

Методология поиска необходимых данных о климате местности в справочной литературе
Филькин О.В.

Белорусский национальный технический университет

Общие положения

Климатология как наука базируется на данных многолетних наблюдений и оперирует средними значениями. При этом широко используются статистические приемы обработки данных метеостанций, которые накапливаются постоянно по определенной установленной системе.

Существенное значение для климатологии имеет расположение метеостанций, тип и характер установок, применяемых приборов, длительная и непрерывная работа станций в неизменных условиях. При обобщении материалов наблюдений широко применяются статистические методы обработки (метод средних величин), современные вычислительные комплексы.

По материалам наблюдений метеорологических станций вычисляются средние многолетние величины и их повторяемость по месяцам для указанных элементов.

Основная идея метода состоит в достижении полной сравнимости вычисленных средних и других данных. На этом построены все способы расчета и использования многолетних средних величин, приведения результатов наблюдений к одному уровню и одному периоду времени и т.п. Данные, систематизированные с помощью этого метода, наносятся на карты и служат для климатологических обобщений.

2. Климатические показатели

При проектировании, строительстве и эксплуатации дорог приходится решать различные задачи с учетом климатических показателей, которые можно разбить на три группы:

1. **Показатели временной структуры** – периодические изменения элемента во времени, т.е. суточные, декадные, месячные и годовые изменения параметров, характеризующиеся амплитудой и моментом наступления экстремальных и других значений элементов (средними данными и повторяемостью).

2. **Показатели неперiodичных изменений элемента, связанности рядов между собой, межсуточной изменчивости, непрерывной продолжительности значений элемента выше или ниже заданного уровня** – коэффициент корреляции между соседними членами ряда; среднее значение межсуточных изменений; среднее квадратичное отклонение межсуточных изменений; средняя непрерывная продолжительность значений элемента выше или ниже некоторого заданного значения (уровня); число периодов непрерывной продолжительности значений элемента выше (ниже) заданного уровня; повторяемость и накопленная повторяемость различных значений непрерывной продолжительности выше (ниже) заданного уровня.

3. **Показатели комплексной оценки метеорологических элементов** – повторяемость и накопленная повторяемость сочетаний значений комплексующих элементов; коэффициент корреляции между значениями комплексующих элементов; корреляционное отношение.

Все основные метеорологические показатели имеют вероятностную природу, и поэтому при их определении используются **методы математической статистики** и, в частности, устанавливаются:

- 1) повторяемость различных значений элемента;
- 2) накопленная повторяемость (обеспеченность);
- 3) среднее арифметическое значение;
- 4) крайние (максимальное, минимальное) значения;
- 5) показатели изменчивости;
- 6) показатели асимметрии и крутости кривой распределения.

Повторяемость – отношение числа случаев со значениями рассматриваемого метеорологического элемента, входящих в данную градацию (интервал), к общему числу членов ряда. Выражается в

долях единицы или в процентах. Суммарную повторяемость, полученную на основании длинного ряда наблюдений, называют интегральной вероятностью, или обеспеченностью.

Накопленная повторяемость – отношение суммарного числа случаев, входящих в градации рассматриваемого участка статистического ряда (до и после определенной величины), к общему числу членов ряда. Ее можно определить последовательным суммированием относительных или средних абсолютных частот соответствующих интервалов в ряду статистического распределения.

Среднее арифметическое значение – отношение суммы значений членов ряда к общему их числу. В качестве дополнительных показателей среднего значения применяются **медиана** – значение среднего члена в ряду значений простого ранжированного распределения, и **мода** – значение, наиболее часто встречающееся в ряду метеорологических измерений.

Крайние значения – предельные показатели метеорологических элементов, зафиксированные в определенный период времени в рассматриваемом географическом пункте. Крайние значения климатических параметров (абсолютная минимальная и абсолютная максимальная температура воздуха, суточный максимум осадков) характеризуют те пределы, в которых заключены значения климатических параметров. Эти характеристики выбирались из экстремальных за сутки наблюдений. Различают абсолютный максимум или минимум, среднее из максимальных или минимальных значений и максимум или минимум заданной обеспеченности.

