



УЕ 2.1.7 Температура и влажность воздуха

Рассматриваемые вопросы:

Влияние температуры воздуха на полеты воздушных судов

Информация о температуре воздуха

Суточный и годовой ход температуры воздуха

Единицы измерения температуры, перевод единиц. Виды термометров

Средства измерения температуры воздуха

Наблюдения за температурой воздуха

Влияние температуры воздуха на полеты воздушных судов

Температурный режим местности, где расположен аэродром, может оказать влияние на безопасность полетов воздушных судов (ВС).

Длина разбега и скорость отрыва, посадочная скорость и длина пробега в определенной мере зависят от температуры воздуха.

Повышение температуры воздуха приводит к падению тяги двигателя, в результате чего самолет будет с меньшим ускорением набирать скорость и, следовательно, пробежит большее расстояние для набора необходимой скорости отрыва. При этом отрыв самолета для безопасного взлета производится при скорости на 10-15% большей, чем скорость отрыва при условии равенства подъемной силы и его массы. Скорость отрыва влияет на длину разбега и всей летной дистанции. Это особенно важно учитывать при производстве взлета с ВПП ограниченной длины и при определении максимальных нагрузок самолета. При посадке ВС изменение температуры на 10⁰С приводит к изменению длины пробега примерно на 3,5%.

Особенно неблагоприятны температурные условия для взлета и посадки ВС при таком перегреве ВПП, когда возникают сверхадиабатические градиенты температур.



Сверхадиабатический градиенты температуры – вертикальные градиенты температуры, намного превышающие адиабатический градиент. Наблюдаются летом в приземном слое.

Адиабатический градиент - величина изменения температуры воздуха при ее адиабатическом перемещении на единицу расстояния (100м).

Адиабатический процесс – изменение термодинамического состояния воздуха, протекающее без обмена теплом между ним и средой

В этом случае существенные температурные неоднородности воздуха приводят к неустойчивой работе силовой установки.

Кроме того, при больших вертикальных градиентах воздуха над ВПП создаются миражные явления, искажающие видимое экипажами расстояние до поверхности ВПП.

Для оценки температурных условия полета диспетчеры и пилоты должны иметь информацию о пространственном распределении поля температур и главным образом о зонах больших потеплений.

Информация о температуре воздуха

Температура воздуха как физический параметр является мерой средней скорости движения молекул и характеризует тепловое состояние атмосферы.

Температура воздуха изменяется как в горизонтальном направлении, так и по вертикали. Такие изменения характеризуются соответственно горизонтальным и вертикальным температурными градиентами.

Температурный градиент – это изменение значений температуры воздуха на единицу расстояния.

Наиболее существенно изменяется температура по вертикали. Поэтому вертикальный градиент температуры рассчитывается на 100 метров.



В среднем в реальной влажной атмосфере вертикальный градиент температуры составляет $0,65^{\circ}\text{C}/100\text{м}$; в сухом воздухе $1^{\circ}\text{C}/100\text{м}$ (сухоадиабатический градиент).

По характеру изменения вертикального градиента температуры судят о термической стратификации атмосферы.

Термическая стратификация атмосферы – характер распределения температуры воздуха с высотой.

В зависимости от распределения температуры с высотой выделяются следующие виды равновесия: устойчивое, неустойчивое и безразличное.

Суточный и годовой ход температуры воздуха

Температура приземного воздуха в течение суток может испытывать значительные изменения. Изменение температуры воздуха в течение суток обусловлено нагреванием и охлаждением деятельной поверхности. Тепло, поглощенное этой поверхностью, частично распространяется вглубь почвы или водоема, а другая его часть отдается прилегающему слою атмосферы и затем распространяется в вышележащие слои. Суточные колебания температуры воздуха наблюдаются в слое воздуха от поверхности земли до высоты 1-1,5км, что обусловлено турбулентным перемешиванием, происходящим в пограничном слое тропосферы.

Минимальные значения температуры воздуха в суточном ходе наблюдаются перед восходом солнца. Затем, по мере подъема солнца над горизонтом температура повышается и достигает максимума около 14- 15 часов. После этого, по мере приближения солнца к горизонту, температура понижается.

