностные распределения [11], однако ни одна из моделей не может считаться основной для всех практических применений. Следовательно, климатолог должен выбирать модель, исходя из природы имеющихся данных.

В данных Методических рекомендациях рассмотрены лишь некоторые из наиболее часто применяемых распределений.

В основе статистической теории экстремумов лежит представление о том, что экстремальные, одинаково распределенные независимые случайные величины подчиняются одному из трех распределений вероятностей (Гумбеля, Фреше и Вейбулла).

Тип 1 (распределение Гумбеля):

$$P[X \leq x] = \exp\{-e^{-(x-\xi)/\theta}\}. \quad (3.23)$$

Тип 2 (распределение Фреше):

$$P[X \leq x] = \exp \left\{ - \left(\frac{x - \xi}{\theta} \right)^{-k} \right\}. \quad (3.24)$$

Тип 3 (распределение Вейбула):

$$P[X \leq x] = \exp \left\{ - \left(\frac{\xi - x}{\theta} \right)^k \right\}. \quad (3.25)$$

Здесь ξ , $\theta > 0$ и $k > 0$ — параметры. Распределения, получающиеся при замене случайной величины X на $-X$, также относятся к распределениям экстремальных значений.

Распределение Гумбеля (первое предельное распределение) имеет вид:

$$P(x) = \exp[-e^{-y}], \quad (3.26)$$

где $P(x)$ — вероятность того, что величина нагрузки не превзойдет величину x .

Расчет производится по данным годовых экстремумов. Это распределение применяется в большинстве зарубежных стран и в России. Параметры распределения связаны со средним эмпирическим рядом (\bar{x}) и его средним квадратическим отклонением (σ). Расчет нагрузки, возможной один раз в заданное число лет (T) аналитическим методом, производится по формуле связи параметров вспомогательной величины y и величины x :

$$X_T = \sigma \frac{(y - \bar{y}(n))}{\sigma_y(n)} + \bar{x}, \quad (3.27)$$

где \bar{x} и σ — среднее и среднее квадратическое отклонение ряда максимумов; $\bar{y}(n)$ и $\sigma_y(n)$ — среднее и среднее квадратическое отклонение ряда вспомогательной величины y , определяемые по таблице 3.2.

$$y = -Ln \left[-Ln \left(1 - \frac{1}{NT} \right) \right]. \quad (3.28)$$

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:

$$X_T = \bar{X} + \frac{\sigma}{\sigma_y(n)} \left[-Ln \left(-Ln \left(1 - \frac{1}{NT} \right) \right) - \bar{y}(n) \right]. \quad (3.29)$$

Значение N определяется как удвоенный объем выборки, использованный для определения максимума.

Таблица 3.2

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	$\bar{y}(n)$	$\sigma_y(n)$
10	0,4952	0,9497	19	0,5220	1,0566
11	0,4996	0,9676	20	0,5236	1,0628
12	0,5035	0,9833	21	0,5252	1,0696
13	0,5070	0,9972	22	0,5268	1,0754
14	0,5100	1,0095	23	0,5283	1,0811
15	0,5128	1,0206	24	0,5296	1,0864
16	0,5157	1,0316	25	0,5309	1,0914
17	0,5181	1,0411	80	0,5569	1,1938
18	0,5202	1,0493	100	0,5600	1,2065

Распределение Фреше (второе предельное распределение) записывается в виде:

$$\varphi(x) = \exp[-(x/u)^{-\alpha}]. \quad (3.30)$$

Здесь $\varphi(x)$ — вероятность того, что величина нагрузки не превзойдет величину x ; u и α — параметры распределения.

Прологарифмировав функцию (3.30) дважды, получим:

$$Ln[-Ln\varphi(x)] = -\alpha(Lnx - Lnu). \quad (3.31)$$

Распределение Вейбулла при условии наличия полного исходного ряда x_i или статистического распределения

$$P(x \geq x_i) = F(x) = e^{-\left(\frac{x}{\beta}\right)^\gamma}, \quad (3.32)$$

где β и γ — параметры, определяемые по таблице 3.3.

Для анализа статистических распределений и графического определения ряда статистических характеристик во многих случаях удобно применять специальный бланк с функциональной координатной сеткой. На таком бланке одна из шкал или обе являются неравномерными. Это объясняется тем, что на шкале откладываются не значения величины, а значения той или иной ее функции.

Таблица 3.3

γ	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0
\bar{x}/β	1,00	0,96	0,94	0,92	0,91	0,90	0,90	0,89	0,89	0,89	0,89
σ/\bar{x}	1,00	0,91	0,83	0,78	0,73	0,68	0,64	0,61	0,58	0,56	0,53

Такой график одновременно является визуальным отображением информации и способом проверки, соответствует ли полученное распределение данным.

Наблюденные экстремумы следует определять по предварительно ранжированному исходному ряду. Значение расчетного экстремума с периодом повторения, соответствующим заданной интегральной вероятности значений x_i в ранжированном ряду, определяется по формуле:

$$P_{\leq x_i}^* = \frac{m_i}{n+1}, \quad \text{или} \quad P_{\geq x_i}^* = 1 - \frac{m_i}{n+1} \quad (3.33)$$

Здесь x_i — значение члена ранжированного ряда; m_i — номер члена этого ряда; n — общее число членов ряда.

Для определения $P_{\geq x_i}^*$ исходный ряд следует ранжировать в возрастающем порядке, а для определения $P_{\leq x_i}^*$ — в убывающем.

Если в ряду есть несколько одинаковых членов, имеющих номера m_{i+k}, \dots, m_i , то $P_{\geq x_i}^*$ и $P_{\leq x_i}^*$ следует рассчитывать не для каждого из них, а только для последнего.

Пример составления ранжированного ряда, включающего обеспеченности членов этого ряда, приведен в таблице 3.4.

Значение члена ряда и соответствующее ему значение интегральной вероятности (обеспеченности) наносятся на клетчатку.

По данным точкам строится интегральная кривая так, чтобы количество точек справа и слева от нее было примерно одинаково.

С интегральной кривой в соответствии с обеспеченностью (периодом повторения) снимается расчетная величина. Графический метод носит до некоторой степени субъективный характер. Однако он позволяет подкорректировать интегральную кривую. Как правило, несколько первых точек (малой обеспеченности) на клетчатке плохо ложатся на кривую, их обычно не учитывают.

Таблица 3.4

Расчет обеспеченности годового максимума скорости ветра

Номер члена ранжированного ряда	Скорость ветра, м/с	Обеспеченность	Номер члена ранжированного ряда	Скорость ветра, м/с	Обеспеченность
1	17		9	20	
2	17		10	20	
3	17	0,19	11	20	
4	18		12	20	0,75
5	18		13	22	0,81
6	18	0,37	14	24	0,88
7	20		15	28	0,94
8	20				

Обобщенное распределение экстремальных значений

В теории вероятности и математической статистике распределение экстремальных значений (EV) представляет собой семейство вероятностных распределений, разработанных для теории экстремальных значений. Обобщенное распределение экстремальных значений представляет собой обобщение распределений Гумбеля, Фреше и Вейбулла и используется для приближенного моделирования максимумов конечных последовательностей случайных величин.

Пусть случайная величина x распределена по закону, который описан функцией:

$$F(x) = \exp \left\{ - \left[1 + k \left(\frac{x - \mu}{\sigma} \right) \right]^{-1/k} \right\}, \quad (3.34)$$

где $k > 0$ — параметр формы; μ — параметр размещения; σ — параметр масштаба.

Тогда случайная величина x имеет обобщенное распределение экстремальных значений или $x \sim GEV(k, \mu, \sigma) \in R$

Функция плотности распределения:

$$f(k, \mu, \sigma) = e^{-\left(1+k\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)\right)^{1/k}} \frac{1}{\sigma} \left(1+k\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)\right)^{-\frac{1}{k}-1}. \quad (3.35)$$

Моменты распределения определяются по следующим формулам:

$$\mu_x = \xi + (a/k)[1 - \Gamma(1+k)], \quad (3.36)$$

$$\sigma_x^2 = (a/k)^2 \{\Gamma(1+2k) - [\Gamma(1+k)]^2\}. \quad (3.37)$$

Для практического применения можно использовать упрощенный метод расчета:

а) определяем меру кривизны данного распределения, равную отношению σ_1/σ_2 .

Для расчета σ_1 и σ_2 предлагаются следующие формулы:

$$\sigma_1 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n x_i^2}{n-1} - \frac{n}{n-1} \left(\frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}\right)^2}, \quad (3.38)$$

$$\sigma_2 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n f_i x_i^2}{N-1} - \frac{n}{n-1} \left(\frac{\sum_{i=1}^n f_i x_i}{N}\right)^2}, \quad (3.39)$$

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, $f_i = (2m - 1)$,

$$N = \sum_{i=1}^n f_i ; \quad (3.40)$$

б) 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.

$$X_T = K_D \cdot \sigma_1 + \bar{X} , \quad (3.41)$$

где X_T — значение, возможное один раз в T лет, \bar{X} — среднее из годовых максимумов.

в) по соотношению σ_1/σ_2 (таблица 3.5) определяем значение коэффициента K_D (по данным годовых максимумов). В последнем столбце этой таблицы представлены значения коэффициента K , который определяет тип распределения. При $K < 0$ имеем II тип распределения, если $K > 0$ — III тип распределения, при $K = 0$ — I тип распределения.

Таблица 3.5

Коэффициенты K_D для вычисления X_T

σ_1/σ_2	Период повторения (T), лет							K_D
	10	12.5	25	50	100	250	1000	
0,85	1,05	1,22	1,95	2,76	3,71	5,22	8,22	-0,23
0,86	1,08	1,25	1,98	2,78	3,70	5,15	7,97	-0,22
0,87	1,10	1,28	2,00	2,78	3,68	5,07	7,71	-0,20
0,88	1,13	1,30	2,02	2,79	3,65	4,98	7,46	-0,18
0,89	1,15	1,33	2,03	2,78	3,62	4,89	7,21	-0,17
0,90	1,17	1,34	2,05	2,78	3,59	4,80	6,97	-0,15
0,91	1,19	1,36	2,05	2,77	3,55	4,70	6,73	-0,14
0,92	1,21	1,38	2,06	2,76	3,51	4,60	6,50	-0,12
0,93	1,23	1,40	2,07	2,74	3,47	4,51	6,28	-0,10
0,94	1,24	1,41	2,07	2,73	3,42	4,41	6,06	-0,09
0,95	1,26	1,42	2,07	2,71	3,38	4,31	5,85	-0,07
0,96	1,27	1,43	2,07	2,69	3,33	4,22	5,65	-0,06
0,97	1,28	1,43	2,06	2,67	3,28	4,12	5,46	-0,04

σ_1/σ_2	Период повторения (T), лет							K_D
	10	12.5	25	50	100	250	1000	
0,98	1,29	1,44	2,06	2,64	3,23	4,03	5,28	-0,03
0,99	1,30	1,44	2,05	2,62	3,19	3,94	5,10	-0,01
1,00	2,20	2,56	2,94	3,49	4,04	4,75	5,84	0,00
1,01	1,31	1,45	2,04	2,57	3,09	3,77	4,78	0,01
1,02	1,32	1,46	2,03	2,54	3,04	3,68	4,62	0,03
1,03	1,32	1,46	2,02	2,51	2,99	3,60	4,48	0,04
1,04	1,33	1,46	2,01	2,49	2,94	3,52	4,34	0,06
1,05	1,33	1,46	1,99	2,46	2,90	3,44	4,20	0,07
1,06	1,33	1,46	1,98	2,43	2,85	3,37	4,08	0,08
1,07	1,34	1,47	1,97	2,40	2,80	3,29	3,95	0,10
1,08	1,34	1,47	1,96	2,37	2,76	3,22	3,84	0,11
1,09	1,34	1,46	1,94	2,35	2,72	3,15	3,73	0,12
1,10	1,34	1,46	1,93	2,32	2,67	3,09	3,62	0,14
1,11	1,34	1,45	1,91	2,29	2,63	3,02	3,52	0,15
1,12	1,34	1,45	1,90	2,26	2,59	2,96	3,42	0,16
1,13	1,34	1,45	1,89	2,24	2,55	2,90	3,33	0,18
1,14	1,34	1,45	1,87	2,21	2,51	2,84	3,24	0,19
1,15	1,33	1,45	1,86	2,18	2,47	2,78	3,16	0,20
1,16	1,33	1,44	1,84	2,16	2,43	2,73	3,08	0,21
1,17	1,33	1,44	1,83	2,13	2,39	2,67	3,00	0,23
1,18	1,33	1,43	1,81	2,11	2,35	2,62	2,93	0,24
1,19	1,32	1,42	1,80	2,08	2,32	2,57	2,86	0,25
1,20	1,32	1,41	1,78	2,05	2,28	2,52	2,79	0,26
1,21	1,32	1,41	1,77	2,03	2,25	2,48	2,73	0,28
1,22	1,31	1,39	1,75	2,01	2,21	2,43	2,67	0,29
1,23	1,31	1,39	1,74	1,98	2,18	2,39	2,61	0,30
1,24	1,31	1,39	1,72	1,96	2,15	2,34	2,55	0,31
1,25	1,30	1,38	1,71	1,93	2,12	2,30	2,50	0,32
1,26	1,30	1,38	1,69	1,91	2,09	2,26	2,44	0,33
1,27	1,29	1,38	1,68	1,89	2,06	2,22	2,39	0,34
1,28	1,29	1,37	1,66	1,87	2,03	2,19	2,34	0,36
1,29	1,28	1,36	1,65	1,85	2,00	2,15	2,30	0,37
1,30	1,28	1,35	1,63	1,82	1,97	2,11	2,25	0,38
1,31	1,28	1,35	1,61	1,79	1,94	2,07	2,20	0,39

4. Методы формирования и оценки однородности исходных климатических рядов

Достоверность климатической информации и ее корректное использование для расчета специализированных показателей, включаемых в нормативные документы, предполагает наличие верифицированных исходных данных.

Данные наблюдений, используемые для расчета климатических показателей, должны быть однородными. Необходимо учитывать, что окончательный вывод о времени нарушения однородности ряда следует делать, привлекая к анализу метаданные, которые содержат информацию о переносах метеоплощадки, изменении методики наблюдений, включая изменения сроков наблюдений, смене типа средств измерений, изменения в ближайшем окружении метеоплощадки и т. д. В случаях, когда история станции хорошо документирована и были проведены параллельные измерения при переносе метеоплощадки в другое место и замене средств измерений, следует выполнить гомогенизацию рядов наблюдений на основе этой информации.

При анализе однородности рядов наблюдений следует использовать статистические тесты в сочетании с метаданными. Использование специальных тестов на однородность позволяет одновременно проверять всю длину ряда. Возможно использование любого статистического теста, при котором сопоставляются статистические параметры двух выборок данных. Можно использовать как непараметрические, так и параметрические тесты.

В соответствии с принятой в настоящее время международной практикой при проверке однородности последовательно используются четыре статистических теста: два параметрических, которые заключаются в проверке нулевой гипотезы о равенстве средних по преобразованным критериям Стьюдента и Колмогорова (тесты Александерсона и Бушанда). Третий тест основан на использовании непараметрического критерия (тест Петита), четвертый — на отношении фон Неймана, позволяющем принимать или отвергать

гипотезу об однородности ряда, но не указывающим год ее нарушения.

Стандартный нормальный тест для проверки однородности рядов (SNHT — тест Александерсона)

Тест основывается на сравнении параметра $T(k)$ со статистикой T_0 для последовательных наборов рядов, содержащих k и $(n - k)$ членов.

$$T(k) = k\bar{z}_1^2 + (n - k)\bar{z}_2^2, \tag{4.1}$$

$$\bar{z}_1 = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k (Y_i - \bar{Y})/\sigma, \tag{4.2}$$

$$\bar{z}_2 = \frac{1}{n - k} \sum_{i=k+1}^n (Y_i - \bar{Y})/\sigma, \tag{4.3}$$

где Y_i — годовые значения метеовеличины; \bar{Y} — среднее многолетнее значение метеовеличины; σ — среднее квадратическое отклонение; $T_0 = \max T(k); k = 1 \dots n$.

Если нарушение однородности произошло в году $k = K$, то $T(k)$ достигает максимума вблизи года K . Полученные значения T_0 сравниваются с критическими, приведенными в таблице 4.1. Нулевая гипотеза будет отклонена, если T_0 выше критического значения, которое в свою очередь зависит от длины выборки.

Тест Буишанда

$$S_k^* = \sum_{i=1}^k (Y_i - \bar{Y}), \tag{4.4}$$

где $k = 1 \dots n$.

Если ряд однороден, значения сумм различных частей ряда колеблются около 0 ($S_n^* \approx 0$).

Если нарушение однородности ряда произошло около года K , то S_k^* достигает максимума (при положительном сдвиге) или минимума (при отрицательном сдвиге) вблизи года $k = K$.

$$R = \left(\max_{0 \leq k \leq n} S_k^* - \min_{0 \leq k \leq n} S_k^* \right) / \sigma. \tag{4.5}$$

Полученные значения R/\sqrt{n} сравниваются с критическими, приведенными в таблице 4.2.

Непараметрический тест Петита

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

$$X_k = 2 \sum_{i=1}^k r_i - k(n+1), \quad (4.6)$$

где $k = 1 \dots n$; r_i — порядковый номер члена ряда, ранжированного в порядке возрастания величины.

$$X_E = \max_{1 \leq k \leq n} |X_k|. \quad (4.7)$$

Полученные значения X_E сравниваются с критическими, приведенными в таблице 4.3.

Отношение фон Неймана определяется как сумма квадратов отклонений межгодовых значений к сумме квадратов отклонений от среднего значения выборки:

$$N = \sum_{i=1}^{n-1} (Y_i - Y_{i+1})^2 / \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2. \quad (4.8)$$

Полученные значения N сравниваются с критическими, приведенными в таблице 4.4. Этот тест не дает информации о годе нарушения однородности ряда.

В таблицах 4.1—4.4 приведены критические значения для четырех тестов. Для первых трех гипотеза о нарушении однородности ряда принимается условие, если результаты расчетов превышают критические значения. Тест Фон-Неймана характеризует ряд как однородный, если N близко к 2. Для неоднородного ряда N меньше 2.

Если не выполняется только один из тестов, ряд считается однородным. В случае, когда два теста отрицают однородность на 1%-ом 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.

Таблица 4.1

Значения T_0 для теста Александерсона

Уровень вероятности	Период наблюдений					
	20	30	40	50	70	100
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

Таблица 4.2

Значения R/\sqrt{n} для теста Бушанда

Уровень вероятности	Период наблюдений					
	20	30	40	50	70	100
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

Таблица 4.3

Значения X_E для теста Петита

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

Таблица 4.4

Значения N для теста Фон-Неймана

Уровень вероятности	Период наблюдений					
	20	30	40	50	70	100
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

На практике при обнаружении нарушения однородности иногда сложно получить достаточно продолжительные однородные массивы данных. Одним из вариантов решения вопроса является внесение поправок в более ранние данные, для того чтобы сделать их, насколько это возможно, однородными с более поздними данными рядов наблюдений.

5. Методы расчета специализированной климатической информации для строительной отрасли экономики

5.1. Облученность зданий

5.1.1. Продолжительность инсоляции помещений

В области архитектурно-строительного проектирования инсоляция означает облучение помещений и территорий прямыми солнечными лучами.

Прямые солнечные лучи обладают оздоровительным и бактерицидным свойствами. Для обеспечения оздоровительного воздействия инсоляции санитарными нормами устанавливается необходимое время ежедневной непрерывной инсоляции для определенного периода года.

Гигиенические требования к инсоляции и солнцезащите территорий и помещений жилых и общественных зданий определяются в [26].

Нормативная продолжительность инсоляции устанавливается на определенные календарные периоды с учетом географической широты местности (таблица 5.1).

Таблица 5.1

Нормативная продолжительность инсоляции

Широта	Период	Нормативная продолжительность инсоляции в день
Более 58° с. ш.	с 22/IV по 22/VIII	не менее 2,5 ч
58—48° с. ш.	с 22/III по 22/IX	не менее 2,0 ч
менее 48° с. ш.	с 22/II по 22/X	не менее 1,5 ч

Указанная продолжительность инсоляции должна быть обеспечена не менее чем в одной комнате для 1—3-комнатных квартир и не менее чем в двух комнатах — для 4-комнатных (и более многокомнатных) квартир. Допускается прерывистость периода облучения, при этом общая продолжительность инсоляции должна увеличиваться на 0,5 ч.

Следует отметить, что в вопросах нормирования продолжительности инсоляции имеют место расхождения в различных нормативных документах. Так, в отличие от норм, предусмотренных в [26], в СНиП по градостроительству и планировке городских и сельских поселений [36] территория страны делится на северную и южную со своими нормативами продолжительности инсоляции:

— для северной зоны (севернее 58° с. ш.) — не менее 3 часов в день на период с 22 апреля по 22 августа;

— для южной зоны (южнее 58° с. ш.) — не менее 2,5 часов в день на период с 22 марта по 22 сентября.

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

$$\cos \tau = \operatorname{ctg} \varphi \cdot \operatorname{tg} \delta_0, \quad (5.1)$$

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

В таблице 5.2 и на рисунке 5.1 для примера приведено время начала и конца облучения (освещения) прямой солнечной радиацией стен на 15-е число месяца для открыто стоящего здания. Более полные данные о продолжительности облучения зданий в течение года в диапазоне широт от 40 до 75° с. ш. приведены в [20].

Для формирования экологически благоприятной городской среды и создания оптимальных условий проживания важно на стадии проектирования определить ширину, направление улиц и высоту зданий. В ГГО разработан простой графический метод для расчета 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. Подробно этот метод описан в [24].

Таблица 5.2

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

Ф°	Время ч мин					
	Восход (Начало)	Заход (Конец)	Восход	Начало	Конец	Заход
	<i>Январь</i>			<i>Апрель</i>		
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
	<i>Февраль</i>			<i>Май</i>		
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
	<i>Март</i>			<i>Июнь</i>		
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
	<i>Октябрь</i>			<i>Июль</i>		
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
	<i>Ноябрь</i>			<i>Август</i>		
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
	<i>Декабрь</i>			<i>Сентябрь</i>		
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.

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.

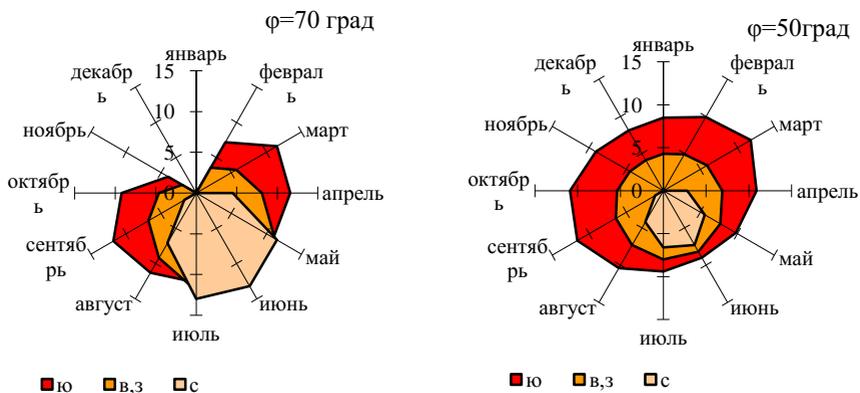


Рисунок 5.1. Продолжительность инсоляции помещений в течение года на разных широтах.

5.1.2 Поступление солнечной радиации на стены зданий

При оценке теплопоступлений от солнечной радиации на стены зданий, поступающей через светопроемы, при расчетах теплоустойчивости ограждающих конструкций, солнцезащитных средств и других целей необходимы данные о количестве поступающей солнечной радиации.

В СНиП 23-01-99 приводятся значения суммарной (прямой и рассеянной) солнечной радиации, поступающей на вертикальные поверхности для условий безоблачного неба, осредненные по широтам в интервале 40—68° с. ш.

Безусловно, представляет интерес определение составляющих суммарной радиации — прямой, рассеянной, а также отраженной.

Количество **прямой** радиации, поступающей на вертикальные поверхности разной ориентации, можно выразить следующей формулой:

$$S_B = S \cdot \cos h_o \cdot \cos(A_o - A), \quad (5.2)$$

где S_B — прямая солнечная радиация, поступающая на вертикальную поверхность; S — прямая солнечная радиация, поступающая на

поверхность, перпендикулярную солнечным лучам; h_o — высота солнца над горизонтом; A_o — азимут солнца; A — азимут нормали к стене.

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

$$S_{B,Ю} = S \cdot \cos h_o \cdot \cos A_o ; \quad (5.3)$$

к западу и востоку ($A = \pm \frac{\pi}{2}$):

$$S_{B,З-В} = S \cdot \cos h_o \cdot \sin A_o ; \quad (5.4)$$

к северу ($A = \pi$):

$$S_{B,С} = -S \cdot \cos h_o \cdot \cos A_o ; \quad (5.5)$$

к юго-западу и северо-востоку:

$$S_{(Ю-З)-(С-В)} = \pm 0,707 \cdot S \times \\ \times (\cos h_o \cdot \cos A_o - \cos h_o \cdot \cos A_o) ; \quad (5.6)$$

к северо-западу и юго-востоку:

$$S_{(С-З)-(Ю-В)} = \pm 0,707 \cdot S \times \\ \times (\cos h_o \cdot \sin A_o + \cos h_o \cdot \cos A_o) . \quad (5.7)$$

Для определения h_o и A_o используются известные формулы:

$$\sin h_o = \sin \varphi \cdot \sin \delta_o + \cos \varphi \cdot \cos \delta_o \cdot \cos \tau , \quad (5.8)$$

$$\sin A_o = \frac{\cos \beta \cdot \sin \tau}{\cosh_o} , \quad (5.9)$$

$$\cos \tau = \operatorname{ctg} \varphi \operatorname{tg} \delta_o , \quad (5.10)$$

где φ — широта места наблюдения, δ_o — склонение солнца, τ — часовой угол солнца.

Для упрощенного способа определения сумм прямой радиации, поступающей на стены зданий, разработаны коэффициенты

$$K_S = \frac{S_B}{\sum S_{\Gamma}} ,$$

которые позволяют по данным месячных (или суточных) сумм прямой радиации, поступающей на горизонтальную поверхность, опубликованным в климатических справочниках, рассчитать количество радиации на стены зданий, используя выражение:

$$\sum S_B = K_S \sum S_\Gamma. \quad (5.11)$$

Коэффициенты пересчета прямой радиации K_S разработаны в ГГО на основании выявленной зависимости от широты места и времени года отношения сумм прямой радиации, поступающей на вертикальную поверхность $\sum S_B$, к сумме радиации на горизонтальную поверхность $\sum S_\Gamma$ при средних условиях облачности.

В таблице 5.3 приведены коэффициенты пересчета для четырех широтных поясов. Полностью для широт от 37 до 78° с. ш. они опубликованы в [20]. Как видно из таблицы, в связи с особенностями годового хода облачности рассчитанные суммы прямой радиации на стены восточной и западной ориентаций будут различаться. Выполненные ранее оценки показали, что прозрачность атмосферы не оказывает сильного влияния на величину коэффициента K_S для пересчета месячных сумм, поэтому при решении практических задач, не требующих большой точности, для восточной и западной ориентации можно использовать одно и то же значение.

При средних условиях облачности суммарный приход солнечной радиации на вертикальную поверхность в допущении изотропного распределения рассеянной и отраженной радиации можно записать так:

$$Q_B = S_B + 0,5D_\Gamma + 0,5R_\Gamma, \quad (5.12)$$

где D_Γ и R_Γ — соответственно значения рассеянной и отраженной радиации, поступающей на горизонтальную поверхность.

Для решения целого ряда практических задач необходимы ежечасные данные о количестве суммарной радиации. В действующих нормативных документах такая информация очень ограничена. Часовые суммы солнечной радиации приводятся в СНиП II-A.6-72 «Строительная климатология и геофизика» для условий безоблачного неба только для июля месяца. Также для июля в СНиП «Нагрузки и воздействия» (СП 20.13330.2011) приводятся значения суммарной солнечной радиации (прямой и рассеянной) только за часовой интервал, в который отмечается максимальное значение радиации.