Показатели изменчивости – расчетные характеристики, с помощью которых оценивается степень рассеивания значений исследуемого элемента по отношению к его среднеарифметическому значению. К показателям изменчивости относятся:

1. Среднеквадратические отклонения

$$\sigma = \frac{1}{n} \sqrt{\sum_{t} (x_t - \bar{x})^2},$$

где n – число наблюдений;

x – значение при t -м наблюдении;

x_i – средняя арифметическая величина.

2. Коэффициент вариации

$$C_v = \sigma / \bar{x}$$

3. Дисперсия

$$x = \sigma^2.$$

Показатели асимметрии – величины, характеризующие закономерности распределения случайных величин, отличающихся от нормального распределения. К ним относится коэффициент асимметрии и эксцесса.

Коэффициент асимметрии определяется по формуле

$$A = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3 / n\sigma$$

При $A = 0$ распределение нормальное.

При $A > 0$ распределение асимметричное правостороннее.

При $A < 0$ распределение асимметричное левостороннее.

Асимметрия считается малой при $|A| \leq 0,25$, умеренной при $0,25 < |A| \leq 0,5$ и большой при $|A| > 0,5$.

Коэффициент эксцесса определяется по формуле

$$E = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4 / n\sigma^4 - 3.$$

При $E = 0$ распределение нормальное. Если $E > 0$, крутость положительная, и кривая распределения имеет более острую вершину, чем при нормальном распределении. Если $E < 0$, крутость отрицательная, и прямая имеет более плоскую вершину.

Дорожным организациям приходится пользоваться различными метеорологическими показателями; иногда их надо учитывать при выполнении конструкторских, проектных, технологических и организационных работ. В качестве расчетных могут быть использованы следующие показатели:

1. **Для учета солнечной радиации** – уровень солнечной радиации; уровень солнечной радиации заданной обеспеченности;

угол наклона местности (рассматриваемой поверхности) по отношению к солнечным лучам; географическая широта.

2. **Для учета температуры воздуха** – средняя температура воздуха; среднесуточная температура; среднемесячная температура; среднегодовая температура; средняя многолетняя температура; средняя температура наиболее холодного периода года; средняя максимальная температура наиболее жаркого месяца; средняя амплитуда суточных колебаний температуры; абсолютный максимум; абсолютный минимум; точка росы; продолжительность периода со среднесуточной температурой более $t \text{ }^{\circ}\text{C}$; продолжительность периода со среднемесячной температурой менее $t \text{ }^{\circ}\text{C}$; средняя продолжительность температуры различных градаций; средняя температура периода со среднемесячной температурой менее $t \text{ }^{\circ}\text{C}$; вертикальный градиент температуры; число дней с переходом температуры воздуха через $0 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

3. **Для учета температуры грунта (покрытия)** – температура грунта (почвы) на поверхности; температура грунта на глубине h ; глубина нулевой изотермы; максимальная глубина нулевой изотермы; средняя годовая температура грунта; мощность сезонно-мерзлого слоя грунта.

4. **Для учета влияния ветра** – преобладающее направление ветра; средняя скорость ветра; динамическое давление; скоростной напор.

5. **Для учета влажности воздуха** – упругость водяного пара; абсолютная влажность; удельная влажность; относительная влажность; дефицит влажности заданной обеспеченности; интенсивность испарения воды; продолжительность периода испарения воды; точка росы.

6. **Для учета атмосферных осадков** – среднее количество осадков; количество осадков за число дней с осадками более h мм; средняя интенсивность дождя; число дождей n %-ной обеспеченности; продолжительность осадков n %-ной обеспеченности.

7. **Для учета влияния снежного покрова** – высота снежного покрова; среднедекадная высота снежного покрова; продолжительность залегания снежного покрова.

8. **Для учета атмосферного давления** – сила, действующая на единицу горизонтальной поверхности (мм рт. ст.; Па; мб; динамическое давление).

9. *Для учета тумана* – физические условия образования; синоптические условия образования; повторяемость туманов; агрегатное состояние капель воды и кристаллов льда; распределение температуры в тумане; водность тумана.

10. *Для учета облачности* – микроструктура облаков; водность облаков; высота нижней границы; вертикальная протяженность; степень покрытия неба облаками.

11. *Для учета других атмосферных явлений*: среднее число дней с грозами; среднее число дней с метелями; прозрачность атмосферы (коэффициент); метеорологическая дальность горизонтальной видимости.