Амплитуда суточных колебаний температуры воздуха зависит от широты места, времени года, характера деятельной поверхности, облачности, рельефа местности и высоты над уровнем моря.



Годовой ход температуры воздуха определяется, прежде всего, годовым ходом деятельной поверхности. В северном полушарии на континентах максимум температуры воздуха наблюдается в июле, минимум – в январе.

На океанах и побережьях время наступления экстремальных температур запаздывает по сравнению с континентом и наступает максимум чаще всего в августе, минимум – в феврале или начале марта.

На суше амплитуда годовых колебаний температуры воздуха значительно больше, чем над водной поверхностью.

Большое влияние на амплитуду годового хода температуры воздуха оказывает широта места, характер подстилающей поверхности и высота места над уровнем моря.

Наименьшие годовые колебания температуры наблюдаются в экваториальной зоне, где приток тепла в течение года мало изменяется. С увеличением широты годовая амплитуда температуры увеличивается и достигает наибольших значений в полярных широтах.

Единицы измерения температуры, перевод единиц

Единица измерения температуры зависит от выбранной температурной шкалы. В настоящее время принята международная практическая температурная шкала МПТШ-68. Температура, измеряемая по этой шкале, совпадает с термодинамической температурой с существующей в настоящее время точностью измерений.

МПТШ-68 позволяет пользоваться как международной практической температурой Кельвина*, так и международной практической температурой Цельсия*.



**Градус температурной шкалы Цельсия ($^{\circ}\text{C}$) составляет 1/100 интервала между точками таяния льда и кипения воды, которым присвоены значения соответственно 0°C и 100°C .*

Все шкалы этого типа зависят от рода применявшегося термометрического вещества.

**Шкала Кельвин – термодинамическая температурная шкала, не зависящая от термометрического вещества. Эта шкала, которая является основной, опирается на одну реперную точку – тройную точку воды (точка равновесия состояния трех фаз воды).*

Единица этой шкалы называется кельвин и обозначается К.

Для преемственности числового выражения этой шкалы со стоградусной шкалой Цельсия её промежуток между точками таяния льда и кипения воды также был приравнен 100° . С учетом этого и того, что температура тройной точки воды лежит выше точки таяния льда на $0,01^{\circ}$, реперной точке шкалы (тройной точке воды) было дано значение $273,16\text{K}$.

Кельвин определяется как 1/273,16 часть термодинамической температуры тройной точки воды (1/273,16 интервала термодинамической шкалы между абсолютным нулем и тройной точкой).

Связь между температурой по шкале Кельвина (Т) и температурой по шкале Цельсия:

$$t^{\circ}\text{C} = T - 273,16\text{K}$$

например: $T = 282,3^{\circ}\text{K}$

$$t^{\circ}\text{C} = 282,3 - 273,16 = 9,14^{\circ}\text{C} \approx 9,1^{\circ}\text{C}$$

Виды термометров

Наибольшее применение на метеорологической сети имеют следующие виды термометров:

- 1) жидкостные термометры;
- 2) деформационные термометры;
- 3) термометры сопротивления.



*Действие **жидкостных термометров** основано на изменении объема жидкости при изменении температуры.*

Основными частями жидкостного термометра являются наполненный жидкостью стеклянный резервуар, соединенный с капиллярной трубкой, свободный конец которой запаян (одним концом она впаяна в стенку резервуара), скрепленная с резервуаром и капилляром пластинка с температурной шкалой и спаянная с верхней частью резервуара цилиндрическая стеклянная оболочка, внутри которой укреплены капилляр и шкала. Один конец трубки запаян, второй расширен и переходит в резервуар, заполненный жидкостью; шкала нанесена непосредственно на капиллярной трубке.

В качестве термометрической жидкости используют ртуть и спирт.

*Действие **деформационных термометров** основано на изменении линейных размеров твердых тел с изменением температуры.*

Чувствительным элементом биметаллических термометров служит биметаллическая пластинка. При изменении температуры эта пластинка изгибается вследствие различного расширения составляющих её металлов.

Биметаллические чувствительные элементы используются в термографах, радиозондах.