Таблица 5.3

Коэффициенты K_S для пересчета средних месячных сумм прямой солнечной радиации с горизонтальной поверхности на вертикальную

Градусы с. ш.	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
<i>Южная ориентация</i>													
40	2,15	1,50	0,92	0,51	0,28	0,19	0,23	0,39	0,71	1,20	1,85	2,40	
50	3,50	2,20	1,30	0,73	0,44	0,34	0,38	0,60	1,00	1,75	2,90	4,10	
60	7,20	3,50	1,85	1,03	0,64	0,50	0,56	0,83	1,44	2,60	5,50		
70			3,20	1,44	0,86	0,64	0,72	1,10	2,20	5,35			
<i>Юго-восточная и юго-западная ориентации</i>													
40	ЮВ	1,40	1,05	0,75	0,56	0,41	0,36	0,34	0,45	0,70	0,97	1,40	1,70
	ЮЗ	1,60	1,10	0,80	0,53	0,40	0,33	0,36	0,49	0,65	0,90	1,30	1,63
50	ЮВ	2,30	1,55	1,00	0,75	0,53	0,45	0,49	0,62	0,86	1,35	2,00	2,90
	ЮЗ	2,50	1,70	1,10	0,69	0,50	0,42	0,45	0,61	0,84	1,30	2,10	2,95
60	ЮВ	5,10	2,45	1,45	0,97	0,69	0,60	0,60	0,80	1,26	2,08	3,95	
	ЮЗ	5,20	2,80	1,50	0,90	0,63	0,54	0,58	0,81	1,20	1,95	3,80	
70	ЮВ			2,30	1,26	0,84	0,66	0,71	1,00	1,77	3,85		
	ЮЗ			2,55	1,30	0,88	0,71	0,75	1,09	1,80	3,85		
<i>Восточная и западная ориентации</i>													
40	В	0,55	0,50	0,46	0,44	0,42	0,40	0,44	0,41	0,46	0,50	0,48	0,54
	З	0,56	0,54	0,48	0,40	0,35	0,34	0,40	0,42	0,43	0,42	0,48	0,54
50	В	0,68	0,65	0,61	0,53	0,48	0,46	0,47	0,49	0,56	0,62	0,66	0,86
	З	0,75	0,69	0,61	0,47	0,42	0,40	0,43	0,44	0,50	0,58	0,66	0,86

Градусы с. ш.		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
60	В	0,76	0,87	0,65	0,64	0,59	0,56	0,56	0,58	0,68	0,72	0,86	
	З	1,19	1,18	0,66	0,56	0,50	0,49	0,52	0,56	0,62	0,74	0,86	
70	В			1,00	0,78	0,66	0,62	0,60	0,70	0,88	1,32		
	З			1,00	0,86	0,70	0,67	0,68	0,80	0,88	1,30		
<i>Северо-восточная и северо-западная ориентации</i>													
40	СВ	0,03	0,06	0,12	0,19	0,22	0,26	0,24	0,21	0,16	0,10	0,06	0,02
	СЗ	0,04	0,06	0,12	0,17	0,21	0,23	0,25	0,20	0,15	0,08	0,04	0,02
50	СВ	0,01	0,06	0,13	0,20	0,26	0,28	0,27	0,23	0,16	0,09	0,03	0,01
	СЗ	0,02	0,06	0,14	0,19	0,23	0,26	0,25	0,21	0,16	0,08	0,03	0,01
60	СВ		0,04	0,14	0,24	0,32	0,33	0,32	0,27	0,18	0,09	0,02	
	СЗ		0,05	0,17	0,22	0,27	0,31	0,29	0,26	0,17	0,07	0,01	
70	СВ			0,18	0,31	0,42	0,46	0,46	0,35	0,25	0,10		
	СЗ			0,21	0,33	0,44	0,52	0,49	0,39	0,24	0,07		
<i>Северная ориентация</i>													
40					0,01	0,04	0,08	0,06	0,02				
50					0,02	0,06	0,10	0,08	0,03				
60					0,02	0,09	0,14	0,12	0,06				
70					0,07	0,24	0,40	0,35	0,15				

При расчете часовых сумм прямой солнечной радиации на вертикальные поверхности для любого месяца и часового интервала следует использовать приведенные выше формулы (5.2—5.11), определив для каждого часового интервала часовой угол, высоту солнца и азимут (при допущении линейного изменения этих характеристик в течение часа). В таблице 5.4 для примера приведены коэффициенты пересчета часовых сумм прямой солнечной радиации, поступающих на поверхность, перпендикулярную солнечным лучам, на вертикальные разной ориентации для января и июля.

Приведенные в таблице 5.4 коэффициенты вычислены на 15 число месяца. В тех случаях, когда необходимо рассчитать суммы прямой солнечной радиации, поступающей на вертикальную поверхность, для конкретного дня, значения коэффициентов можно интерполировать между соседними месяцами. Ошибка коэффициентов, полученных интерполяцией, составляет около 2 %. В часовые интервалы, когда происходит переход от одной ориентации к другой, и коэффициенты пересчета существенно уменьшаются, относительная ошибка их при интерполяции может резко возрастать.

В июне и декабре, в месяцы летнего и зимнего солнцестояния, склонение солнца меняется нелинейно. Поэтому для второй половины месяца, учитывая сравнительно небольшое абсолютное изменение склонения солнца, можно использовать те коэффициенты, которые приведены в таблице 5.4, т. е. на 15 число месяца (ошибка также не превысит 2 %). Для первой половины месяца коэффициенты можно найти интерполяцией, используя коэффициенты, полученные на 15 число предыдущего месяца, ошибка возрастет до 4 %.

В качестве примера в таблице 5.5 приведены коэффициенты пересчета на юго-западную стену для $\varphi = 50^\circ$ с. ш. на 1 декабря, вычисленные по формулам и полученные интерполяцией между коэффициентами на 15 декабря и на 15 ноября.

Что касается вычисления коэффициентов для отдельных дней в марте и сентябре (весеннее и осеннее равноденствие), то в эти месяцы их можно получать интерполяцией, так как изменение склонения солнца в течение этих месяцев линейное.

Таблица 5.4

**Коэффициенты для пересчета на вертикальную поверхность
часовых сумм прямой солнечной радиации, поступающей
на поверхность, перпендикулярную солнечным лучам**

Часовые интервалы, ч		<i>φ с. ш.</i>			
		44	50	60	64
<i>Январь</i>					
<i>южная стена</i>					
7–8	16–17	0,51			
8–9	15–16	0,65	0,67		
9–10	14–15	0,77	0,80	0,82	
10–11	13–14	0,86	0,89	0,93	0,93
11–12	12–13	0,90	0,94	0,98	0,99
<i>восточная стена</i>	<i>западная стена</i>				
7–8	16–17	0,86			
8–9	15–16	0,74	0,74		
9–10	14–15	0,57	0,57	0,57	
10–11	13–14	0,36	0,36	0,36	0,36
11–12	12–13	0,12	0,12	0,12	0,12
<i>юго-восточная, стена</i>	<i>юго-западная стена</i>				
7–8	16–17	1,37			
8–9	15–16	1,39	1,41		
9–10	14–15	1,34	1,37	1,39	
10–11	13–14	1,22	1,25	1,28	1,29
11–12	12–13	1,02	1,06	1,10	1,11
12–13	11–12	0,78	0,82	0,86	0,87
13–14	10–11	0,50	0,54	0,57	0,58
14–15	9–10	0,21	0,23	0,25	
<i>северо-западная стена</i>	<i>северо-восточная стена</i>				
15–16	8–9	0,09	0,07		
16–17	7–8	0,35			

Продолжение таблицы 5.4

Часовые интервалы, ч		<i>φ с. ш.</i>			
		44	50	60	64
<i>Июль</i>					
<i>северная стена</i>					
2-3	21-22				0,82
3-4	20-21			0,67	0,67
4-5	19-20		0,51	0,49	0,48
5-6	18-19	0,35	0,33	0,29	0,27
6-7	17-18	0,18	0,14	0,08	0,05
7-8	16-17	0,02	0,04		
<i>южная стена</i>					
7-8	16-17			0,12	0,16
8-9	15-16	0,13	0,20	0,31	0,35
9-10	14-15	0,25	0,33	0,45	0,50
10-11	13-14	0,33	0,42	0,56	0,61
11-12	12-13	0,38	0,47	0,61	0,67
<i>восточная стена</i>	<i>западная стена</i>				
2-3	21-22				0,57
3-4	20-21			0,74	0,74
4-5	19-20		0,86	0,86	0,86
5-6	18-19	0,92	0,92	0,92	0,92
6-7	17-18	0,92	0,92	0,92	0,92
7-8	16-17	0,86	0,86	0,86	0,86
8-9	15-16	0,74	0,74	0,74	0,74
9-10	14-15	0,57	0,57	0,57	0,57
10-11	13-14	0,36	0,36	0,36	0,36
11-12	12-13	0,12	0,12	0,12	0,12
<i>юго-восточная стена</i>	<i>юго-западная стена</i>				
3-4	20-21			0,06	0,07
4-5	19-20		0,35	0,37	0,38
5-6	18-19	0,57	0,59	0,63	0,65
6-7	17-18	0,74	0,78	0,84	0,87
7-8	16-17	0,84	0,82	0,98	1,02
8-9	15-16	0,87	0,93	1,04	1,09
9-10	14-15	0,81	0,89	1,02	1,07

Продолжение таблицы 5.4

Часовые интервалы, ч		φ с. ш.			
		44	50	60	64
10–11	13–14	0,69	0,78	0,92	0,97
11–12	12–13	0,50	0,59	0,74	0,79
12–13	11–12	0,25	0,35	0,49	0,55
13–14	10–11	0,02	0,07	0,20	0,25
14–15	9–10	0,32			
15–16	8–9				
<i>северо-западная стена</i>	<i>северо-восточная стена</i>				
14–15	9–10		0,24	0,11	0,06
15–16	8–9	0,61	0,54	0,43	0,39
16–17	7–8	0,88	0,89	0,73	0,70
17–18	6–7	1,10	1,07	1,00	0,97
18–19	5–6	1,27	1,25	1,21	1,19
19–20	4–5		1,37	1,35	1,34
20–21	3–4			1,41	1,41

Таблица 5.5

Часовые интервалы	8–9	9–10	10–11	11–12	12–13	13–14	14–15
Расчет	1,408	1,368	1,253	1,066	0,824	0,543	0,238
Интерполяция	1,406	1,366	1,249	1,078	0,825	0,533	0,229

Расчет суммарного прихода солнечной радиации, поступающей на вертикальную поверхность в условиях безоблачного неба, достаточно сложен и трудоемок в связи с необходимостью учета анизотропности распределения рассеянной радиации D_B (совместно с отраженной R_B). Поле рассеянной и отраженной радиации анизотропно, так как поток $(D_B + R_B)$ зависит не только от угла падения солнечных лучей, но и от азимута солнца.

Определение рассеянной радиации (совместно с отраженной), поступающей на вертикальные поверхности, производится путем пересчета рассеянной радиации, поступающей на горизонтальную

поверхность, с использованием коэффициента (K), основанного на допущении пропорциональности между световым и энергетическим потоками рассеянной радиации и закономерностях между освещенностью вертикальных поверхностей, высотой и азимутом солнца (таблица 5.6).

Таблица 5.6

**Коэффициенты вертикальной освещенности
в зависимости от высоты солнца и азимута A'**

Высота солнца (град.)	A'						
	0	30	60	90	120	150	180
0	1,35	1,15	0,80	0,50	0,40	0,30	0,30
5	1,65	1,45	1,15	0,75	0,55	0,40	0,40
10	1,65	1,45	1,20	0,80	0,65	0,55	0,55
20	1,75	1,55	1,20	0,85	0,70	0,65	0,65
30	1,70	1,55	1,30	0,95	0,75	0,65	0,65
40	1,30	1,15	0,95	0,75	0,60	0,60	0,60
50	1,20	1,06	0,90	0,75	0,65	0,60	0,60
55	1,10	1,00	0,85	0,75	0,65	0,60	0,60
65	0,95	0,85	0,85	0,75	0,65	0,65	0,65
73	0,80	0,80	0,80	0,70	0,70	0,65	0,65

При расчетах суммарной радиации на вертикальную поверхность в условиях безоблачного неба для каждого часового интервала и каждой ориентации вычисляется угол A' — угол между азимутом солнца A_0 и азимутом нормали A^* к стене, град. Далее для каждого часового интервала по высоте солнца h и углу A' с использованием таблицы 5.6, находится коэффициент K . Таким образом, значение рассеянной радиации (совместно с отраженной) определяется как:

$$(D_B + R_B) = K \cdot D_\Gamma . \quad (5.13)$$

Для примера в таблице 5.7 приведены коэффициенты K для восточной (западной) стены.

Рассчитав прямую, рассеянную и отраженную радиацию по описанной методике, можно определить суммарную радиацию, поступающую на вертикальные поверхности для каждого часового интервала при безоблачном небе.

Таблица 5.7

**Коэффициент пересчета рассеянной радиации
(включая отраженную) с горизонтальной поверхности
на вертикальную для восточной (западной) ориентаций
с учетом анизотропии ее распределения при безоблачном небе**

Часовые интервалы, ч		K		
восточная ориентация	западная ориентация	Верхоянск	Омск	Хабаровск
4–5	19–20	1,47	1,45	1,29
5–6	18–19	1,60	1,56	1,54
6–7	17–18	1,69	1,69	1,70
7–8	16–17	1,68	1,66	1,64
8–9	15–16	1,46	1,26	1,21
9–10	14–15	1,18	1,08	1,04
10–11	13–14	0,98	0,91	0,88
11–12	12–13	0,83	0,79	0,79

5.1.3. Естественная освещенность

Первичным источником естественного (дневного) света является Солнце, излучающее в мировое пространство мощный поток световой энергии. Эта энергия достигает поверхности Земли в виде прямого или рассеянного (диффузного) света. В светотехнических расчетах естественного освещения помещений учитывается только диффузный свет.

Основные компоненты естественной освещенности на открытой местности — прямой солнечный свет E_C , рассеянный (диффузный) свет неба E_H и отраженный от земли свет E_3 . При естественном освещении диапазон освещенностей и яркостей очень велик. Так, освещенность в полдень в ясный день на открытой горизонтальной

поверхности может превосходить 100000 лк, в то время как в сумерки в пасмурный день она может равняться нескольким люксам.

Величина естественной наружной освещенности изменяется в зависимости от времени года и от времени суток. Кроме того, она в значительной степени зависит от облачности.

Задача проектирования естественного освещения помещений сводится к рациональному использованию имеющихся в данном районе природных световых ресурсов.

В действующих нормативных документах [28] характеристики светового климата приводятся в очень сокращенном виде. Не приводятся данные о количестве суммарной и рассеянной освещенности, а даются только нормированные значения коэффициента естественной освещенности (КЕО — отношение естественной освещенности, создаваемой в некоторой точке внутри помещения светом неба (непосредственным или после отражений), к одновременному значению наружной освещенности на горизонтальной поверхности, создаваемой светом полностью открытого небосвода, выраженное в процентах) и таблица административных районов, сгруппированных по ресурсам светового климата. Значения коэффициентов светового климата по районам приведены в [29].

Коэффициент светового климата определяется как отношение средней освещенности в Москве $E_{\text{ср}}^{\text{М}}$ к средней освещенности в данном районе: ($m = E_{\text{ср}}^{\text{М}} \cdot E_{\text{ср}}^{\text{М}} / E_{\text{ср}}$). Средняя освещенность в Москве служит эталоном ($E_{\text{ср}}^{\text{М}} = 1$).

Для расчетов средней освещенности территории использовались актинометрические данные, однако методика расчета освещенности в нормативных документах не приводится.

На основании результатов расчетов, проведенных с использованием актинометрических данных, построена карта светоклиматического районирования территории России [39], которая в действующих нормативных документах не приводится. Карта была построена по данным средней за год освещенности ($E_{\text{ср}}$)

на горизонтальной поверхности при открытом небосводе в течение 1 ч за период использования в помещении естественного света.

В отмененной редакции СНиП II-A.6-72 приведена карта значений средней за год суммарной и рассеянной освещенности, получаемой горизонтальной поверхностью за один час светлого времени года. Кроме того, в этом СНиПе для 12 пунктов приведена таблица суточного хода суммарной и рассеянной освещенности горизонтальной поверхности.

Наиболее полная информация о количественных характеристиках естественной освещенности приведена в СП 23-102-2003. В этом нормативном документе для различных широт приводятся часовые значения освещенности горизонтальной и вертикальных поверхностей, но только для месяцев зимнего и летнего солнцестояния, весеннего и осеннего равноденствия (XII, VI, III, IX).

Исходя из краткого обзора информации об освещенности, имеющейся в нормативных документах, представляется необходимым изложить основные принципы методики расчета естественной освещенности в том или ином районе при обслуживании заинтересованных потребителей.

В настоящее время на актинометрической сети регулярные наблюдения за естественной освещенностью не проводятся (за исключением одного пункта — Москва, МГУ).

Получить информацию о световом режиме того или иного географического пункта без постановки специальных наблюдений за естественной освещенностью можно, используя разработанный в ГГО метод пересчета данных актинометрических наблюдений за интенсивностью солнечной радиации в величины освещенности с помощью светового эквивалента [2] и метод, разработанный в МГУ, по данным непрерывных наблюдений за освещенностью и продолжительностью солнечного сияния в Метеорологической обсерватории МГУ [38, 39].

Световым эквивалентом радиации принято называть отношение величины освещенности в тысячах люксов к одновременному значению интенсивности радиации (энергетической освещенности) в $\text{кал}\cdot\text{см}^{-2}\cdot\text{мин}^{-1}$ (или $\text{кВт}/\text{м}^2$).

Исследования, выполненные в [3], показали, что на всех станциях России для данного вида радиации (суммарной и рассеянной), данной высоты солнца и количества облачности (состояния диска солнца) можно пользоваться одними и теми же значениями светового эквивалента. В таблице 5.8 приведены средние значения светового эквивалента прямой, суммарной и рассеянной радиации, и указаны их средние квадратические отклонения от среднего значения, обусловленные различным состоянием атмосферы [17].

Расчет естественной освещенности по актинометрическим данным

При расчете суммарной и рассеянной освещенности по актинометрическим данным в сроки наблюдений необходимо сгруппировать срочные ежедневные актинометрические наблюдения по состоянию диска солнца, т. е. закрытости солнечного диска облаками независимо от их количества. Для каждого актинометрического срока по сгруппированным наблюдениям вычисляется среднее значение за месяц в данный срок, по которому определяется освещенность с использованием соответствующего значения светового эквивалента по формуле:

$$E(\text{клк}) = Q(\text{кал} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{мин}^{-1}) \cdot K. \quad (5.14)$$

Значения световых эквивалентов берутся из таблицы 5.8 для высоты Солнца на 15 число данного месяца.

Если значения интенсивности радиации (энергетической освещенности) выражены в $\text{кВт}/\text{м}^2$, то формула для расчета естественной освещенности принимает вид:

$$E(\text{клк}) = 1,43 \cdot Q(\text{кВт}/\text{м}^2) \cdot K. \quad (5.15)$$

Средние месячные значения суммарной освещенности E_Q в данный срок определяются с учетом всех случаев облачности (состояния диска Солнца):

$$E_Q = (E_{Q_{o^2,o}} \cdot n_{Q_{o^2,o}} + E_{Q_{п,о^0}} \cdot n_{Q_{п,о^0}}) / (n_{Q_{o^2,o}} + n_{Q_{п,о^0}}), \quad (5.16)$$

где n — число случаев при разных состояниях диска Солнца; $n_{Q_{o^2,o}}$ — открытое и просвечивающее Солнце; $n_{Q_{п,о^0}}$ — пасмурно и слабо просвечивающее Солнце.

Таблица 5.8

Световой эквивалент (тыс. лк/кал·см⁻² мин⁻¹) прямой, суммарной и рассеянной радиации в зависимости от высоты Солнца h_0 и облачности, средние квадратические отклонения значений светового эквивалента [3]

Высота Солнца, градусы	Световой эквивалент, тыс. лк / кал/см ² мин				
	Прямая радиация	Суммарная радиация	Рассеянная радиация		Рассеянная (суммарная) радиация
	Облачность 0—3 балла, Θ^2	Облачность 0—6 баллов, Θ^2 ; Облачность 1—10 баллов, Θ	Облачность 0—6 баллов, Θ^2	Облачность 1—10 баллов, Θ	Облачность 7—10 баллов, П; Облачность 3—10 баллов, Θ^0
10	49 ± 7	62 ± 5			
20	56 ± 4	66 ± 5			
30	62 ± 3	68 ± 4			
40	66 ± 3	70 ± 3	82 ± 12	80 ± 7	72 ± 7
50	68,5 ± 3	71 ± 3			
60	70 ± 3	71,5 ± 3			
70	71 ± 2	72 ± 2			
75	71 ± 2	72 ± 2			

Примечание. Если интенсивность радиации выражена в кВт/м², то световой эквивалент надо умножить на 1,43. Если в расчетах используются часовые суммы в МДж/м², то световой эквивалент надо умножить на 0,4.

Аналогично определяются значения рассеянной освещенности E_D . Следует отметить, что в расчетах используются значения светового эквивалента, соответствующие высоте Солнца на 15 число месяца, поэтому полученные значения освещенности также относятся к 15 числу месяца.

По значениям средней освещенности в сроки наблюдений определяется средняя месячная дневная сумма суммарной и рассеянной освещенности с использованием «метода трапеций» аналогично тому, как это принято при расчете сумм радиации [3].

Если при расчете освещенности используются не срочные наблюдения, а часовые суммы радиации, выраженные в мДж/м^2 , расчет освещенности производится по формуле:

$$E(\text{клк}) = K \cdot 0,4 \cdot Q(\text{МДж/м}^2). \quad (5.17)$$

Оценка точности изложенной методики показала, что для отдельного значения суммарной освещенности ошибка составляет $\pm 10\%$, для рассеянной освещенности $\pm 15\%$. Более подробно методика расчета освещенности по актинометрическим данным изложена в [3].

Расчет дневного количества естественной освещенности по продолжительности солнечного сияния

На базе непрерывных наблюдений за естественной освещенностью и продолжительностью солнечного сияния в Метеорологической обсерватории МГУ был разработан метод определения суточного и месячного количества суммарной освещенности E_Q по эмпирическим формулам:

$$E_Q = a + b \cdot T, \quad (5.18)$$

где T — продолжительность солнечного сияния; a (клк·ч) — коэффициент, соответствующий количеству освещения при отсутствии солнечного сияния, т. е. величине E_Q при пасмурной погоде; коэффициент b (клк) показывает, насколько увеличивается количество естественного освещения при изменении продолжительности солнечного сияния на 1 час [38].

Поскольку оба коэффициента зависят от высоты солнца, применять полученные для широты Москвы эмпирические формулы

для расчета естественной освещенности в других районах нельзя. Для устранения этой проблемы авторами методики было принято решение использовать зависимость коэффициентов a и b от высоты солнца в истинный полдень. При расчете коэффициента a учитывается также характер подстилающей поверхности.

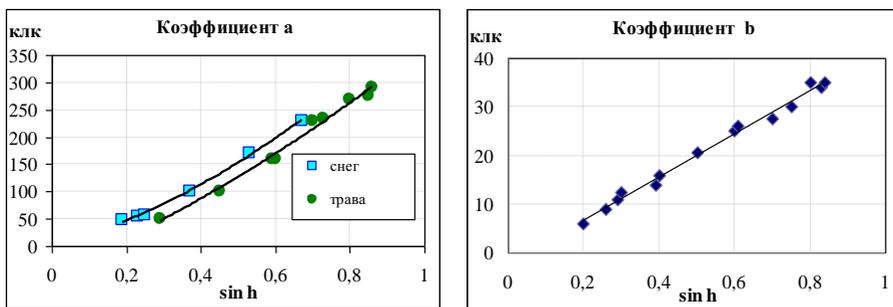


Рисунок 5.2. Зависимость коэффициентов регрессии a и b от полуденной высоты солнца.

Подставляя зависимости a и b от полуденной высоты солнца ($\sin h$) в общую формулу $E_Q = a + b \cdot T$, получаем формулы (5.19—5.20) для расчета естественной облученности в любой точке по данным о продолжительности солнечного сияния для условий поверхности, покрытой снегом или травой.

Подстилающая поверхность — снег:

$$E_Q = (-15,5 \sin^2 h + 60,2 \sin h - 4,4) \cdot T + (66,1 \sin^2 h + 352,6 \sin h - 31,4). \quad (5.19)$$

Подстилающая поверхность — трава:

$$E_Q = (-15,5 \sin^2 h + 60,2 \sin h - 4,4) \cdot T + (176,6 \sin^2 h + 248 \sin h - 42,3). \quad (5.20)$$

Таким образом, зная полуденную высоту Солнца, например, на 15-е число месяца и среднюю за месяц суточную (дневную) продолжительность солнечного сияния, можно получить оценку средней за месяц суточной суммы E_Q .

Пример расчета средней месячной освещенности в ноябре на метеостанции Выборг на основе суточных значений освещенности.

Предположим, что снежный покров устанавливается 10 ноября, следовательно, 10 дней в ноябре были без снега. Согласно климатическому справочнику ПСС за ноябрь (полный месяц) составляет 25 часов, в среднем за день продолжительность солнечного сияния (T) составляет $25/30 = 0,8$ ч. Определим полуденную высоту солнца на середину периода без снега: 5 ноября $h_{\text{пд}} = 13,45^\circ$, $\sin h_{\text{пд}} = 0,233$. В соответствии с формулой (5.20) значение E_Q на 5 ноября будет равно:

$$E_Q = (-15,5 \cdot 0,233^2 + 60,2 \cdot 0,233 - 4,4) \times \\ \times 0,8(176,6 \cdot 0,233^2 + 248 \cdot 0,233 - 42,3) = 32,1 \text{ клк} \cdot \text{ч}$$

Следовательно, за весь бесснежный период 1—10 ноября $E_Q = 32,1 \cdot 10$ дней = 321 клк·ч

Середина периода со снегом — 20 ноября. В этот день полуденная высота солнца равна $9,5^\circ$, $\sin h_{\text{пд}} = 0,165$. Сумма E_Q на 20 ноября в среднем составит:

$$E_Q = (-15,5 \cdot 0,165^2 + 60,2 \cdot 0,165 - 4,4) \cdot 0,8 + \\ + (66,1 \cdot 0,165^2 + 352,6 \cdot 0,165 - 31,4) = 2,7 \text{ клк} \cdot \text{ч}$$

За 20 дней со снегом с 11 по 30 ноября $E_Q = 2,7 \cdot 20 = 54$ клк·ч.

За месяц количество E_Q составит $321 \text{ клк} \cdot \text{ч} + 54 \text{ клк} \cdot \text{ч} = \underline{375 \text{ клк} \cdot \text{ч}}$.

Расчет количества дневного освещения в среднем за месяц проводился по той же схеме, что и расчет суточного количества E_Q . Первоначально определялась линейная зависимость между месячными значениями E_Q и ПСС ($E_Q = a + b \cdot T$), затем зависимости коэффициентов a и b от полуденной высоты солнца ($\sin h$) с учетом характера подстилающей поверхности. По полученным зависимостям были выведены эмпирические формулы (5.21—5.22) для расчета месячного количества естественной освещенности в том или ином пункте:

Подстилающая поверхность — снег:

$$E_Q = 11,57 \cdot \exp(1,35 \cdot (\sin h)^2) \cdot T + 13456 \cdot (\sin h)^{1,74}. \quad (5.21)$$

Подстилающая поверхность — трава:

$$E_Q = 11,57 \cdot \exp(1,35 \cdot (\sin h)^2) \cdot T + 12283 \cdot (\sin h)^{1,86}. \quad (5.22)$$

Пример расчета **среднего за месяц** количества естественной освещенности для метеостанции Выборг за ноябрь, когда весь месяц наблюдался снежный покров. Расчет производится на середину месяца. Полуденная высота Солнца на 15 ноября $h_{\text{пд}} = 10,9^\circ$, $\sin h_{\text{пд}} = 0,189$, продолжительность солнечного сияния (T) составляет 25 ч (согласно Научно-прикладному справочнику). Используя формулу (5.22) для поверхности «снег», получаем:

$$E_Q = 11,57 \exp(1,35 \cdot 0,189^2) \cdot 25 + 13456 \cdot 0,189^{1,74} = 1045 \text{ клк} \cdot \text{ч}.$$

Сравнение значения E_Q , определенного по среднему суточному значению, умноженному на число дней в месяце, с расчетами по формуле для месячных значений показало, что различие составляет 7 %, что не превышает точность расчета E_Q по продолжительности солнечного сияния по сравнению с расчетами по актинометрическим данным.

5.2. 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 СП 131.13330.2012 [30] для расчетов теплозащиты зданий специализированные параметры представлены следующими климатическими показателями:

— температура воздуха наиболее холодных суток и наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 92 и 98 %;

- температура воздуха обеспеченностью 0,94 (х. п.), 0,95 и 0,98 (т. п.);
- абсолютная минимальная (х. п.) и максимальная температура воздуха (т. п.), °С;
- средняя суточная амплитуда температуры воздуха наиболее холодного (теплого) месяца, °С;
- продолжительность и средняя температура воздуха периода со средней суточной температурой воздуха 0, 8, 10 °С;
- средняя месячная относительная влажность воздуха наиболее холодного (теплого) месяца, %;
- средняя месячная относительная влажность воздуха в 15 ч ВСВ наиболее холодного (теплого) месяца, %;
- количество осадков, мм;
- преобладающее направление ветра за декабрь—февраль (июль—август);
- наибольшая из средних скоростей ветра по румбам за январь (июль), м/с;
- средняя скорость ветра, м/с, за период со средней суточной температурой воздуха ниже 8 °С.