Солнечная радиация (МДж/м²) зависит от географического положения рассматриваемой местности, времени года и облачности. Бывает прямая, рассеянная и суммарная. Определяют солнечную радиацию на горизонтальную и вертикальную поверхность, а также на вертикальную поверхность соответствующей ориентации (южную, юго-западную, юго-восточную, восточную, западную, северную, северо-западную, северо-восточную).

Данные по солнечной радиации и радиационному балансу приводятся в климатических справочниках и получены на основе материалов актинометрических наблюдений.

В *комплекс актинометрических наблюдений* входят измерения прямой и рассеянной радиации, приходящей к деятельной поверхности; радиации, отраженной от деятельной поверхности; радиационного баланса этой поверхности. *Деятельной поверхностью* называют поверхность почвы, воды и растительности, непосредственно поглощающую солнечную и атмосферную радиацию и отдающую излучение в атмосферу. Солнечная радиация, поступающая на деятельную поверхность в виде пучка параллельных лучей, исходящих непосредственно от солнца, называется *прямой солнечной радиацией*. На актинометрических станциях измеряется прямая солнечная радиация, поступающая на перпендикулярную к солнечным лучам поверхность S .

Количество прямой солнечной радиации, приходящее на горизонтальную поверхность S' , зависит от высоты солнца над горизонтом и может быть получено из соотношения

$$S' = S \sin h_{\theta},$$

где h_{θ} – угловая высота солнца над горизонтом.

Часть солнечной радиации, поступающая к деятельной поверхности Земли со всех точек небесного свода после рассеяния в атмосфере, называется *рассеянной радиацией* D . На актинометрических станциях измеряется рассеянная радиация, поступающая на горизонтальную поверхность.

Прямая и рассеянная радиация относятся к коротковолновой части спектра (с длиной волн от 0,17 до 4 мкм). Фактически земной поверхности достигают лучи с длиной волны от 0,29 мкм.

Общий приход солнечной радиации на горизонтальную поверхность, состоящий из прямой и рассеянной радиации, называется *суммарной радиацией* Q :

$$Q = S' + D.$$

Интенсивности и суммы радиации относятся к горизонтальной поверхности или к поверхности, перпендикулярной лучам солнца. По этим данным можно рассчитать интенсивности и суммы прямой радиации, а приближенно – и суммы рассеянной и суммарной радиации, поступающей на вертикальные (стены) и наклонные (склоны) поверхности любой ориентации.

Прямую радиацию на стену или склон рассчитывают по формулам

$$S_{\text{в}} = S \cos h_{\theta} \cos (A_{\theta} - A);$$

$$S_{\text{скл}} = S_{\text{в}} \sin \alpha + S' \cos \alpha,$$

где $S_{\text{в}}$ – прямая солнечная радиация, поступающая на вертикальную поверхность;

$S_{\text{скл}}$ – прямая солнечная радиация, поступающая на наклонную поверхность ($S_{\text{скл}}$ и $S_{\text{в}}$ имеют одинаковый азимут);

S – прямая солнечная радиация, поступающая на перпендикулярную к лучам поверхность;

S' – прямая солнечная радиация, поступающая на горизонтальную поверхность;

h_{θ} – высота солнца;

A_{θ} – азимут солнца;

A – азимут нормали к вертикальной поверхности;

α – крутизна склона.

Уровень солнечной радиации заданной обеспеченности определяется на основании многолетних данных для определенного месяца или определенной местности. Например, если требуется определить максимальную суммарную радиацию 5 %-ной обеспеченности, необходимо провести выборку за 30-50 лет. Данные располагаются в убывающем порядке.

Среднесуточная температура воздуха определяется как среднее арифметическое значение на основании систематических измерений температуры на метеостанции, производимых с интервалом 3 часа (в 0; 3; 6; 9 и т.д.).

Среднемесячная температура воздуха определяется как среднее арифметическое на основании среднесуточных температур.

Среднегодовая температура воздуха определяется как среднее арифметическое среднемесячных или среднесуточных температур.

Температура воздуха наиболее холодных суток. Наиболее холодными сутками в рассматриваемом периоде (декада, месяц, год) являются те, у которых средняя арифметическая величина имеет минимальное значение.

Абсолютный максимум (минимум) температуры воздуха.

Различают *абсолютный максимум (минимум)* – самую высокую (низкую) температуру, которая зафиксирована в рассматриваемом периоде времени, и *средний из ежегодных абсолютных максимумов (минимумов)*, определяемый как среднеарифметическое за ряд лет.