*Действие **термометров сопротивления** основано на изменении электропроводности тел с изменением температуры.*

Свойством температурной зависимости электросопротивления в той или иной мере обладают все материалы.

В качестве первичных преобразователей термометров сопротивления применяют металлические проволочные и полупроводниковые терморезисторы, которые включаются в измерительную схему.



Средства измерения температуры воздуха

При авиационных метеорологических наблюдениях для измерения температуры воздуха используются психрометрический и низкоградусный термометры.

Психрометрический термометр ТМ-4 (рисунок 1). Это ртутный термометр со вставной шкалой молочного цвета. Длина термометра около 400 мм, диаметр стеклянной оболочки около 15 мм. Резервуар термометра шарообразной формы диаметром 9-12 мм. Пространство над ртутью в капилляре заполняется азотом.



Рисунок 1 -
Психрометрический

Пределы измерений от -31 до $+50^{\circ}\text{C}$ или от -35 до $+41^{\circ}\text{C}$.

Цена деления шкалы $0,2^{\circ}\text{C}$. Числовые отметки шкалы нанесены через каждые 5°C . Для удобства установки термометра в специальном штативе на верхнем конце его защитной трубки укреплен металлический колпачок. Термометр устанавливается в психрометрической будке в вертикальном положении. Данным психрометрическим термометром можно измерять температуру воздуха только до температуры -35°C , т.к. температура замерзания ртути составляет $-38,8^{\circ}\text{C}$.

Спиртовой низкоградусный термометр ТМ-9 (рисунок 2) служит для определения температуры воздуха ниже -35°C .

Он отличается от психрометрического в основном только термометрической жидкостью; немного длиннее ТМ-4, резервуар имеет форму цилиндра диаметром около 6 мм. Выпускается с пределами от -71 до 21°C или от -81 до 11°C ; цена деления шкалы $0,5^{\circ}\text{C}$. Термометр



Рисунок 2 -Низкоградусный



устанавливается вертикально в специальном гнезде штатива рядом с психрометрическим термометром.

Измерения с его помощью можно начинать при температуре воздуха -35°C и ниже. Однако измерения начинают производить параллельно с психрометрическим при температуре воздуха ниже -20°C . По результатам этих измерений определяют дополнительную поправку для спиртового термометра. Она исключает погрешность в показаниях спиртового термометра, возникающую из-за того, что спирт термометра может испаряться и конденсироваться в верхней части капилляра, вследствие чего столбик спирта уменьшается.

Будка (защитная) психрометрическая (рисунок 3) служит для установки термометров и защиты их от осадков, сильных порывов ветра, а также от непосредственного действия солнечной радиации. В то же время конструкция будки обеспечивает свободный обмен находящегося в ней воздуха с наружным воздухом.



Рисунок 3 - Психрометрическая будка

Состоит из трех стенок и дверцы, которые сделаны из двойных жалюзи. Потолок будки сделан сплошным, дно состоит из трех досок; средняя доска укреплена несколько выше двух других и перекрывает зазор между ними. Над потолком будки для уменьшения нагрева укреплена крыша, имеющая небольшой скат. Внутренние размеры будки:

высота 525 мм, ширина 160 мм, глубина 290 мм. Внутри будки к средней доске пола прикреплен железный штатив.



Будка помещается на подставке высотой 175 см с тем, чтобы резервуары установленных в ней психрометрических термометров были на высоте 2м от поверхности земли. С северной стороны будки устанавливается лесенка

Наблюдения за температурой воздуха

Измерение температуры воздуха производится с точностью до $0,1^{\circ}\text{C}$. При измерениях сначала отсчитывают десятые доли градуса, затем целые. В показания термометров вводится шкаловая поправка, которая берется из сертификата термометра.

Измерение максимальной и минимальной температуры воздуха. Для измерения максимальных и минимальных температур применяются максимальный ТМ-1 и минимальный термометры ТМ-2 специальной конструкции.

Максимальный термометр ТМ-1. Это ртутный термометр со шкалами от -35 до $+50^{\circ}\text{C}$ или от -20 до $+70^{\circ}\text{C}$ и ценой деления $0,5^{\circ}\text{C}$.