5.2.1. Специализированные климатические параметры температуры воздуха холодного и теплого периодов

Температура воздуха наиболее холодных суток обеспеченностью 92 и 98 % рассчитывается по минимальным **сезонным** средним суточным температурам воздуха. Данное значение выбирается не как годовой минимум, а как минимум за зимний период. Это связано с вероятностью попадания в выборку минимальных температур, вызванных синоптическими процессами одной зимы (например, на большей части ЕТС наиболее низкая температура в 1978 году отмечалась в декабре, а 1979 — в январе).

Расчет заданных квантилей производится по обобщенному распределению экстремальных значений (см. п. 3.2).

Температура наиболее холодной пятидневки рассчитывается методом скользящего осреднения за пять последовательных среднесуточных значений температуры воздуха за зимний период.

Температура воздуха с обеспеченностью 0,94. Расчет производится по полной совокупности «срочных» данных, которые ранжируются по убыванию. Вероятность рассчитывается по формуле:

$$P = \frac{m_i}{n + 1} \cdot 100\% . \quad (5.23)$$

Искомое значение определяется по верхней границе интегральной вероятности, равной 94 %. Температуры теплого периода с вероятностью 0,95 и 0,98 рассчитываются аналогично, но ряды ранжируются по возрастанию.

Ниже в таблице приведен фрагмент расчетных данных, демонстрирующий выбор искомого значения (жирный шрифт).

Таблица 5.9

Номер значения в ранжированном ряду	T °C	P %
132075	-11,4	94
132076	-11,4	94
132077	-11,4	94
132078	-11,4	94
132079	-11,4	95
132080	-11,4	95
132081	-11,4	95

Абсолютные минимальная и максимальная температуры воздуха выбираются за весь период наблюдений на станции.

Наиболее холодный и теплый месяцы. Выбор месяцев определяется по значениям средней месячной температуры за каждый год. В выбранных месяцах рассчитывается средняя относительная влажность и амплитуда температуры воздуха.

Таблица 5.10

Год	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
<i>Средняя месячная температура воздуха наиболее холодных и наиболее теплых месяцев, °С</i>												
1991	-4,4	-5,8	-0,8	4,8	9,9	15,3	18,4	17,5	11,2	7,2	3,4	-1,4
1992	-2,7	-2,6	1,8	3,3	11,0	16,7	17,8	16,6	13,8	1,5	-2,5	-0,1
1993	-2,3	-2,6	-1,1	4,1	13,9	12,9	16,9	14,8	7,3	4,3	-5,7	-3,2
1994	-3,3	-12,0	-1,9	7,1	9,4	14,2	19,7	16,4	12,7	5,4	-0,9	-3,0
1995	-4,1	-0,3	1,1	4,8	11,1	19,2	16,5	16,9	12,3	8,3	-1,8	-8,6
1996	-7,0	-10,7	-2,9	3,4	10,2	14,7	16,2	18,4	9,7	6,6	4,1	-5,2
1997	-5,6	-3,8	-1,2	2,5	9,1	16,7	19,6	18,8	10,6	3,7	-0,5	-5,4
1998	-1,7	-7,3	-4,2	3,6	10,8	16,4	18,0	14,7	11,8	6,5	-5,2	-4,1
1999	-7,2	-8,0	-0,2	7,6	7,7	20,5	20,6	16,2	13,0	7,2	-0,2	-1,3
<i>Средняя месячная амплитуда температуры воздуха в выбранные месяцы, °С</i>												
1991	6,0	5,1	5,3	7,8	7,6	7,4	7,3	7,3	6,7	4,9	3,8	4,7
1992	5,8	5,1	4,9	5,9	8,8	9,9	8,7	7,1	6,6	4,6	4,1	3,6
1993	4,3	5,2	5,7	7,7	11,1	7,4	7,1	6,9	6,8	5,5	3,8	4,3
1994	4,4	6,1	6,0	8,7	9,2	7,8	9,3	7,8	5,6	5,0	4,2	4,0
1995	5,0	4,3	4,3	7,0	8,7	9,3	7,3	8,6	7,1	4,7	5,0	6,2
1996	4,5	7,3	9,1	8,2	9,1	8,0	7,0	9,6	6,4	4,1	3,6	4,7
1997	6,9	5,9	5,5	6,8	7,8	8,9	9,2	9,2	6,3	4,8	3,5	5,0
1998	3,3	7,9	8,9	8,7	9,6	8,3	8,0	5,9	6,7	5,3	4,3	5,3
1999	5,3	7,2	6,9	7,9	8,8	10,2	9,0	8,3	7,6	4,0	5,3	4,3
<i>Средняя месячная относительная влажность воздуха в выбранные месяцы, %</i>												
1991	84	88	81	75	68	74	73	77	78	86	87	85
1992	85	85	77	75	67	59	67	75	82	80	85	86
1993	86	79	79	68	61	71	75	81	76	78	77	88
1994	88	85	79	67	56	73	65	74	84	78	82	87
1995	81	85	76	71	67	68	70	71	80	82	85	88
1996	89	83	75	73	65	69	74	71	75	84	87	88
1997	87	84	76	70	66	67	66	69	81	90	90	89
1998	91	85	81	66	68	76	75	81	79	82	85	90
1999	86	85	73	70	63	66	64	73	78	85	86	88

В приведенном в таблице 5.10 фрагменте расчета средние месячные температуры наиболее холодных и теплых месяцев и соответствующие им значения средних месячных амплитуд и относительной влажности выделены жирным курсивом.

Заметим, что разности, например, между амплитудой января и амплитудой наиболее холодного месяца могут быть значительными. В предлагаемом фрагменте для Санкт-Петербурга они составляют 1,3 °С (5,0 и 6,3 °С соответственно).

Продолжительность и средняя температура воздуха периода со средней суточной температурой воздуха ниже 0, 8 и 10 °С определяются по датам устойчивого перехода через заданные уровни. Для расчета используется метод восстановления средних суточных значений температуры воздуха по средним месячным, основанный на применении рядов Фурье [37].

$$X(t) = a_0 + 2 \sum_k^5 a_k \cos \frac{\pi k}{6} (t - 6,5) + b_k \sin \frac{\pi k}{6} (t - 6,5) + a_6 \cos(\pi(t - 6,5)), \quad (5.24)$$

здесь $X(t)$ — средняя суточная температура воздуха, t — время в месяцах, отсчитываемое от начала года.

$$a_0 = \frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} f_i, \quad (5.25)$$

$$a_k = \frac{\pi k}{12 \sin(\pi k/12)} \cdot \frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} f_i \cos \left(\frac{\pi k}{6} (i - 7) \right), \quad (k = 1, \dots, 6) \quad (5.26)$$

$$b_k = \frac{\pi k}{12 \sin(\pi k/12)} \cdot \frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} f_i \sin \left(\frac{\pi k}{6} (i - 7) \right), \quad (k = 1, \dots, 5) \quad (5.27)$$

где f_i — средняя месячная температура воздуха.

5.2.2. Наибольшая из средних скоростей ветра по румбам за январь (июль)

Данная характеристика рассчитывается как наибольшая из средних скоростей ветра по румбам за январь (июль), повторяемость которых составляет 16 % и более. Если средняя скорость ветра по румбам повторяемостью 12—15% в январе превышает на 1 м/с наибольшую из средних скоростей ветра по румбам повторяемостью 16 % и более, наибольшая скорость ветра принимается по румбам повторяемостью 12—15 %. Соответственно, в июле выбирается скорость ниже чем на 1 м/с. В приведенной ниже таблице в июле повторяемость ветров северного направления превышает 16 % (скорость ветра 5,9 м/с), но западный ветер с повторяемостью 15 % на 1,6 м/с слабее, поэтому следует выбрать именно эту скорость — 4,3 м/с. При повторяемости штилей в июле, равной или больше 14 %, минимальная скорость ветра принимается равной 0.

Таблица 5.11

месяц	Направление ветра							
	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
Повторяемость направлений ветра и штилей								
январь	8	10	17	18	19	11	13	5
июль	28	10	13	7	8	9	15	11
Средняя месячная скорость ветра (м/с) различных направлений								
январь	6,0	6,4	6,6	7,1	7,3	8,5	7,1	6,8
июль	5,9	5,3	6,6	6,2	6,6	6,2	4,3	4,8

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

5.3.1. Затраты энергии на обогрев и охлаждение помещений (индексы HDD и CDD)

Потребителями тепловой энергии являются системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха, системы горячего

водоснабжения жилых, общественных и административно-бытовых зданий. Методы оценки теплотрат на отопление и кондиционирование в качестве основных метеорологических факторов, влияющих на тепловой режим зданий, учитывают температуру воздуха, скорость ветра и солнечную радиацию. Расчет величины теплотерь с учетом всех факторов достаточно сложен. Однако достаточно хорошие результаты можно получить при использовании только одного параметра — температуры наружного воздуха.

В частности, количественной оценкой затрат энергии на обогрев помещений зимой и кондиционирование летом может служить так называемый индекс потребления топлива, который представляет собой сумму за месяц или за год отрицательных отклонений средней суточной температуры воздуха каждого дня месяца от 18 °С (температура порога комфортности). Если температура ниже этого порога, то следует обогревать помещение (индекс HDD). Если же погода жаркая, то требуется охлаждать помещение. Расходы на охлаждение можно оценить индексом охлаждения (индекс CDD).

Индексы HDD и CDD рассчитываются в предположении, что температура 18 °С является границей между необходимостью обогрева или охлаждения. Потребность в энергии на эти цели приблизительно пропорциональна отклонению температуры от 18 °С.

$$HDD = (18 - t) \cdot n, \quad (5.28)$$

$$CDD = (t - 18) \cdot n. \quad (5.29)$$

Здесь t — средняя температура воздуха за период n (сутки, месяц, отопительный период и т. д.).

Оба индекса служат характеристикой затрат энергии на обогрев и охлаждение помещений и могут вычисляться за любой отрезок времени (месяц, сезон, год). Эти индексы широко используются в России и других странах. Например, в США при выполнении оценок потребности в энергии для регулирования климата помещений.

Указанные индексы можно рассматривать как инструменты управления погодными рисками. Цены фьючерсного контракта, а также исполнения опциона выражаются в терминах индекса HDD или CDD за указанный период.

5.3.2. Расчетные параметры наружного воздуха для заданных характеристик микроклимата помещений

Согласно СП 60.13330.2012 заданные параметры микроклимата в помещениях жилых, общественных, административно-бытовых и производственных зданий следует обеспечивать в пределах расчетных показателей наружного воздуха для соответствующих районов строительства:

- параметров А — для систем вентиляции и воздушного душирования в теплый период года;
- параметров Б — для систем отопления, вентиляции и воздушного душирования в холодный период года, а также для систем кондиционирования в теплый и холодный периоды года.

В качестве показателей наружного воздуха для переходных условий года следует принимать температуру 10 °С и удельную энтальпию 26,5 кДж/кг или показатели наружного воздуха, при которых изменяются режимы работы оборудования, потребляющего теплоту и холод.

Таблица 5.12

Параметр	Холодный период	Теплый период
А	Температура воздуха, °С, обеспеченностью 0,94 (табл. 3 ст. 6 в [30]) и соответствующая ей энтальпия	Температура воздуха, °С, обеспеченностью 0,95 (табл. 4 ст. 3 в [30]) и соответствующая ей энтальпия
Б	Температура наиболее холодной пятидневки (табл. 3 ст. 5 в [30]) и соответствующая ей энтальпия	Температура воздуха, °С, обеспеченностью 0,98 (табл. 4 ст. 5 в [30]) и соответствующая ей энтальпия

В настоящее время нормативные данные о климате, непосредственно используемые разработчиками при проектировании систем кондиционирования и вентиляции СКВ, представлена в [30] (таблица 10 «Климатические параметры для проектирования

отопления, вентиляции и кондиционирования») и в виде карт расчетных параметров А и Б наружного климата для теплого периода года.

Расчет удельной энтальпии при заданной температуре осуществляется по полным, «срочным» рядам наблюдений. Вычисляются значения энтальпии для каждого срока за весь имеющийся ряд наблюдений по формуле:

$$J_i = c_p t_i + (L + c'_p t_i) \cdot d_i, \quad (5.30)$$

где J_i — значение энтальпии в i срок наблюдений, кДж/кг; c_p — удельная теплоемкость при постоянном давлении сухого воздуха (1,06 кДж/кг·К); c'_p — удельная теплоемкость при постоянном давлении водяного пара (1,85 кДж/кг·К); L — удельная теплота парообразования при 0 °С (2507,4 кДж/кг); t_i — температура воздуха по сухому термометру в i срок, °С; d_i — влагосодержание воздуха в i срок, кг/кг.

$$d_i = 622 \cdot \frac{P_n}{(P_a - P_n)}, \quad (5.31)$$

где P_n — парциальное давление водяного пара, Гпа; P_a — атмосферное давление, Гпа.

5.4. Нагрузки и воздействия

5.4.1. Ветровые нагрузки

Нормативное значение основной ветровой нагрузки W следует определять как сумму средней (статической) и пульсационной (динамической) составляющих.

Нормативное значение средней составляющей основной ветровой нагрузки W_m в зависимости от эквивалентной высоты z_e над поверхностью земли находится по формуле:

$$W_m = W_0 \cdot k(z_e) \cdot c, \quad (5.32)$$

где W_0 — нормативное значение ветрового давления (скоростной напор ветра — давление ветра на единицу поверхности); $k(z_e)$ — коэффициент, учитывающий изменение ветрового давления для высоты z_e (определяется по таблице 5.13); c — аэродинамический коэффициент (коэффициент лобового сопротивления сооружения), зависящий от типа сооружения.

Климатическим показателем является скоростной напор ветра W_0 .

Пульсационная 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.

Нормативное значение ветрового давления W_0 принимается в зависимости от ветрового района по таблице из СП 20.13330.2016 [32]. Нормативное значение ветрового давления допускается уточнять в установленном порядке на основе данных местных метеостанций. В этом случае оно находится по формуле:

$$W_0 = 0,43 \cdot v_{50}^2, \quad (5.33)$$

где v_{50}^2 — скорость ветра (м/с) на уровне 10 м над поверхностью земли для местности типа А, определяемая с 10-минутным интервалом осреднения и превышаемая в среднем один раз в 50 лет.

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

В таблице 5.13 наряду с коэффициентом $k(z_e)$ приведен также коэффициент $k_y(z_e) = \sqrt{K}$, который учитывает изменение нормативной скорости ветра по высоте.

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.

Таблица 5.13

Коэффициенты $k(z_e)$ и $k_y(z_e)$, 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
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

Из формулы расчета нормативного ветрового давления следует, что скорость ветра должна с высокой точностью. В результате занижения расчетных ветровых нагрузок по сравнению с действительными возникают аварии. При завышении ветровых нагрузок обеспечивается большой запас прочности проектируемого сооружения, но стоимость сооружения может увеличиться настолько, что превзойдет возможные убытки от аварий.

Интегральные повторяемости рассчитываются либо по всей совокупности наблюдений за скоростью ветра, либо по ряду выборок, состоящих из годовых или месячных максимумов скорости ветра.

Если ряды наблюдений достаточно длинные (≥ 40 лет), то исходными рядами для расчетов нормативных скоростей ветра могут

служить выборки их годовых или месячных максимумов. Для выравнивания эмпирических рядов годовых или месячных максимумов скорости ветра используется первое распределение Гумбеля (3.26) и третье предельное распределение Вейбула, для эмпирических рядов всей совокупности наблюдений — третье предельное распределение Вейбула (3.31). Оба этих распределения входят в обобщенное распределение экстремальных величин Фишера—Типпета (3.33).

К настоящему времени накопились достаточно длинные ряды, поэтому целесообразнее при расчетах использовать годовые максимумы скорости ветра, что облегчает расчеты.

Если расчеты проводятся по всей совокупности срочных наблюдений, то вероятность редких событий P_T (%) определяется по формуле:

$$P_T = \frac{1}{T \cdot n \cdot 365,25} \cdot 100, \quad (5.34)$$

где n — количество сроков наблюдений; T — период повторения.

Для расчета величин нагрузок повторяемостью один раз в 5—25 лет выбор функции распределения не имеет существенного значения.

5.4.2. Гололедные нагрузки

Гололедные отложения на различных предметах образуются:

— при осаждении и замерзании переохлажденных капель воды, т. е. при наличии тумана, мороси, дождя, когда температура воздуха ниже 0°C ;

— при замерзании оседающего мокрого снега;

— при сублимации водяного пара.

В результате первого процесса возникает гололед или зернистая изморозь. Эти гололедные отложения и замерзший снег создают гололедные нагрузки.

Климатическим показателем гололедной нагрузки является нагрузка на провод диаметром 10 мм и высотой подвеса 10 м. Исходными данными для определения гололедных нагрузок являются вид, размеры и масса отложений, измеряемые на гололедном станке,

направление и скорость ветра в начале обледенения, максимальная скорость и направление ветра в течение всего случая обледенения.

Наблюдения за отложением проводятся на гололедном станке с диаметром провода 5 мм и высотой подвеса 2 м.

Порядок расчета гололедной нагрузки следующий:

1) За каждый зимний сезон из всех случаев зафиксированных гололедно-изморозевых отложений 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:

$$P = \gamma \cdot 78(ac - d^2) \quad \text{г/см}, \quad (5.35)$$

где a и c — большой и малый диаметры отложения соответственно, включая диаметр провода ($d = 0,5$ см), γ — плотность отложения, г/см³.

Если в данных наблюдений за гололедно-изморозевыми отложениями имеются сведения только о большом диаметре a , то малый диаметр c определяется как:

- $c = 0,6 \cdot a$ при гололеде;
- $c = 0,75 \cdot a$ при остальных видах отложений.

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:

$$\gamma = P/78(ac - d^2). \quad (5.36)$$

Если такие данные невозможно получить, то следует воспользоваться осредненными для всей территории России данными, представленными в таблице 5.14.

Таблица 5.14

Средние плотности отложений (г/см ³)				
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} (см. таблицу 5.15).

Таблица 5.15

Масса отложения P_c (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), во второй строке — значения коэффициента K_{pdh} .

3) Вводится поправка на направление ветра W (таблица 5.16).

Таблица 5.16

Направление ветра в начале обледенения	СВ, ЮВ, СЗ, ЮЗ	ВСВ, ССВ, ВЮВ, ЮЮВ, ЮЮЗ, ЗЮЗ, ЗСЗ, ССЗ
Поправка (W)	1,82	1,33

Максимальная масса отложения на проводе диаметром 10 мм и высотой подвеса 10 м (P_{max}) за каждый зимний сезон равна:

$$P_{max} = P_c \cdot K_{pdh} \cdot W. \quad (5.37)$$

4) Пересчитанные веса располагаются в возрастающем порядке.

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:

$$b = \left(\sqrt{\frac{P}{283} + 0,25} - 0,5 \right) \cdot 10 \text{ (мм)}. \quad (5.38)$$

5) Для аппроксимации ранжированных рядов используется распределение Гумбеля:

$$P(x) = \exp[-e^{-y}], \quad (5.39)$$

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

Таблица 5.17

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

Расчет нагрузок производится по данным годовых максимумов. Параметрами распределения являются среднее значение эмпирического ряда (\bar{X}) и его среднее квадратическое отклонение (σ).

Расчет нагрузки, возможной один раз в заданное число лет (T), аналитическим методом производится по формуле:

$$X_T = \sigma \frac{(y - \bar{y}(n))}{\sigma_y(n)} + \bar{X}, \quad (5.40)$$

где $\sigma_y(n)$ и $\bar{y}(n)$ — параметры, которые зависят от длины исходных рядов (n) и определяются по таблице 5.17.

$$y = -Ln \left[-Ln \left(1 - \frac{1}{NT} \right) \right]. \quad (5.41)$$

Здесь T — период повторения нагрузки. Для годовых максимумов $N = 1$.

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

$$X_T = \bar{X} + \frac{\sigma}{\sigma_y(n)} \left[-Ln \left(-Ln \left(1 - \frac{1}{NT} \right) \right) - \bar{y}(n) \right]. \quad (5.42)$$

Значения коэффициентов

$$K = \frac{y - \bar{y}(n)}{\sigma_y(n)} \quad (5.43)$$

(по данным годовых максимумов) для различных периодов повторения (T) величины нагрузки в зависимости от длины ряда (N) представлены в таблице 5.18.

Таким образом, расчет нагрузки, возможной один раз в T лет, может быть произведен по упрощенной по формуле:

$$X_T = \bar{X} + \sigma \cdot K. \quad (5.44)$$

Таблица 5.18

Значения коэффициента K

Длина ряда (N), лет	Период повторения (T), лет				
	5	10	20	50	100
1	2	3	4	5	6
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

Продолжение таблицы 5.18

1	2	3	4	5	6
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	3,50
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

5.4.3. Ветровые нагрузки при гололеде

Ветровая нагрузка при гололеде возникает в результате ветрового давления на обледенелый провод [34]. Она зависит от скорости ветра при гололеде и размеров отложения. Расчетная формула для определения ветровой нагрузки на погонный метр обледеневшего провода имеет вид:

$$Q = C_x q S_n, \quad (5.45)$$

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, равная произведению среднего геометрического значения большого и малого диаметров отложения на длину провода:

$$S_n = \sqrt{acl}, \quad (5.46)$$

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 величину отложений на проводе воздушных линий. Пересчет осуществляется с помощью коэффициентов K_{Ddh} , которые представлены в таблице 5.19.

Таблица 5.19

Значения коэффициентов K_{Ddh}

$ac, \text{мм}^2$	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 скорости ветра при достижении максимума отложения и размерам отложения (диаметры a и c) по таблице 5.21 определяется значение коэффициента K_{Ddh} . Произведение ac умножается на коэффициент K_{Ddh} .

3) По формуле (5.45) рассчитывается величина ветровой нагрузки Q_{pm} при достижении максимума отложения (P_{max}).

4) Для определения максимальной ветровой нагрузки (Q_m), возможной не при годовом максимуме отложения, выбирается период отложения, когда наблюдалась максимальная скорость ветра.

5) Аналогично определению Q_{pm} рассчитывается Q_m .

6) 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}).

7) Ряд годовых (сезонных) максимумов ветровых нагрузок Q_{max} ранжируется в возрастающем порядке.

8) Для аппроксимации ранжированных рядов используется распределение Гумбеля.

5.4.4. Гололедно-ветровые (результатирующие) нагрузки

Чтобы оценить суммарную (гололедную и ветровую) нагрузку на провода воздушных линий (ВЛ) 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.

$$R = \sqrt{(P + p)^2 + Q^2}, \quad (5.47)$$

где P — гололедная нагрузка на провод ВЛ; p — вес 1 метра провода (200 г); Q — ветровая нагрузка.

Порядок расчета результирующих гололедно-ветровых нагрузок следующий:

1) По формуле (5.47) рассчитывается величина гололедно-ветровой нагрузки R_{pm} при достижении максимума отложения (P_{max}) и соответствующей ей ветровой нагрузки (Q_{pm}).

2) По формуле (5.47) также рассчитывается величина гололедно-ветровой нагрузки R_{Qm} при максимальной ветровой нагрузке (Q_m) и соответствующей ей гололедной нагрузке (P).

3) Из полученных значений R_{pm} и R_{Qm} выбирается наибольшее за каждый сезон (R_{max}).

4) Ряд годовых (сезонных) максимумов ветровых нагрузок R_{max} ранжируется в возрастающем порядке.

5) Для аппроксимации ранжированных рядов используется распределение Гумбеля.

5.4.5. Снеговые нагрузки

Снеговая нагрузка, возникающая вследствие давления снежного покрова на покрытие сооружений, учитывается при проектировании различных типов покрытий зданий, теплиц, наземных трубопроводов. Она определяется массой снежного покрова на единицу площади покрытия.

Величина снеговой нагрузки на различные покрытия вычисляется по формуле:

$$S_0 = c_e \cdot c_t \cdot \mu \cdot S_g, \quad (5.48)$$

где c_e — коэффициент, учитывающий снос снега с покрытий зданий под действием ветра или иных факторов; c_t — термический коэффициент; μ — коэффициент перехода от веса снежного покрова земли к снеговой нагрузке на покрытие, принимаемый в соответствии с [32]; S_g — нормативное значение веса снежного покрова на 1 м² горизонтальной поверхности земли, принимаемое, согласно [32], в зависимости от снегового района на территории РФ, для пунктов, находящихся на высотах менее 500 м.

Климатическим параметром в формуле (5.48) является запас воды в снежном покрове S_g . Этот запас, выраженный в миллиметрах водяного столба, эквивалентен массе снежного покрова, выраженной в Па.

Исходными данными для расчета вероятностных значений снеговой нагрузки являются сезонные максимумы (за каждый зимний сезон) запаса воды в снеге, определяемые на основе данных снегомерных съемок о запасах воды на защищенных от выдувания маршрутах (лес, лесные поляны).

Снегомерные съемки дают более полное представление о залегании снега на окружающей местности, чем данные по постоянной рейке на метеоплощадке. Они производятся на участке подстилающей поверхности, наиболее характерном для данного района (поле, лес, поляна в лесу), один раз в декаду в течение всей зимы или по нескольким маршрутам, если для местности, где располагается метеостанция, характерны разные типы растительности. При снегомерной съемке определяется высота снежного покрова и его

плотность и другие характеристики, по ним рассчитывается запас воды (в мм). Если на метеорологической станции снегосъемки проводятся только в поле (полевой маршрут), в значения запасов воды в снежном покрове вводятся поправки на выдувание, которые определяются в зависимости от зимних условий района. Поправки на выдувание приведены в таблице 5.20.

Таблица 5.20

Значения поправок на выдувание снежного покрова

Средняя температура января, °С	Средняя скорость ветра за три зимних месяца, 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

Для определения величины снеговой нагрузки различной обеспеченности (периода повторения) используется закон распределения Гумбеля.

Для высот менее 500 м над уровнем моря нормативное значение веса снегового покрова определяется по таблице из [32] или уточняется на основе данных ближайшей метеорологической станции с использованием формулы:

$$S_g = 0,7 \cdot S_{g50} , \tag{5.49}$$

где S_{g50} — ежегодный максимум веса снегового покрова, превышаемый один раз в 50 лет, определенный на основе данных маршрутных снегомерных съемок о запасах воды. Период наблюдений, который необходим для определения расчетного ежегодного максимума повторяемостью 1 раз в 50 лет, должен быть не менее 30 лет.

Для пунктов, расположенных в горной местности и т. п., нормативное значение веса снегового покрова необходимо корректировать с учетом высотного коэффициента.

Высотный коэффициент k_h приведен в примечании к карте 1 Приложения Е [32]. Его также можно рассчитать по следующей формуле:

$$k_h = ((S_{g50}/\gamma_f) - Sg)/(h - 500), \quad (5.50)$$

где S_{g50} (кПа) — превышаемый в среднем 1 раз в 50 лет ежегодный максимум веса снегового покрова (ВСП), определяемый по данным многолетних маршрутных снегоъемок о запасах воды в снеговом покрове для репрезентативных метеостанций, расположенных в районе строительства, за период не менее 30 лет; γ_f — коэффициент надежности по нагрузке, равный 1,4 (согласно п. 10.12 в [32]); Sg (кПа) — нормативное значение веса снегового покрова, принимаемое по таблице 10.1 СП [32] для данной территории; h (м) — высота расположения пункта метеонаблюдений над уровнем моря.

Пункты метеонаблюдений, на которых проводятся снегомерные съемки, могут располагаться в прилегающем горном районе на любой высоте над уровнем моря. Если в районе строительства имеется несколько метеостанций, то в расчетах принимаются наибольшие значения высотного коэффициента.

Таким образом, нормативное значение веса снегового покрова для площадки строительства, расположенной в заштрихованных районах карты 1 СП (горные и малоизученные) на высотах свыше 500 м, определяется по формуле, приведенной в примечании к карте 1 Приложения Е [32]:

$$S_g(h) = S_g + (k_h \cdot (h - 500)), \quad (5.51)$$

где h — высота места расположения проектируемого объекта.