Вероятность температуры ниже или выше абсолютного минимума (максимума) определяется путем деления числа членов ряда, выходящих за указанный интервал, к общему числу членов ряда.

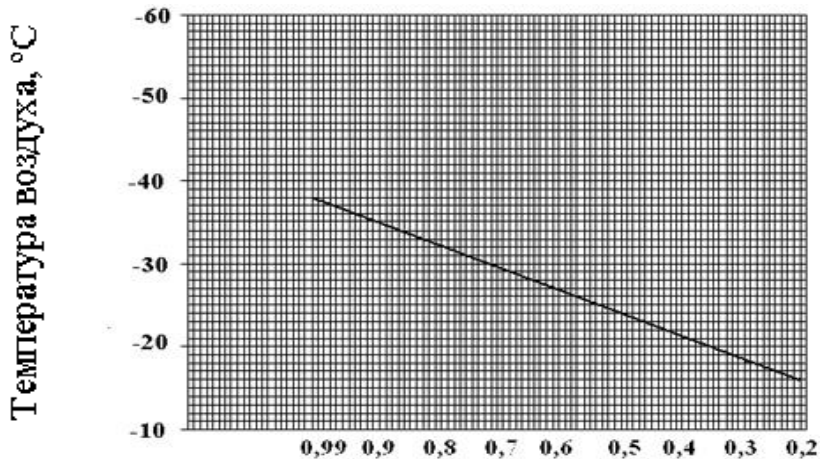
На основании полученных данных в логарифмических координатах строятся интегральные кривые (по оси ординат – логарифмическая шкала температуры воздуха, по оси абсцисс – двойная логарифмическая шкала обеспеченности) (рис. 1.1).

С кривой обеспеченности снимается температура воздуха наиболее холодных суток и наиболее холодной пятидневки заданной обеспеченности.

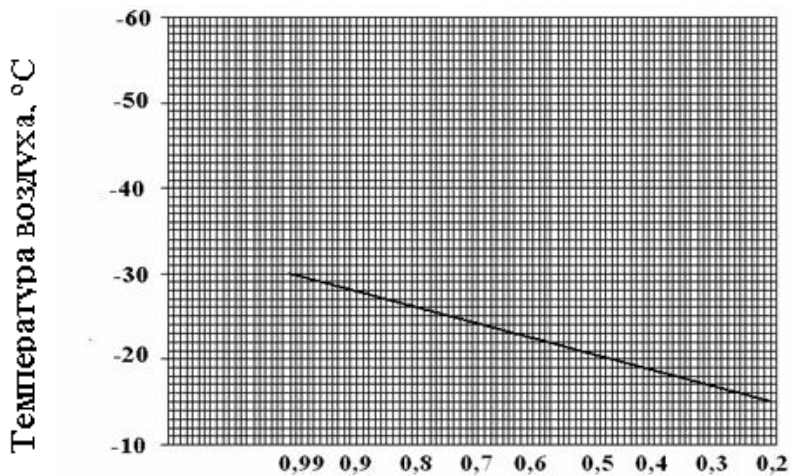
Средняя продолжительность температуры воздуха различных градаций.

За исходную принимается информация о температуре воздуха в определенные сроки наблюдений (обычно – начиная с 0 часов и далее через 3 часа).

а)



б)



Обеспеченность в долях единицы

Рис. 14.1. Интегральные кривые температуры воздуха:
а – наиболее холодных суток; б – наиболее холодной пятидневки

Данные средней продолжительности температуры воздуха различных градаций представляют собой статистическую совокупность числовых значений температуры воздуха t_i , имеющую вид статистического распределения. Оно состоит в группировке числовых значений температуры воздуха по определенным градациям (середина градации t_1, t_2, \dots, t_k) и подсчете абсолютной (m_1, m_2, \dots, m_k) и относительной (P_1, P_2, \dots, P_k) частоты каждой градации температуры воздуха.

Абсолютная частота есть число случаев попадания значений температуры воздуха в ту или иную градацию, причем $\sum m_i = n$, т.е. равна числу наблюдений. Относительная частота градаций выражается отношением $P_i = m_i/n_i$, причем $\sum P_i = 1$.