Минимальный термометр ТМ-2. Это спиртовой термометр со шкалами от -41 до $+21^{\circ}\text{C}$ или от -75 до $+30^{\circ}\text{C}$ и ценой деления $0,5^{\circ}\text{C}$.

Регистрация максимальной и минимальной температуры за промежуток времени между наблюдениями обеспечивается за счет особой конструкции соответствующих термометров.

В максимальном термометре в самом начале капиллярной трубки, около резервуара, сделано сужение (рисунок 4.1). Оно достигается тем, что в капилляр входит конец стеклянного штифта, припаянного к внутренней стенке резервуара; в этом случае проход из резервуара в капилляр сужается. При повышении температуры ртуть, несмотря на сужение, под влиянием сил расширения свободно переходит из резервуара в капилляр.



При понижении температуры ртуть уменьшается в объеме. Однако силы молекулярного сцепления слабые и не в состоянии преодолеть узкую часть капилляра и переместить ртуть в резервуар.

Поэтому ртуть в месте сужения прохода разрывается, а столбик ртути в капилляре остается на месте. Конец ртути, более удаленный от резервуара, показывает ту наибольшую температуру, которая наблюдалась со времени установки термометра. После отсчета максимальной температуры необходимо термометр подготовить к последующему измерению. Для этого берут его и несколько раз сильно встряхивают. Второй отсчет должен совпадать с показанием сухого термометра.



Рисунок 4.1 - Приспособление для сохранения максимальных показаний термометра.

Максимальный термометр устанавливается с небольшим наклоном резервуара вниз.

Минимальный термометр заполняется спиртом. Внутри капилляра находится маленький из темного стекла штифт с небольшими утолщениями на концах (рисунок 4.2). Минимальный термометр устанавливается в горизонтальном положении таким образом, чтобы штифт касался поверхности пленки спирта. При понижении температуры поверхностная пленка, перемещаясь, отодвигает штифт в сторону резервуара; при повышении температуры поверхностная пленка удаляется от резервуара, а штифт, свободно обтекаемый спиртом, остается на месте. Конец штифта, более удаленный от резервуара, показывает минимальную температуру, которая наблюдалась со времени установки термометра.

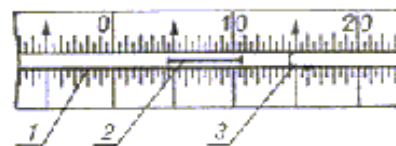


Рисунок 4.2 - Приспособление для отсчета минимальных показаний термометра.
1-капилляр, 2-штифт, 3-мениск спирта



После отсчета термометр следует снять и наклонить его так, чтобы резервуар был выше капилляра, а штифт под влиянием своего веса начнет перемещаться; достигнув мениска, штифт остановится. Таким образом, термометр подготовлен к последующим наблюдениям.

В качестве **датчиков температуры и влажности воздуха** в АМИС применяют датчик температуры и влажности воздуха НМР45D.

Датчик температуры и влажности воздуха НМР45D (рисунок 5) предназначен для дистанционного автоматического измерения температуры и влажности воздуха в месте его установки.

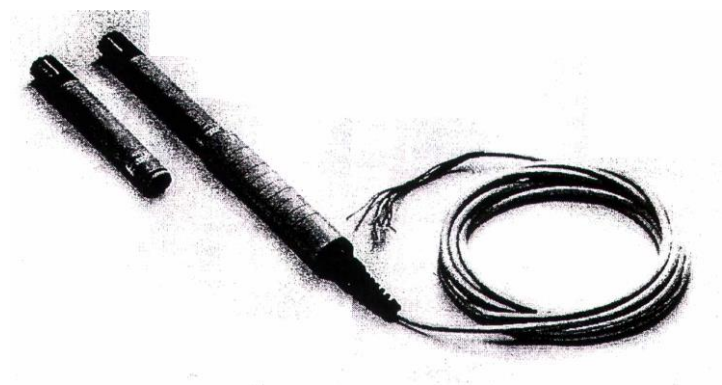


Рисунок 5 - Датчик температуры и влажности воздуха НМР45D

Измерение влажности производится с помощью емкостного датчика HUMICAP^R180, изготовленного из тонкой полимерной пленки. Измерение температуры производится платиновым датчиком сопротивления Pt 100.