5.5. Водоотведение и водоочистка

5.5.1. Максимальный слой осадков от мало интенсивных часто повторяющихся дождей с периодом однократного превышения расчетной интенсивности

Важной характеристикой осадков при проектировании водоочистных сооружений является максимальный слой осадков от

малоинтенсивных часто повторяющихся дождей с периодом однократного превышения расчетной интенсивности (h_a) $P < 1$ года (0,05—0,1 года). Такие дожди дают около 70 % общего слоя осадков. Именно такой слой осадков подлежит очистке, если речь идет о стоке с селитебных территорий и мало загрязняющих стоков предприятий, т. е. так называемых предприятий 1 группы.

Для расчета этой характеристики на первом этапе определяется вероятность дождя с заданной суммой осадков. В качестве примера расчета ниже приведены данные для Санкт-Петербурга, где среднегодовое число дождей с суммой осадков за дождь более 0,1 мм равно 101,6.

Вероятность суточного слоя жидких осадков B (%) связана с периодом однократного превышения расчетной интенсивности дождя, P (годы), зависимостью:

$$B = (1 - 1/(P \cdot n_{i=1})) \cdot 100, \quad (5.52)$$

где n_i — число дождей с заданной суммой осадков.

Согласно (5.52) для $P_i = 0,05$ года вероятность суточного слоя жидких осадков B_i составит:

$$B = (1 - 1/(0,05 \cdot 101,6)) \cdot 100 = 80,3 \%$$

Аналогично для $P_2 = 0,1$ года $B_2 = 90,2$ %. Для $P_3 = 0,075$ года $B_3 = 86,9$ %.

Для определения суточного слоя осадков указанной вероятности следует составить таблицу, в которой приводится последовательность расчетов различных слоев осадков за теплый период года (апрель—октябрь) для построения графической зависимости функции вероятности величины суточного слоя дождя B .

Величина B означает вероятность того, что суточный слой осадков будет меньше заданного расчетного значения h_a .

По данным таблицы 5.21 (столбцы 5 и 6) строится график функции вероятности величины суточного слоя дождя B (см. рис. 5.3).

С помощью графика была определена величина суточных слоев жидких осадков h_a для Санкт-Петербурга с периодом однократного превышения $P_1 = 0,05$ года ($B_1 = 80,3$ %), равная $H_1 = 4,3$ мм;

величина суточного слоя жидких осадков с периодом однократного превышения $P_2 = 0,1$ года ($B_2 = 90,2$ %), равная $H_2 = 8,3$ мм; величина суточного слоя жидких осадков с периодом однократного превышения $P_3 = 0,075$ года ($B_3 = 86,9$ %), равная $H_3 = 6,4$ мм.

Таблица 5.21

Последовательность расчетов различных слоев осадков для определения вероятности непревышения суточного слоя осадков заданной величины

H_{n_i} , мм	n_i	N_i	$P = (N_i / i) \cdot 100$	$H_{ср_i}$	B
1	2	3	4	5	6
$\geq 0,1$	101,6	13,9	13,7	0,3	13,68
$\geq 0,5$	87,7	15,4	15,1	0,75	28,8
≥ 1	72,3	44,2	43,5	3,0	72,33
≥ 5	28,1	17,0	16,7	7,5	89,04
≥ 10	11,1	8,9	8,8	15,0	97,8
≥ 20	2,2	1,5	1,5	25,0	99,27
≥ 30	0,7				

Примечание:

H_{n_i} — суточный слой осадков, мм;

n_i — число дней с суточным слоем осадков $H > H_{n_i}$;

$N_i = n_i - n_{i-1}$ — число дней с суточным слоем осадков $H_{n_i} < H \leq H_{n_{i+1}}$;

$P = (N_i / i) \cdot 100$ — повторяемость (%) числа дней с суточным слоем осадков $H_{n_i} \leq H \leq H_{n_{i+1}}$;

$H_{ср_i} = (H_i + H_{i+1}) / 2$ — средний суточный слой осадков, мм;

B — вероятность непревышения суточного слоя осадков расчетной величины $h_a < H_{ср_i}$, %

При выполнении запросов потребителей о характеристиках осадков для проектирования водоочистных сооружений необходимо выяснить, к какой группе, первой или второй, относится данное предприятие. Согласно [33, п. 7.6.4] «Ко второй группе относятся предприятия, на которых по условиям производства не представляется возможным в полной мере исключить поступление в поверхностный сток специфических веществ с токсичными свойствами или значительных количеств органических веществ, обуславливающих

высокие значения показателей ХПК и БПК стока». К таким предприятиям относятся, например АЗС.

В соответствии с [14, п. 5.2.5] «для промышленных предприятий второй группы величина h_a принимается равной суточному слою атмосферных осадков от дождей с периодом однократного превышения расчетной интенсивности P , принятому при гидравлическом расчете дождевой сети конкретного объекта, **но не менее $P = 1$ год**».

Необходимость использовать в данном случае величину суточного слоя осадков за дождь с периодом повторения 1 год, а не максимальное наблюдаемое значение суточного максимума осадков подтверждается и в Приложении 6 [14].

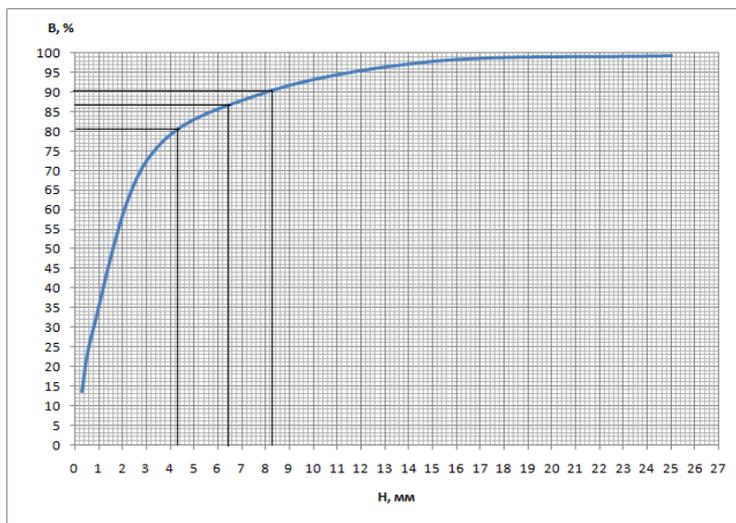


Рисунок 5.3. Функция вероятности суточного слоя дождя.

5.5.2. Суточный максимум осадков

Исходными данными для расчета суточного максимума осадков различной обеспеченности служит ряд годовых суточных максимумов осадков. Надо отметить, что в справочниках по климату приведены

значения суточных максимумов, рассчитанные за метеорологические сутки. Для решения прикладных задач необходимо опираться на величину суточных максимумов, определенную за 24 часа. Максимумы за 24 часа превышают значения за метеорологические сутки в среднем на 10—30 %. Для получения более надежных результатов необходимо сформировать ряды годовых суточных максимумов, полученных за 24 часа, скользящим суммированием данных плювиографа или (при его отсутствии) осадкомера.

Для аппроксимации статистического распределения полученного ряда суточных максимумов на практике наиболее часто используются логарифмически-нормальное распределение (нормальное распределение логарифмов переменной) и трехпараметрическое гамма-распределение. Для выбора того или иного типа распределения необходимо рассчитать коэффициенты асимметрии A_x и вариации C_v рассматриваемого ряда. Эти характеристики можно легко получить, пользуясь программой Excel.

При $A_x \geq 3C_v$ для аналитического выражения кривых обеспеченности суточных максимумов осадков обычно применяется логарифмически-нормальное распределение. При $A_x = 2C_v$ — трехпараметрическое биномиальное гамма-распределение Пирсона 3 типа. При $A_x < 2C_v$ — трехпараметрическое гамма-распределение Крицкого—Менкеля.

Получение требуемых расчетных характеристик и выбор распределения можно осуществлять с помощью пакета программ STATISTICA или программного комплекса HydroStatCalc-2008, подготовленного в ФГБУ «ГГИ» и обычно имеющегося в отделах гидрологии УГМС.

При отсутствии возможности привлекать компьютерные программы следует воспользоваться монографией [1], имеющейся в Интернете в свободном доступе. Эта монография содержит приложения, необходимые для расчета по всем указанным распределениям.

При расчете суточного максимума осадков редкой обеспеченности для особо опасных объектов, прежде всего площадок АЭС и других ядерно- и радиационно-опасных объектов, МАГАТЭ рекомендует

использовать обобщенное распределение экстремальных величин. Для суточных максимумов осадков за 24 часа и за более короткие промежутки времени наиболее обоснованным является использование второго типа этого распределения — распределения Фреше. Это распределение дает повышенный «запас прочности», что в условиях меняющегося климата является важной превентивной адаптационной мерой.

5.5.3. Твердые, жидкие, смешанные осадки

Данные о долях жидких, твердых и смешанных осадков в многолетней годовой и месячных суммах для ряда метеостанций опубликованы в [16]. Однако часто требуемая информация для заданного пункта в этих изданиях отсутствует. Кроме того, учитывая изменение температуры воздуха на территории РФ (от которой в основном и зависит соотношение сумм разных видов осадков) в последние десятилетия, возникает необходимость уточнить данные о долях жидких, твердых и смешанных осадков в годовой и месячных суммах.

Для решения этой задачи целесообразно использовать разработанную в ГГО методику, которая позволяет приближенно определить соотношение сумм разных видов осадков в зависимости от средней месячной температуры и континентальности климата [5]. На первой стадии работы необходимо рассчитать так называемый параметр континентальности K данного пункта, определяемый по формуле:

$$K = (t_{max} - t_{min}) / (t_{min} + 50) \cdot t_{год} \cdot K, \quad (5.53)$$

где t_{max} и t_{min} — средняя многолетняя температура самого теплого и самого холодного месяца; $t_{год}$ — средняя многолетняя годовая температура воздуха.

Затем на основании информации о средней месячной температуре и значении K можно определить процентное соотношение жидких и твердых осадков с использованием соответствующих номограмм. На рисунках 5.4 и 5.5 представлены номограммы для определения долей твердых и жидких осадков в месячной норме по данным о средней

температуре воздуха и параметру K (значения K подписаны рядом с кривыми). Доля смешанных осадков рассчитывается как дополнение суммы жидких и твердых осадков до 100 %.

5.5.4. Профиль дождя

Профиль дождя — это комплексная характеристика, отражающая зависимость между интенсивностью дождя, его продолжительностью и количеством осадков, выпавших в течение заданного промежутка времени. Данный показатель используется при проектировании систем водоотведения во многих зарубежных странах и может быть затребован специалистами иностранных строительных компаний, возводящих различные объекты на территории РФ.

Для расчета профиля дождя на первой стадии работы проводится выборка годовых максимумов интенсивности осадков по данным pluviографа о наиболее сильных (> 10 мм) дождях за интервалы времени 10, 15, 20, 30, 60, 120, 240, 360, 480, 960, 1440 (сутки), 2160, 2880, 4320, 5760, 7200, 8640, 10080 (7 суток) минут в заданном пункте за период не менее 30 лет. Данные временные интервалы связаны с различным временем дотекания дождевой воды до коллектора с различных частей дренируемой территории.

За каждый год для каждого интервала продолжительности выбирается один максимум интенсивности из всех дождей данного года. Таким образом, формируются ряды годовых максимумов интенсивности для каждого временного интервала.

Следующим этапом работ является выбор оптимального статистического распределения, позволяющего наиболее точно определить значения интенсивности осадков за указанные временные интервалы, возможные 1 раз в 2, 5, 20, 30, 100, 200 лет. Проведенные исследования показали, что эту задачу можно решить с помощью пакета программ STATISTICA. Наиболее подходящими распределениями чаще всего оказываются логнормальное распределение, трехпараметрическое гамма-распределение, распределение Пирсона III типа, а также распределения экстремальных величин (Гумбеля или Фреше).

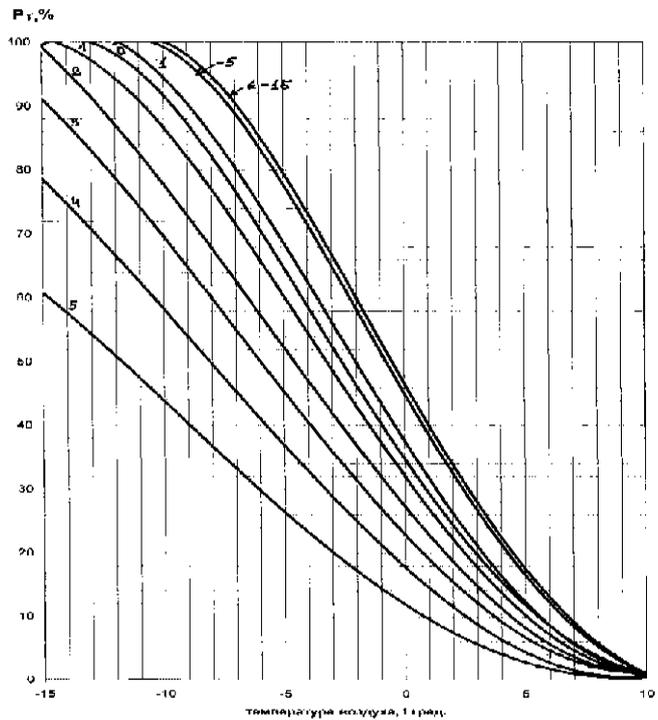


Рисунок 5.4. Месячная доля твердых осадков P_T , %.

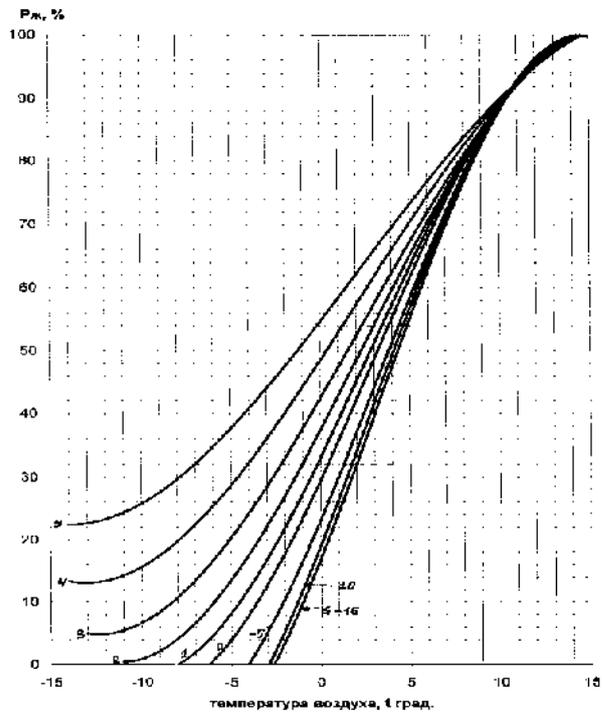


Рисунок 5.5. Месячная доля жидких осадков $P_{ж}$, %.

На основании полученных рядов годовых максимумов интенсивности осадков в различные временные интервалы с использованием выбранного статистического распределения рассчитываются значения интенсивности осадков с обеспеченностями 50, 80, 95, 96,7, 99 и 99,5 %. Выбор соответствующей обеспеченности зависит от характера объекта, условий расположения коллектора, а также последствий, которые могут быть вызваны выпадением дождей, превышающих расчетные. В качестве примера в таблице 5.22 представлены интенсивности дождей и количества осадков за указанные интервалы времени в Санкт-Петербурге, полученные по указанной методике. Верхние части таблицы содержат значения интенсивности, а нижние — суммы осадков, полученные умножением соответствующих значений интенсивности на длительность интервала времени. Рассчитанные таким образом суммы осадков служат основой для построения теоретического профиля дождя, характерного для данного района. Теоретический профиль дождя отражает не наблюдаемое, а расчетное распределение интенсивности осадков внутри рассматриваемых интервалов времени. В соответствии с [9] расчеты ведутся по следующим формулам:

$$Y = (1 - a^z)/(1 - a), \quad (5.54)$$

$$Z = x^b, \quad (5.55)$$

где Y — доля суммы осадков за данный интервал времени (например, за 15 мин); x — доля данного интервала времени (например, 1 мин), т. е. 1/15 или 0,066; a и b — эмпирические коэффициенты, отражающие степень урбанизированности территории.

Городские территории отличаются от сельской местности степенью покрытия поверхности земли асфальтом, изменяющим условия формирования стока дождевых вод с дренируемой территории. В среднем для городских территорий $a = 0,1$, $b = 0,815$, для сельской местности $a = 0,06$, $b = 1,026$, т. е. различие этих коэффициентов при расчете теоретического «профиля дождя» для городской и сельской территории обусловлено различием условий для формирования дождевого стока.

Таблица 5.22

**Интенсивность и количество осадков за различные промежутки времени повторяемостью
1 раз в 2, 5, 20, 30, 100 и 200 лет. Санкт-Петербург**

Период повторения, годы	Обеспеченность Р, %	Средняя интенсивность осадков, мм/мин, в указанные интервалы времени, мин																	
		10	15	20	30	60	120	240	360	480	960	1440	2160	2880	4320	5760	7200	8640	10080
2 года	0,50	0,65	0,55	0,44	0,34	0,24	0,15	0,09	0,07	0,05	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
5 лет	0,80	0,93	0,78	0,63	0,49	0,36	0,22	0,13	0,09	0,07	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01
20 лет	0,95	1,30	1,08	0,90	0,69	0,51	0,31	0,17	0,13	0,10	0,06	0,05	0,04	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02
30 лет	0,97	1,41	1,17	0,97	0,74	0,56	0,34	0,18	0,14	0,11	0,07	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02
100 лет	0,99	1,73	1,43	1,21	0,92	0,70	0,42	0,22	0,17	0,13	0,08	0,06	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03
200 лет	1,00	1,93	1,58	1,34	1,02	0,79	0,47	0,24	0,19	0,15	0,09	0,07	0,06	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04
		Количество осадков, мм, выпавшее за указанные интервалы времени, мин																	
		10	15	20	30	60	120	240	360	480	960	1440	2160	2880	4320	5760	7200	8640	10080
2 года	0,50	6,52	8,24	8,78	10,28	14,59	17,91	22,32	23,92	22,59	29,04	33,00	38,73	42,06	47,77	56,78	60,50	67,74	62,66
5 лет	0,80	9,29	11,64	12,66	14,67	21,41	26,06	30,40	33,65	33,00	41,67	47,63	57,08	64,20	75,62	99,45	113,75	140,52	114,97
20 лет	0,95	13,02	16,19	17,94	20,60	30,89	37,27	40,83	46,62	47,37	58,81	67,59	82,65	96,12	117,22	144,00	165,60	190,08	205,17
30 лет	0,97	14,10	17,50	19,47	22,31	33,67	40,54	43,77	50,34	51,57	63,78	73,40	90,17	105,69	129,97	161,28	180,00	207,36	235,13
100 лет	0,99	17,34	21,42	24,12	27,47	42,16	50,48	52,45	61,47	64,37	78,78	90,97	113,14	135,36	170,04	207,36	252,00	293,76	335,37
200 лет	1,00	19,26	23,73	26,88	30,52	47,24	56,42	57,48	68,01	72,02	87,67	101,41	126,92	153,44	194,85	247,68	302,40	354,24	401,46

Городские территории отличаются от сельской местности степенью покрытия поверхности земли асфальтом, изменяющим условия формирования стока дождевых вод с дренируемой территории. В среднем для городских территорий $a = 0,1$, $b = 0,815$, для сельской местности $a = 0,06$, $b = 1,026$, т. е. различие этих коэффициентов при расчете теоретического «профиля дождя» для городской и сельской территории обусловлено различием условий для формирования дождевого стока. Таким образом, «профиль дождя» рассчитывается с учетом его дальнейшего использования, т. е. включения полученных характеристик в расчеты дождевых стоков для городской или сельской территории.

Использование формулы (5.54) позволяет распределить суммы осадков из таблицы 5.22 в соответствии с выбранным временным разрешением (для 15-минутного интервала это 1 минута, для более длительных интервалов — это 10 минут, 1 час, 4 часа и т. д. в зависимости от требований заказчика). В результате создается теоретическое распределение интенсивности осадков внутри каждого указанного интервала времени.

Пример расчета значений x и y для 15-минутного интервала в интегральной (Y) и дифференциальной (D) форме представлен в таблице 5.23 и на рисунке 5.6.

Значение x для первой минуты составляет $1/15$, для второй минуты $2/15$ и т. д. Значения Z и Y рассчитываются по формулам (5.55) и (5.54).

Как видно из таблицы 5.23 и рисунка 5.6, изменения D симметричны относительно максимального значения, отмечаемого на 8-й минуте (D_8), а максимальное значение D равно величине Y на первой минуте (Y_1). Расчет остальных значений D происходит следующим образом:

$$\begin{aligned} D_7 = D_9 &= (Y_3 - Y_1)/2; D_6 = D_{10} = (Y_5 - Y_3)/2... \\ D_2 = D_{14} &= (Y_{13} - Y_{11})/2; D_1 = D_{15} = (Y_{15} - Y_{13})/2. \end{aligned} \quad (5.56)$$

На основе полученных долей (D) суммы осадков из таблицы 5.22 заданные интервалы времени разбиваются на части. Результаты заносятся в таблицу (таблица 5.24), на основе которой строится

теоретический «профиль дождя» для каждого заданного интервала времени.

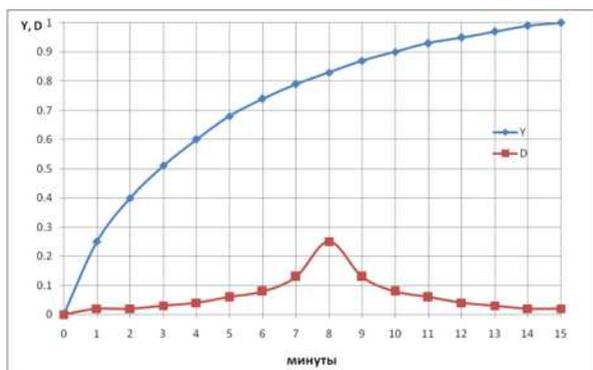


Рисунок 5.6. Распределение долей суммы осадков за 15-минутный интервал в интегральной (Y) и дифференциальной (D) форме.

Аналогичным образом строятся профили дождя для всех 18-ти временных интервалов. В качестве примера на рисунке 5.7 представлены теоретические профили дождя для 10- и 60-минутного интервалов в Санкт-Петербурге с различным периодом повторения [8].

Основная особенность теоретического профиля дождя — это его симметричность, которая, очевидно, не наблюдается в реальности. График показывает теоретическое распределение интенсивности внутри данного временного интервала и расчетные максимально возможные значения интенсивности заданной обеспеченности.

Информация об интенсивности осадков, полученная по представленной методике в виде теоретического «профиля дождя», входит в расчеты диаметров труб дождевой канализации и учитывается при общем планировании размеров системы водоотведения, так как включает данные о количестве воды, поступающей в течение длительного времени (до 7 суток) с наиболее отдаленных участков дренируемой территории.

Таблица 5.23

**Распределение долей суммы осадков за 15-минутный интервал
в соответствии с долями от длительности интервала**

Характеристика	минуты														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
<i>x</i>	0,07	0,13	0,20	0,27	0,33	0,40	0,47	0,53	0,60	0,67	0,73	0,80	0,87	0,93	1,00
<i>z</i>	0,11	0,19	0,27	0,34	0,41	0,47	0,54	0,60	0,66	0,72	0,78	0,83	0,89	0,95	1,00
<i>Y</i>	0,25	0,40	0,51	0,60	0,68	0,74	0,79	0,83	0,87	0,90	0,93	0,95	0,97	0,99	1,00
<i>D</i>	0,02	0,02	0,03	0,04	0,06	0,08	0,13	0,25	0,13	0,08	0,06	0,04	0,03	0,02	0,02

Таблица 5.24

Расчетное количество осадков, выпадающее в каждую минуту 15-минутного интервала, мм

Период повторения	минуты															Сумма осадков за 15 мин
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
2 года	0,13	0,18	0,24	0,33	0,47	0,69	1,11	2,08	1,11	0,69	0,47	0,33	0,24	0,18	0,13	8,24
5 лет	0,24	0,32	0,42	0,58	0,82	1,21	1,95	3,67	1,95	1,21	0,82	0,58	0,42	0,32	0,24	11,64
20 лет	0,37	0,49	0,66	0,91	1,28	1,89	3,05	5,73	3,05	1,89	1,28	0,91	0,66	0,49	0,37	16,19
30 лет	0,40	0,53	0,72	0,98	1,39	2,04	3,30	6,19	3,30	2,04	1,39	0,98	0,72	0,53	0,40	17,50
100 лет	0,52	0,69	0,93	1,27	1,80	2,64	4,27	8,01	4,27	2,64	1,80	1,27	0,93	0,69	0,52	21,42
200 лет	0,55	0,74	0,99	1,36	1,92	2,82	4,57	8,57	4,57	2,82	1,92	1,36	0,99	0,74	0,55	23,73

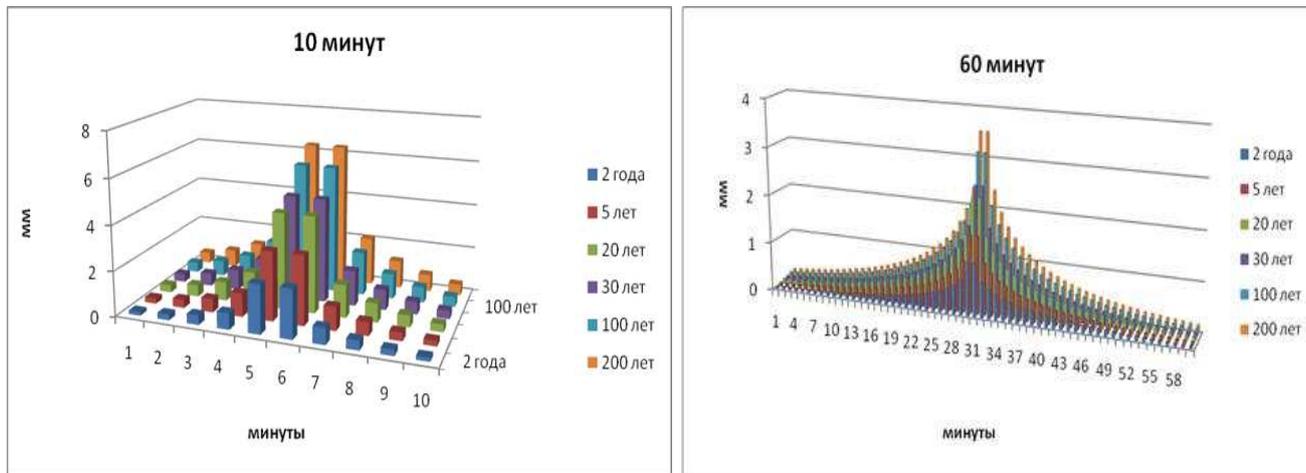


Рисунок 5.7. Теоретический «профиль дождя» в течение 10-минутного и 60-минутного интервалов с различным периодом повторения. Санкт-Петербург.

5.6. Долговечность зданий

5.6.1. Расчет долговечности ограждающих конструкций

Долговечность наружных ограждающих конструкций определяется сроком их службы с сохранением в требуемых пределах эксплуатационных качеств в данных климатических условиях при заданном режиме эксплуатации зданий. Необходимую долговечность наружных стен следует обеспечивать применением материалов, имеющих надлежащие прочность, морозостойкость и влагостойкость [40].

Для оценки неблагоприятного термического воздействия на стены зданий используется показатель морозостойкости материалов. Морозостойкостью строительных материалов называют способность материала, насыщенного водой, выдерживать многочисленное попеременное замораживание, а также оттаивание без значительного уменьшения прочности и без визуальных обнаруживаемых признаков разрушения. Изменение отрицательной температуры наружного воздуха приводит к смещению положения «нулевой температурной точки» в толще стены. «Нулевая температурная точка» — отрицательная температура начала замерзания в материале жидкой влаги, которая зависит от вида строительного материала.

Долговечность (θ лет) наружной ограждающей конструкции или ее наружного защищенного слоя определяется по формуле:

$$\theta = \frac{N(w_n - w_p)}{\left[(w_3^3 - w_p) \sum_i n_i^3 \xi_i^3(t_i) + (w_3^n - w_p) \sum_i n_i^n \xi_i^n(t_i) \right]}, \quad (5.57)$$

где N — выдерживаемое материалом ограждения или соответственно его наружным защищенным слоем число циклов попеременного замораживания при стандартных испытаниях на морозостойкость, численно равно цифровому индексу устанавливаемой марки по морозостойкости (например, 35 циклов при F35);

w_H — массовое отношение влаги в материале, соответствующее его полному водонасыщению без вакуумирования;

w_p — среднее равновесное массовое отношение влаги в материале, ниже которого при температуре $-20\text{ }^\circ\text{C}$ 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 (3) и летне-осеннем (Л) периодах года соответственно при расчетах на долговечность;

$$w_3^3 = w_3^Л + \Delta w_{cp}; w_3^Л = \frac{\gamma_0^{min}}{\gamma_0} w, \quad (5.58)$$

где γ_0^{min} и γ_0 — соответственно минимальная и расчетная плотности материала ограждения в сухом состоянии;

w — соответствующее расчетное массовое отношение влаги в материале такое же, как принимаемое, исходя из условий эксплуатации здания;

Δw_{cp} — его предельно допустимое приращение;

$\xi_i^3(t_i), \xi_i^Л(t_i)$ — переменные коэффициенты, соответствующие данному зимне-весеннему или летне-осеннему периоду года и зависящие от достигаемой материалом отрицательной температуры t_i в каждом отдельном случае i ;

$n_i^3, n_i^Л$ — соответственно число таких случаев i -го достижения температуры t_i в году на этих периодах.