Статистическая совокупность в виде распределения позволяет получить первое представление об основных закономерностях многолетнего режима температуры воздуха, о наиболее часто встречающихся значениях температуры воздуха и диапазоне ее изменений.

Накопление частоты получают, суммируя последовательно абсолютные или относительные частоты. Выражения для накопленных частот при числе градаций k имеют вид:

не больше t_i :

не меньше t_i :

$$m \leq t_i = \sum_1^i m_j;$$

$$m \geq t_i = \sum_1^k m_j;$$

$$P \leq t_i = \sum_1^i P_j;$$

$$P > t_i = \sum_1^i P_j.$$

Накопленные относительные частоты иногда вычисляют, используя ранжированный ряд (расположение в порядке возрастания или убывания числовых значений членов ряда), по формуле

$$D \leq t_i - m_i(n+1),$$

где m_i – порядковый номер члена ряда;

n – статистический ряд.

Число дней с переходом температуры воздуха через 0 °С. Измерения температуры максимальными и минимальными термометрами позволяют зафиксировать ее экстремальные значения, то есть наиболее высокую и наиболее низкую температуру. Если максимальная температура положительна, а минимальная – отрицательна, имеет место переход температуры воздуха через 0 °С.

При установившейся среднесуточной температуре ниже 0 °С факт перехода температуры в положительную область свидетельствует об оттепели. И, наоборот, при среднесуточной положительной температуре появление отрицательных температур на минимальном термометре свидетельствует о заморозках.

Переходы температуры через 0 °С отрицательно сказываются на состоянии дорожного покрытия; иногда в таких условиях не могут выполняться дорожно-строительные работы.

Расчетная температура воздуха заданной обеспеченности. Расчетную температуру воздуха требуется знать для определения оптимальных размеров дорожных плит, их продольной устойчивости, глубины протаивания оснований и т.д. В зависимости от конкретной задачи расчетная температура обычно выбирается из перечня температур, приведенных в справочниках по климату. В перечнях приводятся среднемесячные, среднегодовые, абсолютные максимальные, минимальные, среднемаксимальные температуры воздуха наиболее жаркого месяца года, а также температуры с обеспеченностью 0,92 и 0,98 для наиболее холодных суток и для наиболее холодной пятидневки и средние температуры наиболее холодного периода для разных пунктов местности.

За **расчетную температуру** необходимо принимать максимальную (минимальную) температуру воздуха в расчетном месяце года за расчетный период эксплуатации объекта. Для покрытия с расчетным сроком эксплуатации n лет обеспеченность расчетной температуры воздуха принимается $n^{-1} \cdot 100\%$.

Для решения задачи в такой постановке расчетная максимальная (минимальная) температура воздуха за сутки, имеющая обеспеченность $p\%$, $t_{a p\%}^{\max(\min)}$, может быть принята равной сумме среднемаксимальной (среднеминимальной) температуры воздуха и нормированной положительной (отрицательной) добавки к ней $\pm \Delta t_{a p\%}$:

$$t_{a p\%}^{\max(\min)} = t_{a \text{mid}}^{\max(\min)} \pm \Delta t_{a p\%}.$$

В формуле знак «+» принимается для определения максимальной, знак «-» – для минимальной суточной температуры воздуха обеспеченностью $p\%$.

Обозначения температур приведены ниже в общем перечне:

t_a – температуры воздуха; t_{ma} – среднемесячная температура воздуха; A_{ma} – среднемесячная амплитуда температуры воздуха; $t_{a\text{mid}}^{\text{max}(\text{min})}$ – среднемаксимальная (среднеминимальная); $\Delta t_{a\text{mid}}^{\text{max}(\text{min})}$ – среднее отклонение температуры от $t_{a\text{mid}}^{\text{max}(\text{min})}$; $t_{a i}^{\text{max}(\text{min})}$ – i -е отклонение температуры от $t_{a\text{mid}}^{\text{max}(\text{min})}$; $t_{a\text{abs}}^{\text{max}(\text{min})}$ – абсолютная максимальная (минимальная); $\Delta t_{a p\%}$ – нормированная (положительная или отрицательная) добавка температуры к $t_{a\text{mid}}^{\text{max}(\text{min})}$; $t_{a p\%}^{\text{max}(\text{min})}$ – расчетная температура воздуха $p\%$ обеспеченности.