Основные технические характеристики датчика:

Диапазон измерения:

- температуры воздуха: от - 40°C до +50°C
- влажности воздуха: от 10 до 100% при температуре от - 30°C до +50°C

Предел допускаемой погрешности измерения:

- температуры воздуха $\pm 0.4^\circ\text{C}$



– относительной влажности $\pm 5\%$

Для обеспечения измерения температуры и влажности воздуха необходимо исключить воздействие на чувствительные элементы (HUMICAP^R180 и Pt 100) посторонних факторов (солнечная радиация, осадки, пыль и т.п).

Чувствительные элементы HMP45D помещаются в специальный корпус (зонд) (рисунок 5), защищенный мембранным фильтром от пыли и других частиц. От осадков и солнечной радиации чувствительные элементы защищены экраном радиационной защиты DTR13 (рисунок 6).



Рисунок 6 - Экран радиационной защиты DTR13

Зонд представляет собой цилиндр, изготовленный из АВС пластика, длиной 240 мм и диаметром от 18,5 до 24 мм. В нижней части зонда находится съемная головка, в которую помещены чувствительные элементы (HUMICAP^R180 и Pt 100). В нижней части съемной головки помещается мембранный фильтр. Через верхнюю часть цилиндра вводятся провода электропитания и связи с промежуточным измерительным преобразователем (системой сбора и обработки данных Milos500) для передачи аналоговых измерительных сигналов. Длина кабеля 3,5 м.



Зонд с чувствительными элементами НМР45D устанавливается внутри экрана радиационной защиты DTR13.

Экран радиационной защиты DTR13 (рисунок 6) жалюзийный состоит из 12 конических колец, изготовленных из полиэстера, укрепленного фиброволокном. Поверхность экрана стабилизирована по ультрафиолетовому излучению. Для защиты от солнечного излучения поверхность, на которую падают прямые солнечные лучи, окрашена в белый цвет; внутренняя поверхность окрашена в черный цвет (для поглощения накопленного тепла). Вентиляция чувствительных элементов (HUMICAPR180 и Pt 100) естественная.

Датчик температуры и влажности воздуха НМР45D водостойчив, пылезащищен, виброустойчив и работоспособен при воздействии инея и росы.

Датчик температуры и влажности воздуха НМР45D используется на аэродромах в составе системы сбора и обработки информации MILOS 500.

Датчики температуры и влажности воздуха устанавливаются на метеоплощадке так, чтобы чувствительный элемент первичного измерительного преобразователя температуры и влажности воздуха НМР45D, помещенного в экран радиационной защиты DTR13 находилась на высоте 2 м над поверхностью земли.

Полученные аналоговые сигналы от датчиков температуры и влажности, Milos500 обрабатывает и передает в центральную систему АМИС по запросу через 60 сек.

Для обеспечения измерений относительной влажности воздуха с заданной точностью в датчике НМР45D предусмотрена периодическая калибровка и поверка первичного измерительного преобразователя влажности. Периодичность калибровки зависит от местных условий эксплуатации датчика НМР45D, но не реже одного раза в год.



Калибровка первичного измерительного преобразователя влажности производится с помощью калибратора НМК15, входящим в состав (комплектацию) датчика температуры и влажности воздуха НМР45D.

Проверка ртутных и спиртовых термометров на точку 0°С

Подготовка термометров к проверке на точку 0°С

Перед проверкой термометров на точку 0 °С необходимо выполнить следующие подготовительные работы:

- произвести внешний осмотр проверяемых термометров в соответствии с порядком его проведения, изложенным в разделе 7.2;
- Выдержать проверяемые термометры, в отапливаемом помещении не менее 24 ч, спиртовые термометры должны быть установлены в вертикальном положении.
- тщательно вымыть все проверяемые термометры (без использования мыла);
- подготовить для проверки чистый металлический сосуд (в качестве сосуда можно использовать осадкосборное или эмалированное ведро) и лупу;
- приготовить необходимое количество льда или чистого снега для заполнения сосуда; лед надо предварительно обмыть пресной водой, чтобы быть уверенным, что на нем нет следов соли;
- непосредственно перед проверкой плотно с горкой заполнить сосуд чистым размельченным (наскобленным) льдом или снегом и внести сосуд в помещение. Снег утрамбовать деревянной лопаткой и смочить холодной водой (можно водопроводной). Вода способствует ускорению начала процесса таяния, растворяет примеси, обеспечивает лучший контакт льда или снега с термометром;
- вставить термометры в снег в вертикальном положении так, чтобы образовался ряд на расстоянии 2 - 4 см от края сосуда. Для погружения термометров нужно предварительно проделать во льду или в снеге чистой



палочкой вертикальное отверстие, куда вставить термометр так, чтобы деление 0° на шкале термометра должно находиться у самой поверхности снега и на 3-5 см выше края сосуда. Если какой-либо термометр опустился слишком глубоко в лед или снег, его вынимают и переставляют в другое место.

Максимальный термометр перед установкой в снег охладить до температуры около минус 8°C (для этого можно использовать морозильную камеру холодильника), затем встряхнуть, чтобы ртуть в капилляре осталась примерно на 6-8 $^{\circ}\text{C}$ ниже нуля, и вставить в приготовленный лед или снег;

– обложить все термометры снегом со всех сторон до числовой отметки шкалы $+10^{\circ}$ и выдержать (с момента установки) ртутные термометры в снегу от 15 до 20 мин, спиртовые - 30 мин;

– по истечении времени очистить термометры от снега со стороны шкалы до уровня отметки 0°C . При помощи лупы произвести отсчеты по поверяемым термометрам с точностью до десятых долей. Необходимо произвести не менее трех отсчетов с интервалом 5 минут по каждому поверяемому термометру. Отсчеты записать в таблицу 1. Рассчитать среднее значение из трех отсчетов с точностью до сотых долей $^{\circ}\text{C}$ и записать результат с обратным знаком в графу 8.

Таблица 1.

Наименование термометра	Заводской номер термометра	Месяц и год выпуска	Место установки	Отсчет по термометру, $^{\circ}\text{C}$			Среднее, $^{\circ}\text{C}$	Сертификатная поправка при 0°C	Разность между средним значением и сертифицированной поправкой,	Принятая поправка, $^{\circ}\text{C}$
				№1	№2	№3				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11



Средние значения, взятые обратным знаком, будут являться поправками поверяемых термометров. В графу 9 таблицы.1 следует записать поправку термометров при $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ из свидетельства о поверке. Результатом проверки считается разность между средним значением, взятым с обратным знаком, и поправкой из поверочного свидетельства - графа 10 таблицы 1.

Анализ результатов проверки

Если разность между средним значением и сертификатной поправкой термометра при $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ для ртутных термометров превышает $\pm 0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$, а для спиртовых $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, то такие термометры необходимо в срочном порядке отослать на поверку.

При анализе отсчетов точки $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ у термометров может обнаружиться следующее:

- у всех термометров отсчеты на точке $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ или слишком завышены, или слишком занижены. Это может быть вызвано недоброкачеством снега или несоблюдением методики проверки термометров. В этом случае проверку необходимо произвести повторно, соблюдая все требования к ее проведению;
- один из термометров имеет „завышенный” отсчет по сравнению с другими. Это может быть вызвано наличием воздушного пузырька либо разрывом столбика ртути ниже отметки $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Такой термометр вынимают, тщательно осматривают и в первом случае бракуют, а во втором встряхивают, снова устанавливая в снег или лед и полностью повторяют проверку;
- один из термометров имеет „заниженный” отсчет по сравнению с другими термометрами, отсчеты по которым близки к $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. В этом случае следует осмотреть капилляр этого термометра выше $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Возможно, что в результате разрыва столбика ртути в верхней части капилляра осталась капля ртути. В этом случае термометр бракуется;



- все максимальные термометры с отчетом выше плюс 0,2 °С следует проверить заново. Возможно, повышение столбика ртути выше отметки 0 °С произошло при переносе термометра до установки снега;
- в случае минимальных термометров неправильные показания могут быть вызваны недостаточной выдержкой в тающем льду или снеге (занижение отсчета) или из-за наличия пузырьков воздуха в столбике спирта (возвышение отсчета). Такие термометры следует забраковать.