Все технические параметры материалов определяются по [27 Приложение 3]. Для установления числа случаев i и соответствующих им температур t_i , по которым находят коэффициенты $\xi(t_i)$, необходимо предварительное определение полных нестационарных температурных полей ограждающей конструкции на зимне-весеннем и летне-осеннем периодах года с учетом климатических характеристик района строительства, влияющих на долговечность наружных ограждений.

Квазистационарная составляющая температурного поля на зимне-весеннем и летне-осеннем периодах года однослойной наружной ограждающей конструкции общей толщиной d , связанная с годовым

ходом среднемесячных температур наружного воздуха ($t_{\text{см}}$) при температуре внутреннего воздуха $t_{\text{в}}$, определяется по формуле:

$$t(x, \tau) = \mu_1 + \mu_3 x + \mu_5 x^2 + \mu_6 x^3 + (\mu_2 + \mu_4 x) \tau, \quad (5.59)$$

где x — координата точки ограждения, отсчитываемая от его наружной поверхности;

τ — время, отсчитываемое от середины месяца зимне-весеннего или летне-осеннего периодов года, предшествующего началу периодических оттепелей или соответственно заморозков на этих периодах с переходом через $t_{\text{нз}}$;

μ_i — постоянные коэффициенты, определяемые по формулам:

$$\mu_1 = \bar{\xi}_1 + \frac{c_1}{a}; \mu_2 = \frac{b}{h_{\text{н}}} (h_{\text{н}} - h); \mu_3 = \bar{\xi}_2 + \frac{c_2}{a}; \mu_4 = -hb; \mu_5 = \frac{\mu_2}{2a}; \mu_6 = \frac{hb}{6a}; \quad (5.60)$$

$$\bar{\xi}_1 = \frac{1}{h} (\bar{\xi}_2 + h_{\text{н}} t_{\text{см}}); \bar{\xi}_2 = h(t_{\text{в}} - t_{\text{см}}); \quad (5.61)$$

$$c_1 = \frac{c_2}{h_{\text{н}}}; c_2 = \frac{hb\delta}{6h_{\text{в}}h_{\text{н}}} [3(2 + h_{\text{в}}\delta)(h_{\text{н}} - h) - hh_{\text{н}}\delta(3 + h_{\text{в}}\delta)]. \quad (5.62)$$

Здесь a — коэффициент температуропроводности материала ограждения;

b — темп изменения среднемесячных температур наружного воздуха на зимне-весеннем или летне-осеннем периодах года;

$t_{\text{в}}$ — расчетная температура внутреннего воздуха;

$$h = \frac{h_{\text{в}}h_{\text{н}}}{h_{\text{в}} + h_{\text{н}} + h_{\text{в}}h_{\text{н}}\delta}; \quad (5.63)$$

$$h_{\text{в}} = \frac{\alpha_{\text{в}}}{\lambda}; h_{\text{н}} = \frac{\alpha_{\text{н}}}{\lambda}, \quad (5.64)$$

где $\alpha_{\text{в}}$ и $\alpha_{\text{н}}$ определяются соответственно по табл. 4 и 6 в [27].

Гармонические составляющие температурного поля однослойной наружной ограждающей конструкции определяются с учетом соответствующих амплитуд и периодов. Учитываются две составляющие, связанные:

первая — с суточными колебаниями температуры наружного воздуха со средней амплитудой A_c и периодом $P = 24$ ч;

вторая — с устойчивыми периодическими заморозками и оттепелями со средними амплитудами A_p периодами P_p и числом m в году.

Амплитуда суточных колебаний температуры в слое ограждения, отстоящем на расстоянии x от его наружной поверхности, определяется по формуле:

$$A(x) = A_n \exp\left(-x \sqrt{\frac{\pi}{ap}}\right), \quad (5.65)$$

где A_n — амплитуда суточных колебаний температуры на наружной поверхности ограждения

$$A_n = \frac{A_c}{\sqrt{1 + \frac{2}{h_n} \sqrt{\frac{\pi}{ap}} + \frac{2\pi}{aph_n^2}}}, \quad (5.66)$$

где p — период суточных колебаний температуры, равный 24 ч;

A_c — средняя амплитуда суточных колебаний температуры наружного воздуха.

Амплитуды колебаний температуры в слое ограждения, отстоящем на расстоянии x от его наружной поверхности, связанные с устойчивыми периодическими заморозками и оттепелями с периодом P_p находят по формуле:

$$A(x) = \frac{hA_p}{h_b} [1 + h_b(\delta - x)], \quad (5.67)$$

где A_p — средняя расчетная амплитуда этих заморозков и оттепелей на данном зимне-весеннем или летне-осеннем периодах года; δ — толщина ограждения.

Полное температурное поле однослойной наружной ограждающей конструкции находится наложением на его составляющую двух гармонических колебаний с амплитудами и периодами, полученным по формулам 5.65, 5.66.

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 $t_{\text{см}}$ по месяцам года;
- средние амплитуды A суточных колебаний температуры по месяцам года с периодом $P = 24$ ч;
- среднесуточные температуры $t_{\text{сс}}$ по дням месяцев года;
- темп b изменения среднемесячных температур $t_{\text{см}}$ в их годовом ходе на зимне-весеннем и летне-осеннем периодах года. Определяется по графику их годового хода на участках, где эти температуры изменяются практически линейно;
- средние расчетные полупериоды P_p устойчивых периодических заморозков и оттепелей по отношению к годовому ходу среднемесячных температур $t_{\text{см}}$ 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. Они определяются как средние арифметические за последние пять лет по графикам годового хода среднемесячных температур. При этом учитываются только периодические оттепели и периодические заморозки с переходом за $t_{\text{нз}}$;
- 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 $t_{\text{см}}$ на зимне-весеннем периоде года;
- средняя календарная дата начала устойчивых периодических заморозков по отношению к годовому ходу среднемесячных температур $t_{\text{см}}$ на летне-осеннем периоде года.

Примечание: Зимне-весенним и летне-осенним периодами года называются его активные периоды, на которых возможны периодические оттепели и заморозки с переходами температуры наружного воздуха через 0 °С.

Примеры расчетов характеристик климатической активности, связанных с устойчивыми периодическими заморозками и оттепелями, приведены в [23].

5.6.2. Климатические характеристики «косых дождей»

«Косые дожди» — это осадки, выпадающие под влиянием ветра на вертикальные поверхности стен зданий.

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

Количество осадков на вертикальную стену за один дождь определяется по следующей формуле [4]:

$$H_{\text{в}} = \frac{H \cdot U_{\text{д}}}{U_0}, \quad (5.68)$$

где H — количество осадков, выпавших на горизонтальную поверхность за 1 дождь, мм; $U_{\text{д}}$ — средняя скорость ветра при дожде, м/с; U_0 — скорость падения капель, м/с.

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

$$U_0 = 4,5 \cdot I^{0,107}, \quad (5.69)$$

где I — интенсивность дождя, мм/мин.

Значения H и I для каждого дождя следует выбирать из данных плювиографа, а $U_{\text{д}}$ — из таблицы ТМ-1. Если скорость ветра во время дождя из-за отсутствия данных определить невозможно, то в формулу (5.68) нужно подставить скорость ветра в ближайший к дождю срок.

Косвенный способ расчета месячного количества «косого дождя» состоит в следующем: используются многолетние климатические данные за теплый период года:

— месячное количество осадков H ,

- средняя продолжительность осадков за месяц T ,
- средняя месячная скорость ветра U .

Скорость ветра при дожде определяется по формуле:

$$U_d = U \cdot g. \quad (5.70)$$

Значение g определяется по таблице 5.25.

Таблица 5.25

Зависимость коэффициента g от числа дней с дождем 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

Для средних многолетних данных с учетом соотношения (5.69) можно формулу (5.68) можно записать так:

$$\overline{H_B} = \frac{H \cdot g \cdot U}{4,5 \cdot \left(\frac{H}{T}\right)^{0,107}}. \quad (5.71)$$

В формуле (5.71) пренебрегаем связностью H , U и T . Максимальное месячное количество осадков, попадающих на вертикальные стены, определяется по формуле Максвелла, связывающей среднее значение распределения с его максимумами различной вероятности:

$$H_{max} = K_p \cdot H_B, \quad (5.72)$$

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

Меры дождезащиты планируются в зависимости от количества $H_{мм}$.

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

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

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

При особо интенсивных косых дождях $H_B \geq 100$ 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.

Расчетный угол наклона траектории падения дождевых капель γ входит в расчет выноса горизонтальных L (м) и вертикальных M (м) козырьков. Расчет выноса козырьков выполняется по формулам:

для горизонтальных козырьков

$$L = B \cdot \operatorname{tg} \gamma \cdot \cos(Q - Q_0) \cdot k, \quad (5.73)$$

для вертикальных козырьков

$$M = B \cdot \operatorname{ctg}(Q - Q_0) \cdot \sin \gamma \cdot k, \quad (5.74)$$

где B — 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 устанавливаются 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 то направление, с которого ожидаются интенсивные воздействия косых дождей, разрабатываются специальные профили, препятствующие протеканию воды внутрь конструкций (открытые или дренирующие стыки). В горизонтальных стыках устанавливаются противодождевые гребни, а в вертикальных стыках — декомпенсированные полости. В расчеты 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, там она заменена нормативным скоростным напором. Показано, что при такой замене проектируемая высота гребней занижена, 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 дождевальной 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 трехмерное распределение H_B , T и U , можно определить квантили заданной вероятности сочетаний этих величин. Поскольку в каждом из этих сочетаний одна величина должна входить со своим максимальным значением, формулы вероятности данных сочетаний имеют вид:

$$P(H_B, T, U) = P(H_B \max) \cdot P(T/H_B \max) \cdot P(U/H_B \max); \quad (5.75)$$

$$P(T, H_B, U) = P(T \max) \cdot P(H_B/T \max) \cdot P(U/T \max); \quad (5.76)$$

$$P(U, H_B, T) = P(U \max) \cdot P(H_B/U \max) \cdot P(T/U \max). \quad (5.77)$$

В этих формулах $P(H_B \max)$, $P(T \max)$ и $P(U \max)$ — вероятности превышения заданных значений ($H_B \max$), ($T \max$) и ($U \max$). Они являются интегральными вероятностями одномерных распределений (H_B), (T) и (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.

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 параметрами 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 показателей: количеством осадков (H_B , мм), интенсивностью (I , мм/мин) и 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 расчетных значений параметров могут быть представлены следующей таблицей:

Таблица 5.26

Основные сочетания	H_B мм	I мм/мин	U м/с	T мин
<i>A</i>	$H_B max$	IA	UA	TA
<i>B</i>	$H_B B$	$I max$	UB	TB
<i>C</i>	$H_B C$	IC	$U max$	TC
<i>D</i>	$H_B D$	ID	UD	$T max$

Здесь индексами *A*, *B*, *C*, *D* обозначены сочетания и значения параметров, соответствующих значениям ($H_B max$), ($I max$), ($T max$) и ($U max$).

Составление трехмерных распределений для стен различной ориентации также, как и определение расчетного угла падения капель, представляет собой довольно сложную задачу. Поэтому при

возникновении подобной задачи следует обращаться в ГГО. Специалисты-климатологи представят программу расчета либо дадут консультацию по ее составлению.

5.7. Глубина промерзания грунта

Процесс промерзания почвы (грунтов) начинается с момента перехода температуры ее поверхностного слоя через $-0,1 \dots -1,0$ °С (в зависимости от типа почвы) и продолжается при дальнейшем понижении температуры поверхностного слоя. Основным фактором, способствующим промерзанию почвы, является радиационный баланс и, как следствие, термическое состояние приземного слоя воздуха.

Зависимость глубины промерзания почвы от суммы отрицательных температур воздуха за холодный период года лежит в основе расчета нормативной глубины сезонного промерзания грунтов, приведенного в [31].

Глубина заложения фундаментов должна приниматься с учетом:

- назначения и конструктивных особенностей проектируемого сооружения, нагрузок и воздействий на его фундаменты;
- глубины прокладки инженерных коммуникаций;
- существующего и проектируемого рельефа застраиваемой территории;
- инженерно-геологических условий площадки строительства;
- глубины сезонного промерзания грунтов.

Нормативную глубину сезонного промерзания грунта (м) следует определять на основе теплотехнических расчетов. Для районов, где глубина промерзания не превышает 2,5 м, ее нормативное значение допускается определять по формуле:

$$d = d_0 \cdot M^{1/2}, \quad (5.78)$$

где M — безразмерный коэффициент, численно равный сумме абсолютных значений среднемесячных отрицательных температур за зиму в данном районе, принимаемых по СП 131.13330.2012 «Строительная климатология» (актуализированная редакция СНиП 23-01-99*) [30], а при отсутствии в нем данных для конкретного

пункта или района строительства — по результатам наблюдений гидрометеорологической станции, находящейся в аналогичных условиях с районом строительства;

d_0 — величина, принимаемая равной для суглинков и глин 0,23 м; супесей, песков мелких и пылеватых — 0,28 м; песков гравелистых, крупных и средней крупности — 0,30 м; крупнообломочных грунтов — 0,34 м.

Значение d_0 для грунтов неоднородного сложения определяют как средневзвешенное в пределах глубины промерзания. Нормативная глубина промерзания грунта в районах, где $d > 2,5$ м, а также в горных районах (где резко изменяются рельеф местности, инженерно-геологические и климатические условия), должна определяться теплотехническим расчетом в соответствии с требованиями СП 25.13330.2012.

Фактором, препятствующим промерзанию почвы, является наличие снежного покрова. Такие его характеристики, как время образования снежного покрова, его мощность, продолжительность залегания определяют глубину промерзания. Позднее установление снежного покрова способствует большему промерзанию почвы, так как в первую половину зимы интенсивность промерзания почвы наибольшая и, наоборот, раннее установление снежного покрова препятствует значительному промерзанию почвы. Возможную глубину промерзания почвы под снежным покровом позволяет оценить *глубина нулевой изотермы*. Расчет средней глубины нулевой изотермы производится путем интерполяции данных вытяжных термометров между соседними глубинами, на одной из которых температура положительная, на другой — отрицательная.

Для южных районов РФ, где промерзание почвы в отдельные годы наблюдается короткое время и на небольших глубинах, важно учитывать продолжительность безморозного периода. В Справочниках приводятся средние и крайние (самые ранние и самые поздние) даты первого заморозка осенью и последнего заморозка весной по показаниям минимального термометра. Крайние даты заморозков выбираются непосредственно по данным наблюдений. Средние даты заморозков получают осреднением ежегодных дат в

пределах рассматриваемого периода. Безморозным называется период от последнего заморозка весной до первого заморозка осенью.

Средняя продолжительность *безморозного периода* на поверхности почвы определяется числом дней между средними датами последнего заморозка весной и первого осенью. На даты заморозков большое влияние оказывает тип и механический состав почвы. На тяжелых суглинистых и глинистых почвах, а также на торфяниках, весенние заморозки обычно прекращаются позднее, чем на более легких песчаных и супесчаных почвах; осенью на легких почвах заморозки начинаются раньше, чем на тяжелых. По сравнению с воздухом появление заморозков на поверхности почвы приходится, как правило, на более ранние даты, а их окончание — на более поздние, т. е. безморозный период на почве короче, чем в воздухе.

Пространственная изменчивость дат заморозков и продолжительности безморозного периода в значительной степени зависит от местных условий: рельефа местности, наличия водоемов, заболоченных территорий, растительности и т. д. В холмистом рельефе продолжительность безморозного периода в средней части открытых склонов такая же, как на ровном месте. По сравнению с ровным местом на возвышенностях и в долинах с большим уклоном вдоль оси долины (с хорошим стоком холодного воздуха) безморозный период длиннее, а в понижениях рельефа с отсутствием или слабым стоком холодного воздуха (извилистые и замкнутые долины, котловины) — короче. На побережьях крупных водоемов безморозный период увеличивается, на лесных полянах и заболоченных участках — уменьшается.

5.8. Учет микроклимата при строительном проектировании

При практическом использовании климатической информации потребители, как правило, используют данные наблюдений ближайшей метеостанции, часто не отражающей микроклиматические особенности конкретного района, где проводятся изыскательские работы. Это может приводить к большим ошибкам, поэтому при детальной климатической характеристике отдельных участков,

предназначенных под застройку, необходимо учитывать микроклиматические особенности территории.

Количественная оценка климатических показателей в пункте (для конкретных микроклиматических условий) определяется методом введения микроклиматических поправок к фоновой климатической информации, получаемой по данным метеостанций, репрезентативных для рассматриваемой характеристики.

В настоящее время существует система таблиц микроклиматических поправок основных климатических показателей [15], которые можно использовать для получения детальной пространственной характеристики местности. Однако таблицы охватывают не все климатические зоны и, кроме того, количественные проявления микроклиматических особенностей в разных физико-географических и климатических условиях могут существенно различаться. Поэтому для районов, не охваченных указанной системой таблиц, значения микроклиматических поправок следует уточнять.

5.8.1. Учет микроклимата в условиях неоднородной деятельной поверхности с небольшими относительными превышениями местности (холмистый рельеф)

Для учета микроклиматических условий при строительном проектировании в первую очередь необходима оценка термических и ветровых характеристик.

Учет изменчивости температуры воздуха

Средняя месячная (средняя суточная) температура мало реагирует на микроклиматические особенности территории, но существенно изменяется в зависимости от абсолютной высоты места. Расчет температуры воздуха на разных уровнях производится по градиенту температуры в зависимости от высоты положения площадки, исходя из отметки, на которой расположена метеостанция:

$$t_{\text{п}} = t_0 - (\gamma \cdot \Delta h / 100), \quad (5.79)$$

где $t_{\text{п}}$ — температура площадки на исследуемом уровне, °С; t_0 — температура воздуха по данным ближайшей метеостанции, °С; γ —

температурный градиент, °С/100 м; Δh — разность высотных отметок уровня площадки и метеостанции, м.

Температурный градиент рассчитывается по данным метеостанций, расположенных в рассматриваемом регионе на разных высотах над уровнем моря.

В распределении термических поправок на рельеф днем и ночью существует общая закономерность для всех физико-географических районов.

В летний период в дневные часы под влиянием турбулентного перемешивания даже при ясном небе различия в температуре воздуха по элементам рельефа невелики и редко превышают 1 °С. Наибольшие контрасты в термическом режиме разных форм рельефа наблюдаются ночью. Минимальные (ночные) температуры воздуха являются одними из наиболее чувствительных характеристик термического режима, это относится даже к средним минимальным температурам.

В таблице 5.27 представлены значения микроклиматических поправок к значениям среднего минимума температуры воздуха в холмистом рельефе в летний период для Европейской (ЕТР) и Азиатской (АТР) территорий России.

Таблица 5.27

**Изменение среднего минимума температуры воздуха
в условиях холмистого рельефа. Июль**

Местоположение	ЕТР	АТР
Долины небольших рек с затрудненным стоком холодного воздуха	-1,0...-1,5	-2,5...-3,0
Подножия и нижние части склонов с застоем холодного воздуха	-1,0...-1,3	-1,0...-2,0
Широкие плоские долины и котловины с подтоком холодного воздуха с окружающих склонов	-0,5...-1,0	-0,5...-1,5
Вершины возвышенностей и их верхние части	1,0...1,5	2,0...2,5
Открытые склоны	0,5...1,0	1,0...2,0
Города	0,5...1,0	0,5...1,0
Города на возвышенностях	1,5...2,0	2,0...3,0
Берега озер и водоемов	0,5...1,0	1,5...2,0

В зимний период чрезвычайно чувствительны к неоднородностям подстилающей поверхности расчетные зимние температуры — средний из абсолютных годовых минимумов (T_m), температура самой холодной пятидневки (T_p) и зимняя вентиляционная температура (T_v), т. е. средняя температура наиболее холодной части отопительного периода, составляющей 15 % всего периода. Изменчивость этих показателей под влиянием местоположения очень часто перекрывает их изменение в зональном аспекте, что исключает их линейную интерполяцию в условиях изрезанного рельефа.

Таблица 5.28

**Изменение с высотой значений T_m и T_p (°С)
в холмистом и горном рельефе на территории России**

Форма рельефа	Местоположение			
	Вершина, верхняя треть склона	Середина склона	Широкая долина	Замкнутая долина, котловина
Слабовсхолмлённый рельеф ЕТР	2	1	-2	-3, -4
Слабохолмистый рельеф в условиях континентального климата АТР	2—3	1—2	-2	-4
Холмистый рельеф ЕТР и слабовыраженный рельеф АТР	3—4	2—3	-2, -3	-4, -5
Холмистый рельеф АТР, низко- и среднегорный рельеф ЕТР	4—5	3—4	-3, -4	-5, -6
Низко- и среднегорный рельеф АТР и горы Кавказа	5—6	0	-3, -4	-6, -8
Горы Алтая и Саян	5—6	0	-5, -6	-8, -9
Горы Центральной и Восточной Якутии	> 6	0	-6, -7	-9, -10

Примечание. Положительные величины означают повышение с высотой (T_m) и (T_p) по сравнению с ровным местом в холмистом рельефе или с серединой склона в горном рельефе, отрицательные — понижение.

В таблице 5.28 приведены микроклиматические поправки к расчетным зимним температурам для разных местоположений в холмистом и горном рельефе, которые имеют одинаковые значения

для (T_M), и (T_P). Для вентиляционной зимней температуры (T_B) абсолютная величина микроклиматических поправок в среднем на 1° меньше, чем для (T_M) и (T_P).

Большое влияние на изменение расчетных зимних температур оказывает не только рельеф, но и различия в физических свойствах подстилающей поверхности (таблица 5.29). Особенно велики различия в термическом режиме воды и суши. Смягчающее влияние моря или крупного водоема резко уменьшается по мере удаления от берега. Средние значения изменений T_M под влиянием морей и крупных незамерзающих водоемов, приведенные в таблице 5.29, рассчитаны при расстоянии участка не более 500 м от уреза воды по сравнению с участками, расположенными на расстоянии 4—6 км от берега.

Таблица 5.29

Изменение среднего из абсолютных годовых минимумов температуры воздуха (T_M , °С) в разных местоположениях по сравнению с открытым ровным местом

Местоположение	Изменение T_M		
	Наименьшее	Среднее	Наибольшее
Острова, косы, побережья морей	2—3	3—4	5—6
Побережья больших озер	1—2	2—3	> 4
Долины больших рек	1	> 2	> 3
Города	1—2	2—3	4—6
Лесные поляны	-1	-2	-3, -4

Примечание. Положительные величины означают повышение T_M по сравнению с открытым ровным местом, отрицательные — понижение.

Учет изменчивости ветровых характеристик в холмистом рельефе

Ветер наиболее сильно подвержен изменениям под влиянием рельефа местности. Поэтому при характеристике режима ветра какой-либо территории возможность использования данных ближайшей метеорологической станции в известной степени ограничена. Данные по ветру можно распространять лишь на те территории, местоположения которых сходны с местоположением метеорологической станции.

Рельеф местности, направление долин и хребтов играют существенную роль в изменении направления ветра. Отклонение направления ветра вдоль долин и расщелин возможно до 60° от направления ветра в свободной атмосфере. В верхних частях подветренных склонов направление ветра неустойчиво, оно даже может быть противоположным основному потоку.

Термодинамическое воздействие рельефа на ветер проявляется ночью в виде нисходящих потоков по склонам, которые достаточно четко прослеживаются при устойчивой антициклонической погоде с небольшими скоростями. При таком типе погоды турбулентный обмен слабый, и скорости стокового ветра достигают в некоторых случаях 3—3,5, чаще 2—2,5 м/с. Такие скорости обеспечиваются стоком холодного воздуха под действием силы тяжести.

Процесс стока—подтока воздушных масс в холмистом рельефе приводит к большому различию температур воздуха в приземном слое между повышенными и пониженными участками. Помимо этого, стекание холодного воздуха вниз по склону обуславливает образование зон застоя в понижениях, т. е. зон наиболее глубоких инверсий температуры воздуха. Очевидно, что интенсивность этих процессов зависит от типов погоды. При сильных ветрах стоковые явления практически не проявляются.

Учет направлений стоковых ветров основывается на схеме линий стока холодного воздуха. Для составления этой схемы на топографической основе проводятся линии водоразделов, оконтуриваются днища долин (зоны застоя) и ровные участки, с которых стока не происходит. От водоразделов перпендикулярно горизонталям наносятся линии стока. На всех линиях стока от водоразделов последовательно откладываются отрезки, равные 500 и 1000 м. Равноудаленные от водоразделов точки соединяются. В результате получаются пояса, представляющие собой площади воздухосборов различной мощности (0—500 м, 500—1000 м и более 1000 м). Чем больше удаленность любого пояса от водораздела, тем больше холодных масс воздуха будет поступать на исследуемую площадку. Наиболее глубокие инверсии и самые низкие температуры наблюдаются в зоне застойных местоположений. На рисунке 5.8 в

качестве примера приведена картосхема распределения таких зон в холмистом рельефе.

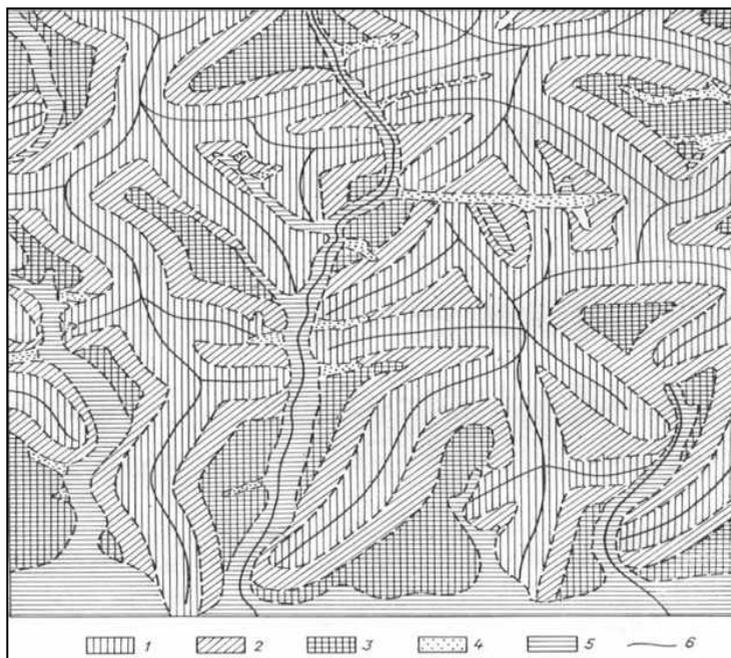


Рисунок 5.8. Схема стока холодного воздуха.

Длина линий стока: 1) 0—500 м; 2) 500—1000 м; 3) > 1000 м;
4) зоны застоя; 5) ровные участки; 6) линии водоразделов.

Выявленные районы застоя (т. е. зоны наиболее интенсивных инверсий) являются потенциальными очагами наибольшей концентрации загрязняющих веществ, что делает эти районы опасными в гигиеническом отношении. К таким местоположениям относятся, прежде всего, котловины, низины, долины с затрудненным стоком (прямые долины с уклоном менее 2° , извилистые долины).

Наиболее благоприятными для застройки с точки зрения чистоты воздушного бассейна являются формы рельефа, характеризующиеся

хорошим стоком. К ним относятся участки, примыкающие к водоразделам, верхние и средние части склонов, прямые долины с уклоном дна более 2°.

Воздействие рельефа на скорость ветра проявляется в усилении ветра в местах сближения линий тока и в ослаблении его при расхождении линий тока. Увеличение скорости ветра наблюдается на вершинах холмов, на наветренных склонах, а также на параллельных ветру склонах. Уменьшение скоростей ветра происходит позади препятствий, на подветренных склонах и в отрицательных формах рельефа.

Изменение скорости ветра в зависимости от форм рельефа выражается коэффициентом K , который представляет собой отношение скорости ветра на отдельных участках рельефа к скорости ветра на открытом месте.

В таблице 5.30 для различных условий рельефа приведены значения K для двух градаций скоростей ветра на высоте 2 м на открытом ровном месте: 3—5 м/с и 6—20 м/с. На высоте флюгера (10 м) эти данные соответствуют скоростям 4—7 и 8—25 м/с.