Расчетная схема, совмещенная с реальными наблюдениями, представлена на рис. 1.2, там же даны пояснения температур.

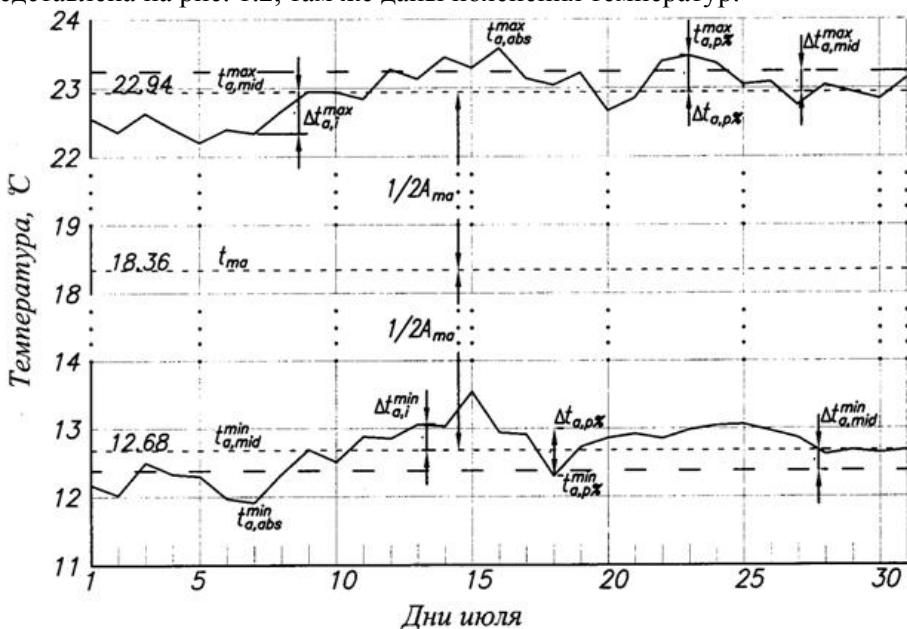


Рис. 1.2. Месячный ход максимальных и минимальных суточных температур

воздуха в г. Минске (июль 2004 г.). Расчетная схема для определения температуры воздуха с обеспеченностью $p\%$

Фактически решение задачи сводится к нахождению закономерности отклонения расчетных температур от среднеголетних – среднемаксимальных или среднеминимальных. При этом принимается, что процесс изменения температур относительно их среднемаксимальных (среднеминимальных) значений является случайным, стационарным и обладает свойством эргодичности. При таком решении задачи закономерность случайных отклонений температур в одном месяце года является такой же, как и за все годы эксплуатации для этого же месяца, поэтому нет необходимости учитывать ее в расчете вариации среднемесячных температур разных лет.

В вышеприведенной формуле параметр $t_{a \text{ mid}}^{\max(\min)}$ принимается по справочным данным, а при их отсутствии определяется равенством

$$t_{a \text{ mid}}^{\max(\min)} = t_{ma} \pm 1/2A_{ma}.$$

Проверка этого равенства для объектов, расположенных в разных природно-климатических условиях, показала, что его точность находится в пределах десятых долей градуса. При использовании для его проверки данных из СНиП 2.01.01-82 и других справочников по климату параметры $t_{a \text{ mid}}^{\max(\min)}$, t_{ma} и $1/2A_{ma}$ для каждого случая необходимо принимать для одного и того же месяца года, учитывая при этом, что наиболее жарким месяцем не обязательно является июль.

Глубина нулевой изотермы. С помощью вытяжных термометров, которые располагаются на глубине 20, 40, 80, 160 и 320 см от поверхности земли, ежедневно определяется температура грунта (почвы). Принимается, что температура изменяется равномерно по мере заглубления. Нулевая изотерма определяется методом линейной интерполяции.

Высота и продолжительность залегания снежного покрова. Высота снежного покрова определяется двумя критериями: средней наибольшей декадной высотой и наибольшей из наибольших декадных. Средняя наибольшая декадная высота снежного покрова за зиму вычисляется как среднеарифметическая наибольших декадных величин за каждый год наблюдения независимо от месяца и декады, когда это имело место.

Продолжительность залегания снежного покрова – это промежуток времени от даты образования устойчивого снежного покрова до его разрушения, причем устойчивым снежным покровом считается

тот, который сохраняется в течение 30 дней с перерывами не более 3 дней подряд; разрушенным же считается снежный покров, если окрестность покрыта снегом менее чем на 60 % (менее 6 баллов).