Таблица 5.30

**Коэффициенты изменения скорости ветра на высоте 2 м
в различных условиях рельефа по сравнению с данными
для открытого ровного места при неустойчивой (Н) и устойчивой (У)
стратификации атмосферы**

Форма рельефа	Скорость ветра на равнине, м/с			
	3—5		6—20	
	Н	У	Н	У
<i>Открытые возвышения (холмы)</i>				
Вершины, Δh м				
< 50	1,3—1,4	1,6—1,7	1,1—1,2	1,3—1,4
50—100	1,4—1,5	1,7—1,8	1,2—1,3	1,4—1,5
100—200	1,5—1,7	1,8—2,0	1,3—1,4	1,5—1,7
200—300	1,7—1,9	2,0—2,2	1,4—1,5	1,7—1,9
300—400	1,9—2,1	2,2—2,4	1,5—1,8	1,9—2,1
400—500 и более	2,1—2,3	2,4—2,6	2,1—2,3	2,1—2,3

Форма рельефа	Скорость ветра на равнине, м/с			
	3—5		6—20	
	Н	У	Н	У
<i>Склоны крутизной 4—10°</i>				
<i>Наветренные</i>				
верхняя часть	1,2—1,3	1,4—1,6	1,1—1,2	1,3—1,5
средняя часть	1,0—1,1	1,0—1,1	1,0—1,1	1,1—1,2
нижняя часть	1,0	0,8—0,9	0,9—1,0	1,0
<i>Параллельные ветру</i>				
верхняя часть	1,1—1,2	1,3—1,4	1,0—1,1	1,2—1,3
средняя часть	0,9—1,0	1,0—1,1	0,8—0,9	0,9—1,0
нижняя часть	0,8—0,9	0,9—1,0	0,7—0,8	0,8—0,9
<i>Подветренные</i>				
верхняя часть	0,8—0,9	0,8—0,9	0,7—0,8	0,7—0,8
средняя часть	0,8—0,9	0,7—0,8	0,8—0,9	0,7—0,8
нижняя часть	0,8—0,9	0,9—1,0	0,8—0,9	0,9—1,0
<i>Склоны крутизной 10—20°</i>				
<i>Наветренные</i>				
верхняя часть	1,4 – 1,5	1,6 – 1,7	1,3 – 1,4	1,5 – 1,6
средняя часть	1,2 – 1,3	1,4 – 1,6	1,1 – 1,2	1,3 – 1,4
нижняя часть	1,0 – 1,1	0,8 – 0,9	0,9 – 1,0	0,7 – 0,8
<i>Параллельные ветру</i>				
верхняя часть	1,4 – 1,5	1,6 – 1,7	1,3 – 1,4	1,5 – 1,6
средняя часть	1,2 – 1,3	1,4 – 1,6	1,1 – 1,2	1,3 – 1,4
нижняя часть	1,0 – 1,1	0,8 – 0,9	0,9 – 1,0	0,7 – 0,8
<i>Подветренные</i>				
верхняя часть	0,9 – 1,2	1,0 – 1,3	0,8 – 1,1	0,9 – 1,2
средняя часть	0,7 – 0,8	0,7 – 0,8	≤ 0,7	≤ 0,7
нижняя часть	0,6 – 0,7	0,7 – 0,8	≤ 0,6	≤ 0,7
<i>Возвышения с плоскими вершинами и пологими в верхней части склонами</i>				
Вершины, верхние части наветренных и подветренных склонов крутизной 1—3°	1,2—1,4	1,4—1,6	1,1—1,2	1,4—1,5
Средние и нижние части наветренных и параллельных ветру склонов крутизной > 4°	1,1—1,2	1,1—1,2	1,1—1,2	1,2—1,3

Форма рельефа	Скорость ветра на равнине, м/с			
	3—5		6—20	
	Н	У	Н	У
Средние и нижние части подветренных склонов крутизной > 4°	0,7—0,9	0,9—1,0	0,8—0,9	0,9—1,0
<i>Долины, лоцины, овраги</i>				
<i>Дно и нижние части склонов долин, лоцин, оврагов:</i>				
продуваемые ветром	1,1—1,2	1,3—1,5	1,2—1,3	1,4—1,5
не продуваемые ветром	0,7—0,8	≤ 0,6	0,7—0,8	≤ 0,6
Дно и нижние части склонов оврагов, замкнутых долин, лоцин	≤ 0,6	≤ 0,6	≤ 0,6	≤ 0,6
<i>Средние и верхние части склонов долин, лоцин, оврагов:</i>				
продуваемые ветром	1,2—1,3	1,4—1,5	1,1—1,2	1,3—1,5
не продуваемые ветром	0,8—0,9	0,6—0,7	0,8—0,9	0,6—0,7
замкнутые	≤ 0,6	≤ 0,6	≤ 0,6	≤ 0,6

Анализ ветрового режима выполняется на топографической основе и базируется на схемах экспозиции склонов и уклонов местности. Для определения изменения скорости ветра все склоны делятся по высоте на три части: верхнюю, среднюю и нижнюю, и, согласно таблице 5.30, для каждого преобладающего направления ветра выделяются зоны скоростей ветра, отличных от скорости ветра на открытом месте.

5.8.2. Учет микроклимата в условиях горного рельефа

Горный рельеф существенно деформирует общий воздушный поток, способствует возникновению местных циркуляций, вносит коррективы в интенсивность инверсионных процессов. Это приводит к большим микроклиматическим различиям на близких расстояниях,

усложняет картину распространения промышленных выбросов, загрязняющих приземную атмосферу.

Детальную оценку микроклиматических условий отдельных горных территорий, особенно склоновых участков, невозможно дать по данным метеорологических станций, поскольку станции, расположенные на территории со сложным рельефом, отражают микроклиматические условия только того элемента рельефа, в котором они находятся. К тому же, метеорологическая сеть в горном рельефе обычно очень редкая и приурочена, в основном, к долинам. В данной ситуации характеристику микроклиматических условий конкретных территорий можно дать только с помощью расчетных методов.

Учет изменчивости расчетных зимних температур воздуха

Как было отмечено выше, влияние форм рельефа местности особенно проявляется при оценке расчетных зимних температур воздуха (таблица 5.28).

Значения микроклиматических поправок, приведенные в этой таблице, являются в значительной степени осредненными для больших горных территорий и целых горных систем, поэтому для оценки количественных значений расчетных зимних температур воздуха для конкретной территории необходимо их уточнение.

Для решения такой задачи целесообразно использовать метод кластерного анализа, который позволяет по данным репрезентативно расположенных метеостанций получать фоновое распределение расчетных зимних температур воздуха с высотой, а затем для конкретных станций вычислять отклонения этих характеристик от фоновых величин (микроклиматические поправки). Далее с помощью графического метода определяются температуры для аналогичных местоположений, встречающихся на других высотах. Подробно об использовании метода кластерного анализа изложено в [7], где приведены расчеты для метеостанций, расположенных в условиях горного рельефа Западного Кавказа.

Учет изменчивости скорости ветра на подветренном склоне горного хребта

Подветренные склоны горных хребтов характеризуются пониженными скоростями ветра. В горах скорость ветра в сильной степени зависит от барьерного эффекта горных хребтов, который наиболее выражен, когда хребты высоки и непрерывны, и когда натекают воздушные массы устойчивого направления. Под влиянием барьерного эффекта на подветренных по отношению к устойчивым преобладающим направлениям воздушных потоков склонах скорость ветра резко уменьшается от вершины к подножью. На разных участках подветренного склона с разной высотой хребта, но при одинаковом удалении от вершины хребта вниз по склону, скорость ветра в процентном отношении меняется на одну и ту же величину независимо от ее значения на вершине.

В таблице 5.31 приведены коэффициенты K_{VO} , характеризующие изменение скорости ветра на склоне в зависимости от различного расстояния конкретных высотных уровней от вершины хребта, т. е. от относительных превышений (ΔH).

Представленные коэффициенты K_{VO} можно использовать для расчета средней месячной скорости ветра на разных высотах подветренных склонов различных горных хребтов, если известна скорость ветра на вершине хребта или хотя бы на одной из высот в верхней части хребта, где скорости сравнительно высоки. При отсутствии данных наблюдений скорость ветра на уровне вершины хребта можно определить различными косвенными методами, например, по скорости ветра в свободной атмосфере или по данным репрезентативной метеостанции в предгорной зоне, используя общепринятую степенную формулу.

Коэффициенты K_{VO} с достаточной для практических целей точностью можно использовать для расчетов не только средних месячных скоростей ветра, но и скоростей среднего суточного и срочного разрешения, поскольку коэффициенты K_{VO} , рассчитанные за разные временные интервалы осреднения скорости ветра, довольно близки по значениям, что наглядно подтверждает рисунок 5.9.

Таблица 5.31

Коэффициенты K_{v0} для разных относительных превышений (ΔH) вершины хребта над различными высотными уровнями подветренного склона

ΔH , м	Коэффициенты K_{v0}
50	0,83—0,86
100	0,72—0,74
200	0,60—0,61
300	0,54—0,55
500	0,43—0,44
700	0,33—0,34
900	0,25—0,26
1100	0,19—0,20
1300	0,14—0,15
1500	0,10—0,11
1700	0,09—0,10

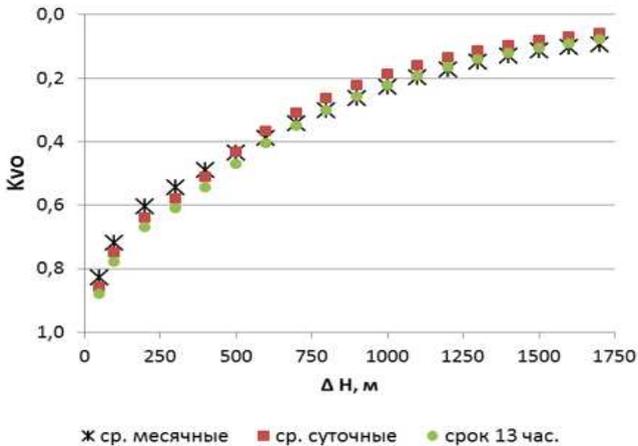


Рисунок 5.9. Изменение коэффициентов K_{v0} в зависимости от относительных превышений (ΔH) вершины хребта над различными высотными уровнями подветренного склона для разных временных осреднений скорости ветра.

6. Методы расчета специализированной климатической информации для транспортной отрасли экономики

Транспорт — одна из наиболее зависимых от погоды отраслей экономики. Учету погодно-климатических факторов на стадии проектирования автомобильных дорог уделяется большое внимание, что нашло свое отражение во многих нормативных документах. Однако в проектно-сметной документации практически отсутствует раздел по их содержанию. При обосновании планирования финансовых и материально-технических ресурсов для зимнего содержания дорог, разработке технических и организационных решений по защите дорог от снежных заносов и борьбе с зимней скользкостью необходима специализированная климатическая информация [25].

В настоящих Методических указаниях приводятся некоторые методики расчета специализированных характеристик для обслуживания автомобильного транспорта в зимний период.

Стандартные метеорологические наблюдения ведутся на площадках с естественной подстилающей поверхностью, значительно отличающихся по свойствам от искусственного дорожного полотна. Исходя из этого, состояние дорожного покрытия (степень заснеженности, вид обледенения) можно оценить только косвенно, используя комплекс метеорологических величин, наблюдаемых (измеряемых) на ближайших к дороге метеорологических площадках.

В последнее десятилетие в России стали устанавливаться автоматические дорожные метеостанции (АДМС), которые обеспечивают дорожные службы текущей информацией не только о погодных условиях (температура и влажность воздуха, атмосферное давление, направление и скорость ветра), но и о состоянии дорожного покрытия. При наличии на АДМС соответствующего программного обеспечения дополнительно рассчитывается характер изменения этих величин на ближайшие часы. Однако в настоящее время таких станций мало, периоды наблюдений недостаточны для корректных обобщений и расчета средних многолетних характеристик, поэтому

службы по содержанию автомобильных дорог пользуются метеорологической информацией Росгидромета [25].

6.1. Условия образования скользкости на дорогах и характеристики снегопадов

Для характеристики условий, вызывающих образование различных видов скользкости на отдельных участках автомобильных трасс, используются срочные измерения основных метеорологических величин (температура и влажность воздуха, осадки, атмосферные явления). Обработка данных включает:

- расчет числа снегопадов, их продолжительности и количества выпавших твердых осадков (снега и мокрого снега);
- распределение снегопадов по градациям в зависимости от количества осадков и температуры;
- выборку сильных снегопадов и расчет их интенсивности.

За случай снегопада принимается период выпадения снега с перерывами не более двух часов (при расчете продолжительности эти перерывы не учитываются). Отдельно рассматриваются дни без снега, но с метеоусловиями, способствующими образованию других видов скользкости.

Выборка дней с различными видами скользкости производится в соответствии с разработанной таблицей 6.1, в которой приведены метеорологические условия, способствующие образованию тех или иных видов отложений на автодорогах. При этом следует принимать условие, что если при каком-либо сочетании метеоусловий могли образоваться два или более вида отложений и их нельзя разделить, то предпочтение отдается более опасному виду или тому, которое при данных условиях наблюдается чаще. Ниже приводится характеристика данных в таблице 6.1 видов скользкости на автодорогах.

Снежный накат. Образование снежного наката происходит при положительной температуре воздуха (от 0,3 до 2,0 °С).

Таблица 6.1

**Виды скользкости на автомобильных дорогах и метеорологические условия,
способствующие их образованию**

Вид скользкости	Температура воздуха, °С	Осадки, их вид	Состояние покрытия	Дополнительные условия
Гололедица	Ниже 0. Резкое похолодание	Любые, выпавшие при температуре воздуха выше -3° и предшествующие похолоданию	Мокрое	Время последствия осадков 12 ч
Твердый прозрачный ледяной налет: (черный лед) Зернистая изморозь	Чаще от +0,7 до -8 $-3...-10$	Влажность $\geq 97\%$ или $(T - T_d) \leq 0,5^{\circ}$ Адвективный туман	Сухое	При резких потеплениях (более 9°C за 12 ч) Значительная разность между температурой поверхности и температурой воздуха, возникающая при резком потеплении приземного слоя воздуха
Кристаллическая изморозь	$-11...-30$	Радиационный туман, дымка 1—2 км		При резких похолоданиях ($\geq 9^{\circ}\text{C}$ за 12 ч) Значительная разность между температурой поверхности и температурой воздуха, возникающая при резком
Иней	От +2 и ниже	Влажность $\geq 94\%$ или $V \leq 5$ м/с	Сухое	

Вид скользкости	Температура воздуха, °С	Осадки, их вид	Состояние покрытия	Дополнительные условия
		Радиационный туман, дымка 1—2 км		похолодании или значительном радиационном выхолаживании приземного слоя воздуха.
Гололед	+0,5...–10	Переохлажденные жидкие (дождь, морось, ледяной дождь)		–
Снежный накат	0...–6	Твердые (снег, мокрый снег)		–
	2...0	Твердые (снег, мокрый снег)		Интенсивность снегопада не менее 0,6 мм/ч
	–6...–10	Снег		Относительная влажность воздуха не менее 90 %
Рыхлый снег	–6...–10	Снег		Относительная влажность воздуха менее 90 %
	Ниже –10	Твердые (снег, мокрый снег)		–

На дорогах мокрый снег спрессовывается под колесами машин и, если вслед за этим наступает даже небольшое понижение температуры (от 0 до -1 °С), снег замерзает, образуя сплошную ледяную корку. При дальнейшем понижении температуры ледяное образование может удерживаться в течение длительного времени.

Уплотнение снежных отложений может происходить и при более низких температурах (от -6 до -10 °С), но только при высокой влажности воздуха (более 90 %) и (или) при сильном ветре под воздействием давления ветрового потока.

Оледенелый снег. Образуется в результате замерзания талой воды в слое снега во время резких похолоданий после оттепелей. По величине отложения оледенелый мокрый снег часто превосходит гололед, поэтому является очень опасным видом обледенения.

Рыхлый снег. Отложение рыхлого снега обычно наблюдается при температурах ниже -10 °, а при влажности менее 90 % и в интервале температур от -6 до -10 °С.

Гололед. В зависимости от плотности гололедные отложения представляют собой прозрачное или матовое отложение льда, образующееся при намерзании на поверхности дороги капель переохлажденного дождя или мороси. Гололедообразование начинается чаще всего при температуре воздуха от 0 до -6 °С, реже при более низких температурах (до -10 ... -12 °С). При резких потеплениях гололед может наблюдаться и при небольших положительных температурах (от 0 до $+0,5$ °С).

Гололедица. Образуется в результате замерзания воды или растворов, имеющих на покрытии дороги, при понижении его температуры ниже 0 °С. Чаще всего гололедица на автомобильных дорогах образуется при температуре воздуха -2 ... -6 °С.

Зернистая изморозь. Отличается от гололеда меньшей плотностью и шероховатостью. Образование ее связано с замерзанием на сухой поверхности дороги осаждающихся мелких капель тумана без их предварительного растекания. Образование зернистой изморози чаще всего наблюдается при температурах воздуха от -1 ... -10 °С. При

более низких температурах ($-12\dots-16\text{ }^{\circ}\text{C}$) зернистая изморозь обычно наблюдается вместе с кристаллической.

Кристаллическая изморозь. Представляет собой пушистый, белый, снегообразный осадок, состоящий из кристаллов льда нежной тонкой структуры. Наблюдается зимой в тихую, малооблачную погоду при высокой влажности воздуха и низких температурах (от -10 до $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Иней (твердая роса). Представляет собой белый кристаллический налет. Он образуется на сухой поверхности дороги, имеющей отрицательную температуру, за счет сублимации водяного пара. Необходимым условием для начала сублимации является большая разница между температурой поверхности дороги и температурой воздуха. Обычно это происходит при резком похолодании или при значительном радиационном выхолаживании приземного слоя воздуха. Для дорожных служб иней наиболее опасен весной и осенью, когда вечером наблюдаются положительные температуры, а к утру — заморозки.

«Черный» лед» (твердый ледяной налет). Является разновидностью изморози. Он представляет собой прозрачный ледяной налет, образующийся при смене погоды, когда наступает резкое ослабление мороза или оттепель. Теплый воздух, соприкасаясь с дорожным покрытием, имеющим отрицательную, значительно более низкую температуру, охлаждается, и при высокой относительной влажности начинается процесс сублимации. Водяной пар при соприкосновении с холодной поверхностью превращается в очень тонкий, почти незаметный слой льда. Если адвекция теплого воздуха сопровождается туманом или густой дымкой, наблюдается усиление твердого налета за счет образующейся на его поверхности зернистой изморози.

По рассчитанным данным о числе дней с различными видами скользкости делается анализ условий вдоль рассматриваемой трассы.

Если на трассах наиболее часто неблагоприятные условия для автотранспорта создаются при выпадении снега и мокрого снега, необходимо подробно проанализировать характеристики снегопадов (общее количество снегопадов за сезон, количество выпавшего при этом снега, продолжительность снегопадов).

В оперативной работе дорожных служб крайне важна информация об интенсивности снегопадов (количестве выпавших осадков за единицу времени). При интенсивности 1—3 мм/ч и более (1 мм слоя воды в среднем равен 1 см свежевыпавшего снега) к распределению противогололедных материалов (ПГМ) приступают через 15—20 минут после начала снегопада, а при более слабых, с интенсивностью 0,5—1 мм/ч, через 30—45 минут.

Снегопады, при которых за промежуток времени длительностью не более 12 часов выпадает 7—19 мм осадков, относятся к сильным и считаются неблагоприятными метеорологическими явлениями. Снегопады, при которых за такой же период времени выпадает 20 мм осадков и более, относятся к очень сильным и считаются опасными явлениями.

При продолжительных снегопадах их интенсивность не остается постоянной. При выборке случаев сильных снегопадов могут встречаться ситуации, когда во время длительного снегопада наблюдалось резкое увеличение его интенсивности. Если период резкого увеличения интенсивности длился менее 12 часов, и при этом выпало большое количество осадков (более 7 мм), то этот период следует выделять из общей продолжительности и квалифицировать как случай сильного снегопада. Расчет средней интенсивности снегопадов, в том числе сильных и очень сильных, производится по данным измерений количества осадков, которые производятся два раза в сутки.

Для характеристики сильных снегопадов (продолжительность не более 12 часов) по трассе целесообразно составить таблицу, пример которой приведен ниже:

Пункт наблюдения	Среднее число снегопадов с количеством осадков ≥ 7 мм	Макс. количество осадков за снегопад (мм)	Общее число опасных снегопадов (с количеством осадков ≥ 20 мм)	Интенсивность снегопада (наибольшая из средних), мм/ч	Общее число случаев с интенсивностью снегопада	
					≥ 1 мм/ч	≥ 2 мм/ч

Перечень приведенных характеристик снегопадов и условий скользкости на дорогах был разработан в ГГО совместно с Санкт-Петербургским НИИПИ территориального развития и транспортной инфраструктуры. Результаты расчета и анализ всех характеристик апробированы при описании зимних условий на автомобильных трассах «Крым», «Дон» и «Холмогоры» [21].

Данные о характеристике снегопадов и различных видах скользкости необходимы при разработке общей стратегии содержания автомобильных дорог в различных климатических условиях, а также для определения порядка действий и норм внесения противогололедных материалов (ПГМ) в конкретных ситуациях.

6.2. Снегозаносимость дорог

Главным источником снежных отложений на дороге является снегоперенос, вызванный метелями. Метелевый режим в районе прохождения автомобильной дороги определяется рядом факторов. Основными из них являются:

- количество метелей при различных направлениях ветра;
- продолжительность метелей по румбам;
- интенсивность метелей;
- объемы снегопереноса по румбам и суммарные за год;
- объемы снегоприноса к автомобильным дорогам различного направления.

Снегоперенос — объем снега, который переносится через заданную точку со всех направлений за зимний период.

Снегопринос — объем снега, приносимого метелью к одной какой-либо стороне дороги.

6.2.1. Снегоперенос

В основу аналитического метода расчета снегопереноса положена зависимость между осредненной интенсивностью горизонтального переноса снега и скоростью ветра на высоте флюгера [12, 13]:

$$i = C \cdot V^3, \quad (6.1)$$

где i — интенсивность горизонтального переноса снега, $\text{м}^3/\text{м}$;

C — коэффициент пропорциональности, величина которого зависит от плотности снега в метелевых сугробах;

V — скорость ветра на высоте 10 м, м/с.

Для большей части ЕТР (кроме восточных и юго-восточных районов, где плотность снега равна $0,25 \text{ т}/\text{м}^3$) коэффициент пропорциональности C принимается равным $0,00031$, для районов Сибири, востока и юго-востока ЕТР — $0,00026$.

Количество переносимого снега W ($\text{м}^3/\text{м}$) за время действия t метелевого ветра определенного направления вычисляется по формуле:

$$W = i \cdot t. \quad (6.2)$$

Расчет снегопереноса по метеорологическим данным

Для вычисления объемов снегопереноса из метеорологических ежемесячников необходимо произвести выборку случаев со следующими метеорологическими условиями:

— температура воздуха ниже 0°C ;

— скорость ветра на высоте флюгера (10 м) более 6 м/с;

— высота снежного покрова (по постоянной рейке) не менее 10 см.

Все случаи для конкретной метеорологической станции за каждый зимний сезон группируют по направлениям и скоростям ветра, и их количество заносится в таблицу (таблица 6.2). Случаи, приходящиеся на промежуточные румбы, делят примерно пополам и относят к соседним основным направлениям. Это упрощение облегчает последующие расчеты и не имеет практического значения для конечных результатов.

По данным таблицы повторяемости метелевых ветров в зависимости от скорости ветра на высоте флюгера по формулам (6.1) и (6.2) рассчитывают объемы переноса снега за каждую зиму по всем основным направлениям ветра. Продолжительность случая метелевого ветра определяется как 3 часа при восьмисрочных наблюдениях. В случае использования для расчетов четырехсрочных

наблюдений продолжительность каждого случая принимается равной 6 часам.

Таблица 6.2

Повторяемость метелевых ветров по направлениям и скоростям

Скорость ветра, м/с	Направление ветра							
	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
<i>1985—1986 гг.</i>								
6	2	1	3	4	3	1	1	0
7	2	0	1	1	1	1	0	0
8	0	0	0	1	1	1	0	0
9	1	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	1	0	0
сумма	5	1	4	6	5	4	1	0
<i>1986—1987 гг.</i>								
6	1	0	1	3	1	3	0	2
7	0	1	1	1	2	4	2	0
сумма

Пример расчета объема переноса снега за зимний сезон 1985—1986 гг. при ветре восточного направления со скоростью 6 м/с (выделенная ячейка таблицы 6.2):

продолжительность случая метелевого ветра: $t = 3$ (случай восьмисрочных наблюдений),

коэффициент пропорциональности: $C = 0,00031$,

скорость ветра: $V = 6$ м/с,

количество случаев: 3.

В результате получаем объем переносимого снега $W = 0,60$ м³/м (выделенная ячейка таблицы 6.3).

Если на метеостанции имеются многолетние данные (не менее чем за 10 лет) по плотности снежных отложений в предвесенний (февральский) период, и их средние значения не совпадают с принятыми значениями коэффициента пропорциональности (С), в расчеты вводится поправка на фактическую плотность снега. Для

этого рассчитанные значения снеготранспорта умножаются на коэффициент, равный отношению плотности снега, принятого для коэффициента С, к средней плотности по данным метеостанции.

Таблица 6.3

Объемы переноса снега W ($\text{м}^3/\text{м}$) за зимние сезоны по основным направлениям ветра

Скорость ветра, м/с	Направление ветра							
	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
	<i>1985—1986 гг.</i>							
6	0,40	0,20	0,60	0,80	0,60	0,20	0,20	0
7	0,64	0	0,32	0,32	0,32	0,32	0	0
8	0	0	0	0,48	0,48	0,48	0	0
9	0,68	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0,93	0	0
11								
12								
...								
Итого (ΣW)	1,72	0,20	0,92	1,60	1,40	1,93	0,20	0,00
	<i>1986—1987 гг.</i>							
6	0,20	0	0,20	0,60	0,20	0,60	0	0,40
7	0	0,32	0,32	0,32	0,64	1,28	0,64	0
...								
Итого (ΣW)	0,68	1,00	0,52	0,92	2,25	4,71	1,79	0,40

6.2.2 Снегопринос

Расчетные объемы снеготранспорта по направлениям ветра за каждый сезон ΣW определяются суммированием снеготранспорта (W) при всех скоростях метелевого ветра данного направления.

Они служат основой для вычисления объемов снеготранспорта с каждой стороны участка автомобильной дороги, которые представляют собой геометрическую сумму расчетных объемов снеготранспорта по всем румбам, относящихся к определенной стороне

дороги данного направления.

Для участка дороги с направлением С—Ю объем снегоприноса с левой стороны дороги выражается уравнением

$$\sum W_{C-Ю(л)} = W_{CЗ} \cdot \sin \alpha_1 + W_З \cdot \sin \alpha_2 + W_{ЮЗ} \cdot \sin \alpha_1, \quad (6.3)$$

с правой —

$$\sum W_{C-Ю(п)} = W_{ЮВ} \cdot \sin \alpha_1 + W_В \cdot \sin \alpha_2 + W_{СВ} \cdot \sin \alpha_1, \quad (6.4)$$

где α — угол подхода метелевых ветров к линии автомобильной дороги.

Практически итоговые объемы переноса снега по направлениям ветра, указанные в таблице 6.3, умножаются на коэффициенты, равные величине синуса угла α .

Полученные результаты суммируются отдельно с левой и правой стороны дороги. При изменении направления дороги на обратное, левая и правая стороны дороги меняются местами (таблицы 6.4 и 6.5).

Таблица 6.4

Суммарные годовые объемы переноса снега W (m^3) за зимние сезоны по основным направлениям ветра

Период	Направления ветра							
	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
1985—1986	1,72	0,20	0,92	1,60	1,40	1,93	0,20	0
1986—1987	0,68	1,00	0,52	0,92	2,25	4,71	1,79	0,40
...

Таблица 6.5

Расчет объемов годового снегоприноса за зимние сезоны с левой и правой сторон дороги при различном ее направлении

Год	Направление дороги			
	С—Ю		В—З	
	Сторона снегоприноса			
	левая	правая	левая	правая
1985—1986	2,2	1,6	3,9	1,9
1986—1987	1,9	5,4	6,2	1,7
.....				

Расчеты объемов снегоприноса рекомендуется выполнять только для тех направлений дороги, на которых будут производиться изыскания с целью разработки проекта мероприятий (по каждой зиме отдельно).

Пример расчета годового объема снегоприноса по направлениям дороги по данным таблицы 6.4 ($\sin 45^\circ = 0,71$), ($\sin 90^\circ = 1$).

Направление дороги С—Ю

с левой стороны:

$$\Sigma W_{\text{СЮ(л)}} = W_{\text{СВ}} \cdot \sin 45^\circ + W_{\text{В}} \cdot \sin 90^\circ + W_{\text{ЮВ}} \cdot \sin 45^\circ \\ 2,2 = 0,20 \cdot 0,71 + 0,92 + 1,60 \cdot 0,71;$$

с правой стороны:

$$\Sigma W_{\text{СЮ(п)}} = W_{\text{ЮЗ}} \cdot \sin 45^\circ + W_{\text{З}} \cdot \sin 90^\circ + W_{\text{СЗ}} \cdot \sin 45^\circ \\ 1,6 = 1,93 \cdot 0,71 + 0,20 + 0 \cdot 0,71;$$

Направление дороги В—З

с левой стороны:

$$\Sigma W_{\text{ВЗ(л)}} = W_{\text{ЮВ}} \cdot \sin 45^\circ + W_{\text{Ю}} \cdot \sin 90^\circ + W_{\text{ЮЗ}} \cdot \sin 45^\circ \\ 3,9 = 1,60 \cdot 0,71 + 1,40 + 1,93 \cdot 0,71;$$

с правой стороны:

$$\Sigma W_{\text{ВЗ(п)}} = W_{\text{СВ}} \cdot \sin 45^\circ + W_{\text{С}} \cdot \sin 90^\circ + W_{\text{СЗ}} \cdot \sin 45^\circ \\ 1,9 = 0,20 \cdot 0,71 + 1,72 + 0 \cdot 0,71.$$

6.2.3. Определение расчетного объема снегоприноса к автомобильной дороге

Наиболее долговечным, надежным и вместе с тем самым экономичным средством защиты автомобильных дорог от снежных заносов являются снегозащитные лесные полосы, которые способны задерживать более 50 % объема снега, приносимого к дороге.

Снегозаносимость автомобильных дорог зависит от погодно-климатических факторов.

Метелевый режим в районе прохождения автомобильной дороги определяется

- количеством метелей при различных направлениях ветра,
- продолжительностью метелей по румбам,

- интенсивностью метелей,
- объемом снегопереноса по румбам и суммарным за год,
- объемом снегоприноса к автомобильным дорогам различного направления.

Исходными данными для расчета объемов снегоприноса к дороге являются наблюдения на метеорологической сети Росгидромета. Учитываются метели, наблюдавшиеся при отрицательной температуре воздуха. Данные о метелевом режиме выбираются за период не менее 20 лет.

Снегозадерживающие лесонасаждения вдоль автомобильных дорог принято рассчитывать на задержание объемов переносимого снега заданной обеспеченности. Объем снегоприноса к автомобильной дороге вычисляется по формуле (6.2) за каждый год выбранного периода. Обработка полученных значений производится на основе методов математической статистики, используемых в гидрологических расчетах. Расчетные объемы снегоприноса к автомобильным дорогам различного направления слева и справа для каждого года наблюдения ранжируют в нисходящий ряд (располагают в убывающем порядке). Для каждого члена ряда определяется ежегодная эмпирическая вероятность превышения по известной формуле:

$$P_m = \frac{m}{n + 1}, \quad (6.5)$$

где m — порядковый номер члена ряда; n — количество членов ряда (количество лет наблюдений).

По полученным данным строится кривая распределения вероятностей для расчетных объемов снегоприноса. Для сглаживания эмпирических данных рекомендуется применять трехпараметрическое гамма-распределение, параметрами которого являются среднее многолетнее значение расчетной величины, коэффициент вариации, отношение коэффициента асимметрии к коэффициенту вариации.

Однако следует отметить, что трехпараметрическое гамма-распределение имеет ряд существенных недостатков, таких как отсутствие верхнего предела и наличие ограниченного нижнего

предела коэффициента вариации.

В настоящее время в УГМС накоплен достаточно большой массив данных многолетних метеорологических наблюдений, и автоматизация процесса выбора метеоусловий с заданными параметрами позволяет получать длинные ряды этой характеристики.

Наличие многолетнего ряда дает возможность упростить процесс определения значений объемов снегоприноса редкой повторяемости, используя для этого первое предельное распределение — распределение Гумбеля.

Задача расчетов сводится к определению вероятности превышения объемов снегоприноса (P %), которую нужно принимать в расчет при проектировании насаждений, чтобы обеспечить наиболее выгодное в экономическом отношении решение.

Методика определения расчетного снегоприноса заданной обеспеченности подробно изложена в [18, 19], где приведен пример определения расчетных объемов снегоприноса с использованием программы «Метели», а также в [35].

6.3. Определение высоты слоя свежавыпавшего снега по данным осадкомеров

Наблюдения за высотой свежавыпавшего снега не входят в программу стандартных метеорологических наблюдений, хотя потребность в этой информации постоянно увеличивается со стороны целого ряда организаций.

Определение высоты свежавыпавшего снега крайне важно для организаций, занимающихся обеспечением дорожного движения, транспортных компаний, коммунальных служб, специалистов, занимающихся уборкой и доставкой снега на снегоприемные и снегоплавильные пункты с целью его утилизации, и других потребителей.

При отсутствии наблюдений высота свежавыпавшего снега может быть косвенно определена по его плотности [10]:

$$H_{s,f} = p_s \cdot \rho_w / \rho_{s,f}, \quad (6.6)$$

где $H_{s,f}$ — высота свежеснегавпавшего снега (см); p_s — сумма осадков (мм); ρ_w — плотность воды (1000 кг/м^3); $\rho_{s,f}$ — плотность свежеснегавпавшего снега (кг/м^3).

Различные способы определения плотности свежеснегавпавшего снега в зависимости от температуры приземного воздуха подробно рассмотрены в [10].

Учитывая потребность различных организаций Санкт-Петербурга в данных о высоте свежеснегавпавшего снега, Северо-Западным УГМС в 1985 г. на станции Санкт-Петербург были организованы в сроки 06 и 18 ВСВ прямые измерения высоты свежеснегавпавшего снега (см) с использованием специальных планшетов, установленных на метеоплощадке, при помощи градуированной линейки. Позднее (в 1997—1998 гг.) указанные измерения были организованы на всех метеорологических станциях Ленинградской области.

В результате были получены уникальные ряды прямых измерений высоты свежеснегавпавшего снега (см), что позволило ГГО совместно со специалистами Санкт-Петербургского ГМЦ разработать методику определения высоты слоя свежеснегавпавшего снега по данным осадкомеров на основе полученных коэффициентов пересчета количества осадков в мм к высоте слоя снега в см.

В основу методики положена зависимость между количеством атмосферных осадков, измеренных осадкомером, выраженных в толщине водного слоя (мм), и соответствующей высотой слоя свежеснегавпавшего снега (см) при различной температуре воздуха во время снегопадов.

Для получения коэффициентов пересчета количества осадков в мм в высоту слоя снега в см из ряда параллельных наблюдений 1985—2014 гг. по станции Санкт-Петербург выбирались следующие характеристики:

- измеренная с помощью специального планшета высота (в см) свежеснегавпавшего снега;
- количество осадков, измеренных осадкомером Третьякова, выраженных в водном эквиваленте (мм);
- средняя температура воздуха в период выпадения осадков, °С;
- средняя скорость ветра в период выпадения осадков, м/с;

— время выпадения осадков и их вид.

Данные о высоте свежеснегавпавшего снега тщательно анализировались через его плотность (кг/м³). Из исходного массива исключались случаи, когда расчетные значения плотности свежеснегавпавшего снега оказывались менее 30 или 300 и более кг/м³. Выбор таких граничных условий основывался на анализе большого числа исследований в этой области [6, 10, 41].

По данным откорректированных рядов наблюдений о высоте свежеснегавпавшего снега ($H_{см}$) и количестве твердых осадков, измеренных осадкомером Третьякова ($R_{мм}$), для каждого случая выпадения снега рассчитывалось отношение $H_{см}/R_{мм}$, затем все отношения $H_{см}/R_{мм}$ группировались в зависимости от средней за снегопад приземной температуры воздуха, и для каждой градации температуры рассчитывалось среднее значение $H_{см}/R_{мм}$, среднее квадратическое отклонение и средняя квадратическая ошибка рассчитанного среднего значения (таблица 6.6).

Таблица 6.6

Статистические характеристики отношения $H_{см}/R_{мм}$ при разной температуре воздуха, осредненной за период снегопада

Температура, °C	≤ -20,0	-20,0...-19,0	-19,0...-18,0	-18,0...-17,0	-17,0...-16,0	-16,0...-15,0	-15,0...-14,0	-14,0...-13,0	-13,0...-12,0	-12,0...-11,0	-11,0...-10,0	-10,0...-9,0
Число случаев	9	5	8	12	10	28	29	34	36	48	71	91
$H_{см}/R_{мм}$	2,1	2,1	2,0	2,0	2,0	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,8	1,8
σ	0,8	0,7	0,6	0,6	0,6	0,7	0,6	0,5	0,6	0,5	0,7	0,6
(σ/\sqrt{n})	0,27	0,31	0,20	0,17	0,19	0,14	0,12	0,09	0,09	0,08	0,08	0,07
(σ/\sqrt{n}) %	13	15	10	9	10	7	6	5	5	4	4	4

Температура, °C	-9,0...-8,0	-8,0...-7,0	-7,0...-6,0	-6,0...-5,0	-5,0...-4,0	-4,0...-3,0	-3,0...-2,0	-2,0...-1,0	-1,0...0,0	0,0...1,0	1,0...2,0	≥ 2,0
Число случаев	76	97	103	148	143	184	186	200	232	224	52	7
$H_{см}/R_{мм}$	1,8	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1	1,0	0,9	0,7	0,6
σ	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
(σ/\sqrt{n})	0,07	0,06	0,06	0,04	0,04	0,03	0,02	0,18	0,01	0,01	0,02	0,08
(σ/\sqrt{n}) %	4	4	4	3	3	2	2	2	1	1	3	13

Как видно из таблицы, в интервале температур от 1,5 до $-14,0$ °C ошибка среднего значения $H_{см}/R_{мм}$ не превышает 5 %. При температурах выше $+2,0$ и ниже $-16,0$ °C, когда резко уменьшается число снегопадов, ошибка возрастает в два – три раза.

Наиболее четко зависимость отношения $H_{см}/R_{мм}$ от температуры проявляется в интервале от $+1,5$ до $-12,0$ °C. При этих условиях в регионе Санкт-Петербурга и пригородов отмечается более 90 % снегопадов. При более низких температурах отношение $H_{см}/R_{мм}$ остается практически постоянным.

В результате проведенного анализа было принято решение принять средние значения отношения $H_{см}/R_{мм}$ в качестве коэффициента перехода от количества осадков ($R_{мм}$) к высоте слоя свежеснегавшего снега ($H_{см}$) с точностью, указанной в таблице б.б:

$$K_{ср} = \frac{H_{см}}{R_{мм}}. \quad (6.7)$$

Зависимость значений $K_{ср}$ от средней за снегопад приземной температуры воздуха может быть выражена следующим уравнением:

$$K_{ср} = -0,002 t^2 - 0,113t + 0,937. \quad (6.8)$$

Графически эта зависимость представлена на рисунке б.1.

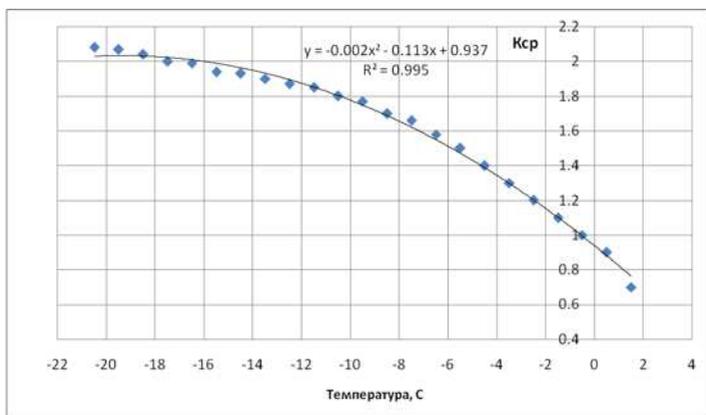


Рисунок 6.1. Зависимость величины коэффициента $K_{cp} = \frac{H_{см}}{R_{мм}}$ от средней температуры воздуха в период выпадения снега.

Алгоритм расчета высоты свежеснегавшего снега

При оперативной оценке высоты свежеснегавшего снега необходимо определить:

- среднюю за период выпадения твердых осадков (снег, мокрый снег) температуру воздуха ($T_{ср}$ °С);
- сумму твердых осадков, выраженную в водном эквиваленте ($R_{тв.ос}$ мм);
- средний коэффициент ($K_{ср}$) перехода от водного эквивалента твердых осадков в мм к высоте слоя свежеснегавшего снега ($H_{расч}$) в см по таблице 6.6 или по формуле (6.7).

Выполнить расчет по формуле:

$$H_{расч} \text{ см} = R_{тв.ос} \text{ мм} \cdot K_{ср} \cdot \quad (6.9)$$

Все характеристики рассчитываются за периоды выпадения твердых осадков внутри полусуточных интервалов: ночь — с 18 до 06 ч, день — с 06 до 18 ч (ВСВ).

Точность расчетов высоты слоя свежеснегавпавшего снега с использованием разработанной методики оценивалась по разности между рассчитанной и фактической высотой слоя свежеснегавпавшего снега $\Delta = (H_{\text{расч.}} - H_{\text{факт.}})$ при конкретных снегопадах за полусуточные интервалы времени по данным станций Санкт-Петербург, Ломоносов и Кронштадт.

Как показало сравнение, рассчитанная высота свежеснегавпавшего снега хорошо согласуется с фактически наблюдаемой: средняя абсолютная величина отклонения на всех трех станциях не превышает 0,8 см, средняя квадратическая ошибка находится в интервале 0,8—1,1.

Несмотря на то, что разработанная Методика характеризуется как региональная, в качестве примера апробации ее в других регионах было выполнено сравнение аналогичных расчетных оценок с данными специальных учащенных снегомерных съемок, которые проводились в районе поселка Красная Поляна (метеостанция Горная Карусель) в рамках подготовки к Олимпийским играм 2014 года (фактические данные заимствованы из [10]).

Результаты сравнения показали, что Методика, предложенная ГГО, дает лучшее соответствие рассчитанных и измеренных значений по сравнению с результатами расчетов определения высоты свежеснегавпавшего снега по постоянной плотности снега 100 кг/м^3 и по плотности, рассчитанной по алгоритмам, используемым в [10]. Это подтверждается наименьшими значениями как средних отклонений, так и средних квадратических. Подробно результаты тестирования методики изложены в [22].

Косвенный метод определения высоты свежеснегавпавшего снега по измерениям количества осадков осадкомером предложен впервые. Он наиболее эффективен для расчета высоты свежеснегавпавшего снега во время снегопадов в интервале температур от 1,5 до $-13,0 \text{ }^\circ\text{C}$ при скоростях ветра менее 5 м/с.

Важно отметить, что в предложенном методе косвенного определения высоты свежеснегавпавшего снега не прослеживается систематической ошибки.

Методику можно использовать только в случаях выпадения твердых осадков (снега и мокрого снега). Если во время выпадения твердых осадков даже кратковременно отмечались жидкие или смешанные осадки, а также сразу после предшествующей снегопаду интенсивной оттепели, когда на поверхности имеются лужи, расчеты не имеют смысла. Этому условия необходимо строго придерживаться.

Данная Методика рекомендована для внедрения в работу ФГБУ «Северо-Западное УГМС» и ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» решением Центральной методической комиссии по гидрометеорологическим и гелиогеофизическим прогнозам от 11 октября 2016 года.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алексеев М. И., Курганов А. М.* (2000). Организация отведения поверхностного (дождевого и талого) стока с урбанизированных территорий. — М.: АСВ; СПб: Изд. СПбГАСУ. 352 с.
2. *Бартенева О. Д., Полякова Е. А.* (1966). Световой эквивалент радиации // *Метеорология и гидрология.* № 2. С. 19—22.
3. *Бартенева О. Д., Полякова Е. А., Русин Н. П.* (1971). Режим естественной освещенности на территории СССР. — Л.: Гидрометеиздат. 238 с.
4. *Богданова Э. Г.* (1975). Методы расчета сумм осадков, проходящих через вертикальное сечение // *Труды ГГО.* Вып. 341. С. 79—86.
5. *Богданова Э. Г.* (1976). Способ расчета доли твердых, жидких и смешанных осадков в их месячной норме // *Материалы гляциологических исследований.* Вып. 26. С. 202—207.
6. *Войтковский К. Ф.* (1977). Механические свойства снега. — М.: Наука. 126 с.
7. *Зиновьева Н. А., Пигольцина Г. Б.* (2009). Систематизация метеорологических станций по условиям местоположения с помощью метода кластерного анализа // *Труды ГГО.* Вып. 561. С. 145—153.
8. *Иванова Е. В.* (2010). Расчет «профиля дождя» для проектирования систем водоотведения // *Труды ГГО.* Вып. 562. С. 118—127.
9. *Иванова Е. В., Ницис В. Э.* (2011). Специализированные характеристики интенсивности осадков, применяемые в ЕС для проектирования систем отведения дождевых вод // *Труды ГГО.* Вып. 564. С. 196—204.
10. *Казакова Е. В., Чумаков М. М., Розочкина И. А.* (2013). Алгоритм расчета высоты свежевыпавшего снега, предназначенный для постпроцессинга систем атмосферного моделирования (на примере COSMO) // *Труды ГМЦ России.* Вып. 350. С. 195—212.
11. *Кобышева Н. В., Гольберг М. А.* (1990). Методические указания по статистической обработке метеорологических рядов. — Л.: Гидрометеиздат. 83 с.
12. *Мельник Д. М.* (1952). О законах переноса снега и их использование в снегоборьбе // *Техника железных дорог.* № 11. С. 16—21.

13. Мельник Д. М. (1966). Предупреждение снежных заносов на железных дорогах // Труды ЦНИИ МПС. Вып. 313.

14. Методическое пособие. Рекомендации по расчету систем сбора, отведения и очистки поверхностного стока с селитебных территорий, площадок предприятий и определению условий выпуска его в водные объекты (2006) / Дата актуализации 01.02.2017 г. — М.: ФГУП «НИИ ВОДГЕО». 60 с.

15. Микроклимат СССР (1967) / Под ред. И. А. Гольцберг. — Л.: Гидрометеиздат. 285 с.

16. Научно-прикладной справочник по климату СССР (1990). Серия 3. Части 1—7. Вып. 1—34. — Л.: Гидрометеиздат.

17. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам (1997). Вып. 5. Актинометрические наблюдения. Ч. 1. Актинометрические наблюдения на станциях. РД 52.04562-96. — М.: Изд. Росгидромета. 222 с.

18. ОДМ 218.5.001-2008. Методические рекомендации по защите и очистке автомобильных дорог от снега (2008) / Утверждены распоряжением Росавтодора от 01.02.2008 № 44-р. — М. 116 с.

19. ОДМ 218.2.045-2014. Рекомендации по проектированию лесных снегозадерживающих насаждений вдоль автомобильных дорог (2014) / Утверждены распоряжением Росавтодора от 24.12.2014 № 2629-р. — М. 54 с.

20. Пивоварова З. И. (1973). Характеристика радиационного режима на территории СССР применительно к запросам строительства // Труды ГГО. Вып. 321. 128 с.

21. Псаломщикова Л. М., Салль И. А., Стадник В. В., Трофимова О. В. (2008). Использование метеорологической информации в целях содержания автомобильных дорог в зимний период // Труды ГГО. Вып. 557. С. 85—101.

22. Псаломщикова Л. М., Стадник В. В., Акентьева Е. М., Задворных В. А., Фасолько Д. В. (2017). Определение высоты слоя свежевывавшего снега по данным осадкомеров // Труды ГГО. Вып. 584. С. 94—112.

23. Расчет и проектирование ограждающих конструкций зданий (1990) / НИИ строит. физики. Справочное пособие к СНиП II-3-79. — М.: Стройиздат. 87 с.

24. Руководство по специализированному климатическому обслуживанию экономики (2008) / Под ред. д-ра геогр. наук, проф.

Н. В. Кобышевой. — СПб: Астерион. 336 с. Эл. адрес: <http://voeikovmgo.ru/download/publikacii/2008/Rukovodstvo.pdf>.

25. Самодурова Т. В. (2003). Метеорологическое обеспечение зимнего содержания автомобильных дорог. Ассоциация «Радор». — М.: ТИМР. 183 с.

26. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1076-01. Гигиенические требования к инсоляции и солнцезащите помещений жилых и общественных зданий.

27. СНиП II-3-79*. Строительная теплотехника.

28. СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение.

29. СП 52 13330 2011. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*.

30. СП 131.13330.2012. Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99*.

31. СП 22.13330.2011. Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83*.

32. СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*.

33. СП 32.13330.2012. Канализация. Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.04.03-85.

34. СТО 56947007-29.240.057-2010. Методические указания по определению климатических нагрузок на ВЛ с учетом ее длины (2010) / Введены 2010-09-08. — М. 100 с.

35. СТО-АВТОДОР 2.23-2015. Рекомендации по проектированию и применению снегозадерживающих устройств на автомобильных дорогах государственной компании «Автодор» (2015). — М. 27 с.

36. Строительные нормы и правила СНиП 2.07.01-89*. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений.

37. Хлебникова Е. И., Саль И. А. (1989). Об оценке характеристик выбросов гауссовских метеорологических полей и их чувствительности // Труды ГГО. Вып. 525. С. 44—51.

38. Шиловцева О. А. (2005). Развернутый научный отчет. Проект РФФИ № 05-0564696 «Климатические ресурсы солнечной радиации и естественной освещенности и методы их оценки».

39. Шиловцева О. А. (2013). Световые ресурсы Москвы // Альтернативная энергетика и экология. Вып. 6 (128). Ч. 2. С. 65—73.

40. Шихов А. Н., Шихов Д. А. (2013). Архитектурная и строительная физика. — Пермь: ФГБОУ ВПО Пермская ГСХА. 375 с.

41. Meister R. (1986). Density of new snow and its dependence on air temperature and wind. Correction of precipitation measurement // Zurcher Geographische Schriften. Heft 23. P. 73—79.

Реестр

основных задач пользователей и климатическая информация для строительной отрасли экономики

Задачи пользователей	Климатические показатели	Нормативные и литературные источники получения информации
Изыскания. Выбор места размещения площадки строительства	Климатические районы строительства Продолжительность периодов с температурой воздуха выше и ниже заданных значений, дни Даты перехода средней суточной температуры воздуха через заданные значения Даты появления, установления, разрушения и схода снежного покрова Продолжительность теплого и холодного периодов, дни Нормативная глубина сезонного промерзания грунта, м Максимальная толщина стенки гололеда, мм Расчетный суточный максимум осадков, мм Распределение скоростей, направлений ветра и расчетные	СП 131.13330.2012 «СНиП 23-01-99* Строительная климатология» СП 22.13330.2011 «СНиП 2.02.01-83* Основания зданий и сооружений» СП 20.13330.2011 «СНиП 2.01.07-85* Нагрузки и воздействия» СП 18.13330.2011 «СНиП II-89-80* «Генеральные планы промышленных предприятий» Научно-прикладной справочник «Климат России» 2014 г. (электронная версия) Руководство по специализированному климатологическому обслуживанию экономики (2008) / под ред. Н. В. Кобышевой. СПб

Задачи пользователей	Климатические показатели	Нормативные и литературные источники получения информации
	<p>скорости ветра (м/с) на уровне земной поверхности и на высотах</p>	<p>СП 11-103-97 «Инженерно-гидрометеорологические изыскания для строительства»</p>
<p>Принятие архитектурно-планировочных решений. Облученность здания. Оценка теплового эффекта</p>	<p>Климатические районы строительства Продолжительность инсоляции, ч Время начала и конца облучения Количество солнечной радиации, поступающей на стены зданий различной ориентации, МДж/м² Поглощенная радиация в теплый период года, МДж/м²</p>	<p>СП 131.13330.2012 «СНиП 23-01-99* Строительная климатология»</p> <p>Маркус Т. А., Моррис Э. Н. Здания, климат и энергия, пер. с англ., под ред. Н. В. Кобышевой и Е. Г. Малявиной, 1985, Гидрометеиздат, 542 с.</p> <p>СП 31-107-2004 «Архитектурно-планировочные решения многоквартирных жилых зданий»</p> <p>СНиП 23-05-95 «Естественная и искусственная освещенность»</p>
<p>Принятие архитектурно-планировочных решений. Глубина заложения фундаментов отапливаемых сооружений</p>	<p>Расчетная глубина сезонного промерзания грунта: $d_f = k_h d_m$, где d_m – нормативная глубина сезонного промерзания грунта, м k_h – коэффициент, учитывающий влияние теплового режима сооружения, принимаемый для наружных фундаментов</p>	<p>СП 22.13330.2011 «СНиП 2.02.01-83* Основания зданий и сооружений»</p> <p>СП 131.13330.2012 «СНиП 23-01-99* Строительная климатология»</p> <p>Научно-прикладной справочник «Климат России». 2014 г. (электронная версия)</p>

Задачи пользователей	Климатические показатели	Нормативные и литературные источники получения информации
	отапливаемых сооружений – по табл. 5.2 СП.22	СП 25.13330.2012 «СНиП 2.02.04-88 Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах»
<p>Принятие архитектурно-планировочных решений. Оценка трансформации ветрового режима в застройке и расположение ветровых зон в застройке</p>	<p>Распределение ветровых зон в застройке Коэффициенты трансформации в зависимости от геометрических параметров застройки Поправки к коэффициентам трансформации на «вытянутость–сжатость» застройки и на направление потока</p>	<p>Серебровский Ф. П. Аэрация населенных мест. М., Стройиздат, 1985, 167 с.</p> <p>СП 31-107-2004 «Архитектурно-планировочные решения многоквартирных жилых зданий»</p>
<p>Принятие архитектурно-планировочных решений. Предотвращение преждевременного разрушения конструкций отделки зданий и помещений. Разработка мероприятий по защите зданий от «косых дождей»</p>	<p>Среднее и максимальное количество «косого дождя» за один дождь – H_b, $H_{сmax}$, мм Среднее количество «косого дождя» по направлениям ветра (роза «косых дождей»), мм Расчетный угол траектории падения дождя (дождевых капель), соответствующий повторяемости максимального дождя, возможного один раз в 20 лет γ $H_b < 50$ мм $50 \leq H_b < 80$ мм</p>	<p>Руководство по специализированному климатологическому обслуживанию экономики / под ред. Н. В. Кобышевой, СПб, 2008</p> <p>ГОСТ Р 53613-2009 (МЭК 60721-2-2:1988) Воздействие природных внешних условий на технические изделия. Общая характеристика. Осадки и ветер</p>

Задачи пользователей	Климатические показатели	Нормативные и литературные источники получения информации
	$80 \leq H_b < 100$ мм $H_b \geq 100$ мм	
<p>Конкретное проектирование. Тепловой режим зданий. Проектирование теплозащиты для обеспечения комфортных условий внутри помещений, энергосбережения ресурсов (по зимнему периоду)</p> <p>Проверка выбранной теплозащиты по летнему периоду</p>	<p>Для холодного периода: – температура воздуха наиболее холодных суток и наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 92 и 98 %, °С – абсолютная минимальная температура воздуха, °С – средняя сумма градусодней зимнего периода, °С сут – средняя и максимальная суточная амплитуда температуры воздуха наиболее холодного месяца, °С – коэффициент теплоотдачи для зимних условий, Вт/м² °С – максимальная из средних скоростей ветра по румбам за январь, повторяемость которых составляет 16 % и более, м/с</p> <p>Для теплого периода: – температура воздуха наиболее жарких суток и наиболее жаркой пятидневки обеспеченностью 92 и 98%, °С</p>	<p>СП 131.13330.2012. СНиП 23-01-99* «Строительная климатология»</p> <p>СНиП II-В.6-62 «Ограждающие конструкции» П.1.6. Долговечность ограждающих конструкций</p> <p>СП 50.13330.2012. СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий»</p> <p>Малявина Е. Г. Теплопотери здания. Справочное пособие. М., АВОК-ПРЕСС, 2007</p>

Задачи пользователей	Климатические показатели	Нормативные и литературные источники получения информации
	<ul style="list-style-type: none"> – абсолютный максимум температуры воздуха, °С – средняя сумма градусодней теплого периода, °С сут – средняя и максимальная суточная амплитуда температуры воздуха, °С – часовые суммы прямой и рассеянной радиации при ясном небе по часовым интервалам и за сутки на вертикальную поверхность различной ориентации (южной, юго-восточной, юго-западной, восточной), ккал/м²·ч – средняя упругость водяного пара для теплого периода, гПа 	<p>СНиП 2.01.01-82 Строительная климатология и геофизика</p> <p>СП 131.13330.2012. СНиП 23-01-99* «Строительная климатология»</p>
<p>Учет теплопотерь и теплопоступлений через ограждающие конструкции</p>	<p>Средняя сумма градусодней за год, °С сут/год</p> <p>Эффективная температура, °С</p> <p>Удельные годовые теплопотери, Вт/м² год</p>	<p>Савин В. К. Энергоэкономика, М., Лазурь, 2011</p> <p>Анапольская Л. Е., Гандин Л. С. Метеорологические факторы теплового режима зданий, Л., Гидрометеиздат, 1973</p> <p>Малявина Е. Г. Теплопотери здания. Справочное пособие. М., АВОК-ПРЕСС, 2007</p> <p>СП 50. 13330.2012. СНиП 23-02-2003</p>

Задачи пользователей	Климатические показатели	Нормативные и литературные источники получения информации
	отопительного периода (ОП), дни Средняя температура воздуха (ОП) °С	Справочное пособие. М., АВОК-ПРЕСС, 2007 Научно-прикладной справочник «Климат России», 2014 (электронная версия)
Энергетика зданий. Определение необходимой продолжительности охлаждения зданий	Период кондиционирования с энтальпией > 40 кДж Параметры А и В, каждый из которых включает расчетную температуру, соответствующую ей энтальпию и скорость ветра	Лысев В. И. Инженерные системы зданий и сооружений. СПб, 2015 ГОСТ 30494-96 «Здания жилые и общественные» СНиП 2.01.01-82 Строительная климатология и геофизика СП 60.13330.2012 «СНиП 41-01-2003. Отопление, вентиляция, кондиционирование»
Энергетика зданий. Принятие энергосберегающего режима работы кондиционера	Средняя суточная амплитуда температуры воздуха наиболее теплого месяца, °С Температуры наиболее жарких суток, °С Параметры А и Б для теплого и холодного периодов, годовые расходы тепла, холода, воздуха и воды для трех интервалов времени за сроки (трех рабочих смен)	Рымкевич А. А. Системный анализ оптимизации общеобменной вентиляции и кондиционирования воздуха, Сиб.АВОК, 2003, 272 с. СП 131.13330.2012. СНиП 23-01-99* «Строительная климатология» СНиП 2.01.01-82 Строительная климатология и геофизика

Задачи пользователей	Климатические показатели	Нормативные и литературные источники получения информации
		СП 60.13330.2012 «СНиП 41-01-2003. Отопление, вентиляция, кондиционирование»
Энергетика зданий. Проектирование системы вентиляции для зданий и сооружений всех назначений	Обеспеченность температуры воздуха за холодный период $P = 94 \%$, за теплый период $P = 95 \%$	Научно-прикладной справочник по климату СССР, серия 3, вып. 16, 1988 СП 131.13330.2012. СНиП 23-01-99* «Строительная климатология»
Расчет атмосферных нагрузок и воздействий для обеспечения безопасности зданий и сооружений. Кровли, типы покрытий	Сезонные максимумы запасов воды в снеге по данным снегосъемок на горизонтальную поверхности земли, мм Коэффициент пересчета запаса воды к поверхности кровли (снеговые нагрузки) Коэффициент, учитывающий наклон кровли	Научно-прикладной справочник «Климат России», 2014 (электронная версия) СП 20.13330.2011 «СНиП 2.01.07-85* Нагрузки и воздействия» ГОСТ Р ИСО 4355-2016 «Основы проектирования строительных конструкций. Определение снеговых нагрузок на покрытия» СП 17.13330.2011 «Кровли. Актуализированная редакция СНиП 11-26-76»
Обеспечение долговечности зданий Расчет нестационарных	Средняя месячная температура воздуха, °С Средняя суточная амплитуда	Кузнецов Е. П., Кобышева Н. В. и др. Качество теплоснабжения городов. СПб, ПЭИПК, 2004, 295 с.