Скорость ветра определяется на высоте 10-12 м и на расстоянии от окружающих предметов, равном 10-20-кратной высоте. Интервал измерения устанавливается Положением о метеостанциях (1965 г.) 8 раз в сутки. Все вычисления ведутся как среднеарифметические, среднесуточные, среднемесячные, среднегодовые и средние многолетние.

Повторяемость скорости ветра вычисляется как отношение числа ветров заданной градации к общему числу зафиксированных значений.

Фактические значения округляются в соответствии с этой градацией по правилам округления.

Повторяемость может быть вычислена для различных часов суток, а также среднесуточная, среднемесячная, среднегодовая и средняя многолетняя.

Непрерывная продолжительность ветра различной скорости (число градаций) определяется на основании метеорологических наблюдений.

Повторяемость различных направлений ветра и штилей (%) вычисляется для определенного времени (средняя для месяца, средняя для определенного часа дня за месяц, средняя годовая и т.п.). Повторяемость во всех этих случаях будет представлять собой отношение числа случаев заданной градации к общему числу членов рассматриваемого ряда. Классификация ветров по Бофорту представлена в табл. 8.1.

Влажность воздуха. Для характеристики влажности воздуха в различные часы суток, а также для вычисления средних, максимальных, минимальных значений за определенный период используются следующие величины: упругость водяного пара, относительная влажность, недостаток насыщения и др. Как и для других метеорологических элементов, для них могут быть вычислены среднеарифметические величины, определены экстремальные значения (максимальные или минимальные), установлена повторяемость тех или иных значений.

Дальность видимости. Различают дневную и ночную видимость.

Дальность дневной видимости – предельное расстояние, при котором удаленный предмет становится неотличимым от окружающего фона (перестает быть видимым). *Дальность видимости огней* – расстояние, на котором точечный источник света определенной силы перестает восприниматься глазом.

Дальность видимости зависит от ряда факторов – геометрических параметров объекта, освещенности, цвета и яркости предметов и фона, прозрачности атмосферы. Днем человек видит предметы, размеры и расстояние до которых относятся как 1/150 и более. Дневная освещенность колеблется от 400 до 100 тыс. лк, а глаз человека сохраняет устойчивость восприятия в пределах 20-20 тыс. лк. Цвет и яркость предметов и фона принято оценивать величиной яркостного контраста (от 0 до 100 %). Предмет становится видимым, если яркостной контраст превышает 2 %. Прозрачность атмосферы характеризуется коэффициентом прозрачности, который показывает, насколько световой поток, проходящий через слой атмосферы толщиной 1 км, ослабляется находящимися в этом слое различными примесями.

Метеорологическая дальность горизонтальной видимости в дневное время определяется по формуле

$$S_{\text{в}} = \frac{1}{\alpha} \cdot \ln \frac{K_0}{\varepsilon},$$

где α – показатель ослабления видимости на единицу длины;

K_0 – первоначальный контраст между объектом и фоном;

ε – неразличимая глазом относительная разность между яркостями достаточно большого объекта и фона ($\varepsilon \approx 0,02$).

Сопротивление воздушной среды. При движении на автомобиль оказывает влияние воздушная среда. Аэродинамическая сила сопротивления в элементарном виде может быть выражена формулой

$$W_p = CS \cdot \frac{\rho v^2}{2},$$

где C – коэффициент аэродинамической силы (лобового сопротивления), зависящий от формы автомобиля и степени гладкости его поверхности;

S – лобовая поверхность автомобиля, м^2 ;

v – скорость движения относительно воздуха, м/с ;

ρ – плотность воздуха, кг/м^3 .

При решении других инженерных задач, связанных с учетом метеорологических характеристик, могут потребоваться иные данные. Для их получения целесообразно использовать фундаментальные теории метеорологического анализа и статистики.

Список литературы

1. Леонович, И.И. Дорожная климатология: учебник/ И.И. Леонович.-Мн.: БНТУ, 2005.-485с.
2. Н.А. Дашко. Курс лекций по синоптической метеорологии. М., 1999.
3. Тихомиров Е.И. Фиц-Рой и современная метеорология. Метеор. вестн., 1932.