Задачи пользователей	Климатические показатели	Нормативные и литературные источники получения информации
<p>температурных полей на зимне-весеннем и летне-осеннем периодах года. Влияние качества теплоснабжения на долговечность зданий и эффективность функционирования городов</p>	<p>колебаний температуры воздуха по месяцам года с периодом $P = 24$ ч, °С Средняя суточная температура воздуха по дням месяцев года, °С Темп b изменения среднемесячных температур 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</p>	<p>Метеорологические базы данных</p>

Задачи пользователей	Климатические показатели	Нормативные и литературные источники получения информации
	<p>ходу среднемесячных температур t см на зимне-весеннем периоде года</p> <p>Средняя календарная дата начала устойчивых периодических заморозков по отношению к годовому ходу среднемесячных температур t см на летне-осеннем периоде года</p>	
<p>Проектирование систем водоотведения</p>	<p>Расчет «профиля дождя»</p> <p>Суточный максимум осадков, мм</p> <p>Расход дождевых вод, л сек</p> <p>Коэффициент, характеризующий поверхность бассейна стока</p> <p>Расчетная площадь стока, га</p> <p>Расчетная продолжительность дождя, мин</p> <p>Интенсивность дождя продолжительностью 20 мин на 1 га данной местности при $T = 1$ год</p> <p>Среднее количество дождей за год</p>	<p>Руководство по специализированному климатологическому обслуживанию экономики / под ред. Н. В. Кобышевой, СПб, 2008</p> <p>СП 131.13330.2012. СНиП 23-01-99* «Строительная климатология»</p> <p>СП 32.13330.2012 «СНиП 2.04.03-85 Канализация. Наружные сети и сооружения»</p> <p>Научно-прикладной справочник «Климат России», 2014 (электронная версия)</p>

РЕЕСТР

основных задач пользователей и климатическая информация для транспортной отрасли экономики

Автомобильный транспорт

Задачи пользователей	Климатические показатели	Нормативные и литературные источники получения информации
<p>Определение направления трассы на стадии проектирования с учетом почвенно-климатических особенностей условий естественного проветривания и предотвращения снеготранспортируемости</p>	<p>Дорожно-климатическое районирование (ДКР) Повторяемость (%) направления и скоростей ветра 0–1 м/с Суточный ход повторяемости скоростей ветра 0–1 м/с Нормативная глубина сезонного промерзания грунта, м Число дней с сильным снегопадом, дни Число дней с сильными метелями, дни Высота снежного покрова, см Продолжительность метели, ч Средняя дата образования и разрушения устойчивого снежного покрова Средняя из наибольших высот</p>	<p>СП 34.13330.2012 «СНиП 2.05.02-85* Автомобильные дороги» Научно-прикладной справочник «Климат России», 2014 (электронная версия) СП 131.13330.2012 «СНиП 23-01-99* Строительная климатология» ОДМ 218.5.001-2008 «Методические рекомендации по защите и очистке автомобильных дорог от снега». М., РОСАВТОДОР, 2008. Отраслевой дорожный методический документ Справочная энциклопедия дорожника. Том V. Проектирование автомобильных дорог. Под ред. Г. А. Федотова, П. И. Поспелова, 2007, PDF.</p>

Задачи пользователей	Климатические показатели	Нормативные и литературные источники получения информации
	снежного покрова за зиму, см Преобладающее направление ветра в зимний период (декабрь–февраль) Объем снеготранспорта за зиму по основным направлениям ветра, м ³ /м Объем снеготранспорта, м ³ /м	
Проектирование высоты и ширины снеготранспорта насыпи	Количество осадков за ноябрь–март, мм Число дней с сильным снеготранспортом, дни Число дней с сильными метелями, дни Преобладающее направление ветра в зимний период (декабрь–февраль) Максимальная высота снежного покрова, возможная 1 раз в 10 и 20 лет, см Объем снеготранспорта за зиму по основным направлениям ветра, м ³ /м	Научно-прикладной справочник «Климат России», 2014 (электронная версия) Метеорологические ежемесячники СП 131.13330.2012 «СНиП 23-01-99* Строительная климатология» ОДМ 218.5.001-2008 «Методические рекомендации по защите и очистке автомобильных дорог от снега». М., РОСАВТОДОР, 2008. Отраслевой дорожный методический документ Методические рекомендации по определению климатических характеристик при проектировании автомобильных дорог и мостовых переходов, М., 1988

Задачи пользователей	Климатические показатели	Нормативные и литературные источники получения информации
		СП 20.13330.2011 «СНиП 2.01.07-85* Нагрузки и воздействия»
<p>Защита и очистка автомобильных дорог от снега. Определение объемов снегоуборки</p> <p>1. Планирование количества снегоуборочной техники</p> <p>2. Расчет затрат на снегоуборку</p>	<p>Даты наступления средних суточных температур воздуха выше (ниже) заданных значений</p> <p>Среднее число дней со снегопадом, дни</p> <p>Объем снеготранспорта за зиму по основным направлениям ветра, м³/м</p> <p>Повторяемость (%) случаев выпадения осадков более 20 мм за сутки в зимний период</p> <p>Средняя продолжительность метелей, ч</p> <p>Количество свежевыпавшего снега, мм</p> <p>Высота снежного покрова 5 % обеспеченности, см</p> <p>Объем снеготранспорта, м³/м</p> <p>Высота снежного покрова, см</p>	<p>Научно-прикладной справочник «Климат России», 2014 (электронная версия)</p> <p>ОДМ 218.5.001-2008 «Методические рекомендации по защите и очистке автомобильных дорог от снега». М., РОСАВТОДОР, 2008. Отраслевой дорожный методический документ</p> <p>Методика оперативного определения высоты слоя свежевыпавшего снега по данным метеорологических наблюдений (Методика ОПК, ФГБУ «ГГО»)</p> <p>Справочная энциклопедия дорожника. Том V. Проектирование автомобильных дорог. Под ред. Г. А. Федотова, П. И. Поспелова, 2007, PDF</p>
Проектирование дорожного полотна в районах с сезонно-	<p>Средняя годовая температура воздуха, °С</p> <p>Средняя месячная и годовая</p>	Научно-прикладной справочник «Климат России», 2014 (электронная версия)

Задачи пользователей	Климатические показатели	Нормативные и литературные источники получения информации
<p>Разработка общей стратегии зимнего содержания автомобильных дорог в различных климатических условиях.</p> <p>Планирование мероприятий по ликвидации зимней скользкости и снеговых отложений на автомобильных дорогах</p>	<p>Количество выпавших твердых осадков (снега и мокрого снега), мм</p> <p>Число снегопадов</p> <p>Продолжительность снегопада за холодный период при различных температурах воздуха, час</p> <p>Число опасных снегопадов (с количеством осадков ≥ 20 мм)</p> <p>Число дней с относительной влажностью воздуха более 65 %, дни</p> <p>Даты наступления средних суточных температур воздуха выше (ниже) заданных значений</p> <p>Атмосферные явления</p> <p>Число дней с гололедицей, дни</p> <p>Число дней с туманом, дни</p> <p>Число дней с возможными случаями образования зимней скользкости, т. е. число дней с выпадением снега с суточным</p>	<p>Научно-прикладной справочник «Климат России», 2014 (электронная версия)</p> <p>Метеорологические ежемесячники</p> <p>ОДМ Руководство по борьбе с зимней скользкостью на автомобильных дорогах. Минтранс России, М., Росавтодор, 2003, 72 с.</p> <p>Справочная энциклопедия дорожника. Том V. Проектирование автомобильных дорог. Под ред. Г. А. Федотова, П. И. Поспелова, 2007, PDF.</p> <p>Самодурова Т. В. Метеорологическое обеспечение зимнего содержания автомобильных дорог. Ассоциация «Радор». М., ТИМР, 2003, 181 с.</p>

Задачи пользователей	Климатические показатели	Нормативные и литературные источники получения информации
	<p>количеством более 1 см (от слабого снега до обильного снегопада), с гололедно-изморозевыми явлениями (мокрый снег, изморозь, ледяной дождь) при температуре воздуха ниже 0 °С. Средняя дата начала и средняя дата окончания, продолжительность периода зимней скользкости</p>	
<p>Определение наибольшего поперечного уклона проезжей части на виражах</p>	<p>Среднее число дней со снежным покровом, дни Средняя декадная высота снежного покрова, см Количество осадков за холодное полугодие (ноябрь–март), мм Количество осадков за теплое полугодие (апрель–октябрь), мм Число дней с гололедицей, дни</p>	<p>Научно-прикладной справочник «Климат России», 2014 (электронная версия)</p> <p>СП 131.13330.2012 «СНиП 23-01-99* Строительная климатология»</p> <p>Метеорологические ежемесячники</p>
<p>Проектирование однополосных велосипедных дорожек (с наветренной</p>	<p>Преобладающее направление ветра в летний период (июнь–август)</p>	<p>СП 131.13330.2012 «СНиП 23-01-99* Строительная климатология»</p>

Задачи пользователей	Климатические показатели	Нормативные и литературные источники получения информации
стороны от дороги)		
Расчет освещенности дороги	<p>Классификация районов РФ по ресурсам светового климата</p> <p>Суточный ход рассеянной и суммарной естественной освещенности горизонтальной поверхности, клк</p> <p>Высота солнца над горизонтом, градусы</p>	<p>Научно-прикладной справочник «Климат России», 2014 (электронная версия)</p> <p>СП 131.13330.2012 «СНиП 23-01-99* Строительная климатология»</p> <p>СП 52.13330.2011 «СНиП 23-05-95*Естественное и искусственное освещение»</p> <p>СП 34.13330.2012 «СНиП 2.05.02-85* Автомобильные дороги»</p>
Проектирование земполотна и дорожной одежды Выбор типа дорожной одежды	<p>Дорожно-климатическое районирование (ДКР)</p> <p>Общая характеристика климата (континентальный, умеренный)</p> <p>Классификация РФ в зависимости от климатических условий</p> <p>Средняя температура воздуха наиболее холодного и наиболее жаркого месяца с обеспеченностью 0,94, °С</p> <p>Повторяемость (%) дней с осадками различной интенсивности</p>	<p>СП 34.13330.2012 «СНиП 2.05.02-85* Автомобильные дороги»</p> <p>СП 131.13330.2012 «СНиП 23-01-99* Строительная климатология»</p> <p>Научно-прикладной справочник «Климат России», 2014 (электронная версия)</p> <p>Метеорологические ежемесячники</p> <p>РД 52.08.730-2010. Производство наблюдений над интенсивностью снеготаяния и водоотдачей из снежного покрова</p>

Задачи пользователей	Климатические показатели	Нормативные и литературные источники получения информации
	<p>Среднее число дней с твердыми, жидкими и смешанными осадками, дни</p> <p>Средняя и максимальная интенсивность снеготаяния, мм</p> <p>Среднее годовое количество осадков, мм</p> <p>Количество осадков за холодное полугодие (ноябрь–март), мм</p> <p>Количество осадков за теплое полугодие (апрель–октябрь), мм</p> <p>Повторяемость (%) периодов с температурой воздуха ниже -30°C и выше 30°C в течение 5 дней</p> <p>Повторяемость (%) дней с гололедицей</p> <p>Нормативная глубина сезонного промерзания грунта, м</p> <p>Абсолютный максимум температуры воздуха и абсолютный минимум температуры воздуха, $^{\circ}\text{C}$</p>	<p>СП 32.13330.2012 «СНиП 2.04.03-85 Канализация. Наружные сети и сооружения»</p> <p>ОДМ 218.046-01 «Проектирование нежестких дорожных одежд» Государственная служба дорожного хозяйства Министерства транспорта РФ, М., 2001. Отраслевые дорожные нормы</p>

Задачи пользователей	Климатические показатели	Нормативные и литературные источники получения информации
<p>Проектирование состава асфальтобетонных смесей в слоях дорожной одежды автомобильных дорог. Сдвигоустойчивость и трещиностойкость дорожной одежды</p>	<p>Дорожно-климатическое районирование (ДКР) Температура воздуха наиболее холодной пятидневки, °С обеспеченностью 0,98 Температура воздуха теплого периода года обеспеченностью 0,98, °С Абсолютная максимальная температура воздуха, °С Абсолютная минимальная температура воздуха, °С</p>	<p>СП 34.13330.2012 «СНиП 2.05.02-85* Автомобильные дороги» СП 131.13330.2012 «СНиП 23-01-99* Строительная климатология» Метеорологические ежемесячники Строительство и реконструкция автомобильных дорог. Справочная энциклопедия дорожника (т. I). Под ред. д-ра техн. наук, проф. А. П. Васильева. М., Информавтодор, 2004</p>
<p>Определение фактического состояния поверхности дороги. Районирование территории по условиям движения на дорогах</p>	<p>Даты наступления средних суточных температур воздуха выше (ниже) заданных значений Продолжительность периода со средней суточной температурой воздуха ниже 0 °С, от 0 до 15 °С, ниже 15 °С, выше 15 °С, сут.</p>	<p>СП 131.13330.2012 «СНиП 23-01-99* Строительная климатология» Метеорологические ежемесячники Ремонт и содержание автомобильных дорог. Справочная энциклопедия дорожника (том II). Под ред. проф. А. П. Васильева М., 2005, PDF 3</p>
<p>Планирование схем транспортных перевозок и дорожно-ремонтных</p>	<p>Дорожно-климатическое районирование (ДКР) Средняя месячная и годовая температура воздуха, °С</p>	<p>Научно-прикладной справочник «Климат России», 2014 (электронная версия) Метеорологические ежемесячники</p>

Задачи пользователей	Климатические показатели	Нормативные и литературные источники получения информации
работ	<p>Средние даты наступления, прекращения и продолжительность устойчивых морозов</p> <p>Повторяемость устойчивых морозов, %</p> <p>Наибольшая скорость ветра различной повторяемости, м/с</p> <p>Повторяемость случаев выпадения осадков более 20 мм за сутки в зимний период, %</p> <p>Повторяемость случаев выпадения осадков более заданных пределов за сутки в теплый период года, %</p> <p>Повторяемость туманов при различной скорости ветра, %</p> <p>Повторяемость дней с гололедицей, %</p>	<p>СП 131.13330.2012 «СНиП 23-01-99* Строительная климатология»</p> <p>СП 34.13330.2012 «СНиП 2.05.02-85* Автомобильные дороги»</p>
Планирование сроков летнего максимума перевозок автомобильным транспортом и подготовка к сезонным	<p>Средняя максимальная температура воздуха наиболее теплого месяца, °С</p> <p>Даты наступления средних суточных температур воздуха выше (ниже) заданных</p>	<p>Научно-прикладной справочник «Климат России», 2014 (электронная версия)</p> <p>СП 131.13330.2012 «СНиП 23-01-99* Строительная климатология»</p>

Задачи пользователей	Климатические показатели	Нормативные и литературные источники получения информации
видам работ	<p>значений</p> <p>Среднее число дней с температурой воздуха выше 32 °С</p> <p>Повторяемость значений дальности видимости ниже (выше) указанного критического значения, %</p> <p>Повторяемость случаев выпадения осадков более заданных пределов за сутки в теплый период года, %</p> <p>Повторяемость туманов при различной скорости ветра, %</p>	<p>Метеорологические ежемесячники</p> <p>Приказы Министерства транспорта РФ, РОСАВТОДОР «О введении временных ограничений движения транспортных средств по автомобильным дорогам общего пользования федерального значения в 2016, 2017 гг.»</p>
Установление расценок на сезонные дорожные работы на открытом воздухе в зимний период	<p>Число дней с температурой воздуха ниже –25 °С, дни</p> <p>Число дней с преобладающей скоростью ветра более 10 м/с при отрицательных зимних температурах, дни</p> <p>Повторяемость случаев выпадения осадков более 20 мм за сутки в зимний период, %</p> <p>Районирование территории РФ</p>	<p>Научно-прикладной справочник «Климат России», 2014 (электронная версия)</p> <p>Метеорологические ежемесячники</p> <p>СанПиН 2.2.2.540-96 «Гигиенические требования к ручным инструментам и организации работ»</p> <p>Методические рекомендации МР 2.2.7.2129-06.</p> <p>Режимы труда и отдыха работающих в холодное время на открытой территории или в неотапливаемых помещениях (утверждены</p>

Задачи пользователей	Климатические показатели	Нормативные и литературные источники получения информации
	по климатическим регионам	Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека Главным государственным санитарным врачом РФ 19 сентября 2006 г.)
<p>Определение периода производства основных дорожных работ по укладке железобетонных, каменных и асфальтовых покрытий</p>	<p>Среднее и максимальное число дней со средней суточной температурой воздуха выше 5, выше 10 °С в весенне-осенний период, дни</p> <p>Повторяемость периодов с положительной и отрицательной температурами воздуха продолжительностью 5, 10 и 15 дней в весенне-осенний период, %</p> <p>Повторяемость числа дней с осадками более 5 мм/сут. за период с апреля по октябрь, %</p>	<p>Научно-прикладной справочник «Климат России», 2014 (электронная версия)</p> <p>Метеорологические ежемесячники</p> <p>СП 78.13330.2012. «СНиП 3.06.03-85 Автомобильные дороги»</p> <p>Строительство и реконструкция автомобильных дорог: Справочная энциклопедия дорожника (том I) / под ред. д-ра техн. наук, проф. А. П. Васильева. М., Информавтодор, 2004</p>

Железнодорожный транспорт

Задачи пользователей	Климатическая информация	Нормативные и литературные источники получения информации
<p>Выбор района расположения железнодорожной трассы</p>	<p>Дорожно-климатическое районирование (ДКР) Средняя месячная и годовая температура воздуха, °С Повторяемость направлений ветра, % Среднее и наибольшее число дней со скоростью ветра более 20 м/с, дни Преобладающее направление ветра в зимний период (декабрь–февраль) Максимальная из средних скоростей ветра по румбам за январь, м/с Скоростной напор ветра, кг/м² Число дней с сильным снегопадом, дни Число дней с сильными метелями, дни Объем снеготранспорта за зиму по основным направлениям ветра, м³/м Степень лавинной и селевой</p>	<p>Метеорологические ежемесячники</p> <p>Научно-прикладной справочник «Климат России», 2014 (электронная версия)</p> <p>СП 34.13330.2012 «СНиП 2.05.02-85* Автомобильные дороги»</p> <p>СП 37.13330.2012 «СНиП 2.05.07-91* Промышленный транспорт»</p> <p>СП 131.13330.2012 «СНиП 23-01-99* Строительная климатология»</p> <p>СП 119.13330.2012 «СНиП 32-01-95 Железные дороги колеи 1520 мм»</p> <p>ВСН 190-78 Инструкция по инженерно-геологическим изысканиям для проектирования и строительства метрополитенов, горных железнодорожных и автодорожных тоннелей</p> <p>Снежные лавины, сели и оценка риска. Сборник трудов Московского</p>

Задачи пользователей	Климатическая информация	Нормативные и литературные источники получения информации
	<p>активности, баллы Продолжительность лавиноопасного периода, дни</p>	<p>государственного университета им. М. В. Ломоносова, Географический факультет, Научно-исследовательская лаборатория снежных лавин и селей; Под ред. А. Л. Шныпаркова, 2004. 204 с.</p> <p>География лавин. Под ред. С. М. Мягкова, Л. А. Канаева. М., изд-во МГУ, 1992.</p>
<p>Проектирование железнодорожных насыпей в районах со сложными гидрометеорологическими условиями</p>	<p>Средние, экстремальные и вероятностные характеристики снежного покрова (высота снежного покрова, см; запас воды в снеге, мм) Средняя месячная и годовая температура воздуха, °С Средняя месячная и годовая температура почвы (на поверхности и глубинах), °С Сумма осадков за месяц, период, год, мм Суточный максимум осадков различной обеспеченности, мм Наибольшее количество осадков за месяц, период, год различной обеспеченности, мм Повторяемость направлений</p>	<p>Метеорологические ежемесячники</p> <p>Научно-прикладной справочник «Климат России», 2014 (электронная версия)</p> <p>СП 131.13330.2012 «СНиП 23-01-99* Строительная климатология»</p> <p>СП 32-104-98 «Проектирование земляного полотна железных дорог колеи 1520 мм»</p> <p>СП 37.13330.2012 «СНиП 2.05.07-91* Промышленный транспорт»</p>

Задачи пользователей	Климатическая информация	Нормативные и литературные источники получения информации
	<p>ветра % Средняя и максимальная скорость ветра по направлениям, м/с</p>	
<p>Защита железнодорожного пути от неблагоприятных природных явлений. Планирование лесопосадок для снегозащиты железнодорожного полотна</p>	<p>Повторяемость направлений ветра, % Преобладающее направление ветра в зимний период (декабрь–февраль) Средняя и максимальная скорости ветра по направлениям, м/с Прирост снежного покрова за сутки, см Число дней со снегопадом, дни Средняя декадная высота снежного покрова, см Объем снегопереноса различной обеспеченности, м³/м Объем снегоприноса, м³/м</p>	<p>Научно-прикладной справочник «Климат России» 2014 (электронная версия) СП 131.13330.2012 «СНиП 23-01-99* Строительная климатология» Метеорологические ежемесячники Инструкция по снегоборьбе на железных дорогах Российской Федерации, утвержденная МПС № ЦП-751 от 25.04.2000 г. ОДМ 218.5.001-2008 «Методические рекомендации по защите и очистке автомобильных дорог от снега». РОСАВТОДОР, М., 2008. Отраслевой дорожный методический документ</p>
<p>Планирование количества снегоуборочных поездов на железной дороге</p>	<p>Расчетная максимальная высота снегоотложения, наблюдаемая за случай в течение зимы на железной дороге с повторяемостью не реже одного раза в два года, см</p>	<p>Инструкция по снегоборьбе на железных дорогах Российской Федерации, утвержденная МПС № ЦП-751 от 25.04.2000 г.</p>

Задачи пользователей	Климатическая информация	Нормативные и литературные источники получения информации
	Случаи метелей со скоростью ветра до 10 м/с, от 10 до 19 м/с, от 20 до 30 м/с и более 30 м/с в течение зимы с повторяемостью не реже, чем один раз за два года	
Служба сигнализации и связи электрифицированных участков железной дороги	Повторяемость числа дней с температурой воздуха менее –25 °С, % Повторяемость числа дней с температурой воздуха выше 30 °С, % Суточный максимум осадков различной обеспеченности, мм Повторяемость скоростей ветра по направлениям, % Характеристики гололедно-изморозевых явлений (повторяемость, продолжительность, масса отложений и нормативная толщина стенки гололеда) Квантиль гололедной и гололедно-ветровой нагрузки заданной обеспеченности Среднее и наибольшее число дней с грозой, дни	Научно-прикладной справочник «Климат России», 2014 г. (электронная версия) Метеорологические ежемесячники СП 20.13330.2011 «СНиП 2.01.07-85* Нагрузки и воздействия» Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации (утв. Приказом Минтранса РФ от 21 декабря 2010 г. № 286)

Задачи пользователей	Климатическая информация	Нормативные и литературные источники получения информации
	Среднее и наибольшее число дней с туманом, дни	
<p>Планирование мероприятий по обеспечению исправности контактной сети и целостности проводов</p>	<p>Число дней со скоростью ветра более 10 м/с, дни Число дней с температурой воздуха ниже –30 °С, дни Число дней с температурой воздуха выше +30 °С, дни Среднее и наибольшее число дней с обледенением, дни Число дней с гололедом более 20 мм, дни Число дней с мокрым снегом, дни Число дней с грозой, дни</p>	<p>Научно-прикладной справочник «Климат России», 2014 г. (электронная версия)</p> <p>Метеорологические ежемесячники</p>
<p>Размещение и содержание стационарных (пневматических) устройств для очистки стрелок от снега. Примечание: Устройства пневматической очистки стрелок должны включаться в работу сразу же в начале снегопада или метели</p>	<p>Средняя продолжительность метелей, ч Величина снегоотложения зимой за сутки, см Среднее число дней с минимальной температурой воздуха ниже заданного предела, дни (ручная очистка не производится) Объем снеготранспорта за зиму по основным направлениям ветра, м³/м</p>	<p>Научно-прикладной справочник «Климат России», 2014 г. (электронная версия)</p> <p>Метеорологические ежемесячники</p> <p>Прогноз текущей метеорологической обстановки</p>

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

**по расчету специализированных климатических характеристик
для обслуживания различных отраслей экономики**

**Строительство
Транспорт**

ISBN 978-5-9500883-2-2



Подписано в печать 28.11.2017 г.

Формат 60×84 ¹/₁₆. Гарнитура Times New Roman. Бумага офсетная.

Усл. печ. л. 9,36. Тираж 150 экз. Заказ № 15/28117.

Отпечатано в соответствии с предоставленными материалами
в ООО «Амирит», 410004, г. Саратов, ул. Чернышевского, 88.

Тел.: 8-800-700-86-33 | (845-2) 24-86-33

E-mail: zakaz@amirit.ru

Сайт: amirit.ru