Протокол о проверке ртутных и спиртовых термометров на точку 0°С составляется начальником станции в двух экземплярах и направляется в ССИ ЦГМС-Р (УГМС) ежегодно к установленной дате. Графа 11 таблицы Ж.1 заполняется в ССИ.

После анализа результатов проверки первый экземпляр протокола с заключением о годности термометров возвращается на станцию, копия остается в ССИ ЦГМС-Р (УГМС). Результаты проверки термометров следует хранить на станции вместе с поверочными свидетельствами термометров.



Наблюдения за влажностью воздуха

Рассматриваемые вопросы:

Влажность воздуха и её характеристики

Суточный и годовой ход относительной влажности воздуха

Определение влажности воздуха

Приборы для измерения влажности воздуха

Вычисление влажности воздуха

Кодирование и сообщение о температуре воздуха и температуре точки росы

Влажность воздуха и её характеристики

Водяной пар является важной составной частью воздуха, т.к. с его наличием связано образование облаков, осадков, тумана и др.

Влажностью воздуха называется содержание водяных паров в воздухе.

Содержание водяного паров в атмосфере оценивают с помощью характеристик влажности воздуха (гигрометрических характеристик).

а) **парциальное давление водяного пара e** , - давление, которое имел бы водяной пар, находящийся в газовой смеси, если бы он один занимал объем, равный объему смеси при той же температуре

б) наибольшее значение давления водяного пара, возможное при данной температуре называется давлением **насыщенного водяного пара** или давлением **насыщения E**

в) **относительная влажность воздуха f** - отношение парциального давления водяного пара к давлению насыщенного пара над плоской

$$f = \frac{e}{E} \cdot 100 (\%)$$

поверхностью дистиллированной воды при данной температуре



г) **дефицит насыщения** - разность между давлением насыщенного водяного пара и его парциальным давлением

$$d = E - e$$

д) **точка росы** - температура, при которой водяной пар, содержащийся в воздухе, при данном атмосферном давлении становится насыщенным по отношению к плоской поверхности дистиллированной воды.

е) **дефицит точки росы** - разность между температурой воздуха и точкой росы

$$D = t - t_d$$

Парциальное давление **e** измеряется в гПа, н/м² (1 гПа = 10² н/м²)

В тех же единицах измеряется давление насыщенного пара **E** и дефицит насыщения **d**.

Точка росы **T_d** и дефицит точки росы **D** измеряется в градусах Цельсия (⁰ C), относительная влажность воздуха **f** - в %.

Температура точки росы является характеристикой влажности воздуха, поэтому для метеорологического обеспечения полетов влажность воздуха оценивается путем определения **t_d**.

Суточный и годовой ход относительной влажности воздуха

Суточный ход относительной влажности f зависит от суточного хода парциального давления пара **e** и давления насыщенного пара **E**.



С повышением температуры испаряющей поверхности увеличивается скорость испарения e , следовательно, увеличивается E . Но E растет значительно быстрее, чем e , поэтому с повышением температуры поверхности, а с нею и температура воздуха относительная влажность f уменьшается. Максимум относительной влажности наступает перед восходом солнца, а минимум - в 15-16 час. Дневное понижение относительной влажности особенно резко выражено над континентами в летнее время года, когда в результате турбулентного переноса пара вверх парциальное давление e внизу уменьшается, а вследствие роста температуры воздуха давление насыщенного водяного пара E увеличивается. Поэтому амплитуда суточных колебаний относительной влажности f на суше значительно больше, чем над водными поверхностями.

В годовом ходе относительной влажности максимум среднемесячных ее значений наблюдается в самый холодный месяц, а минимум - в самый теплый.

Методы и средства измерения влажности воздуха

Наиболее распространенными методами измерения влажности воздуха являются **психрометрический и гигрометрический**

Психрометрический метод. Этот метод широко применяется для определения влажности воздуха и до настоящего времени является основным методом. В нем используется зависимость интенсивности испарения с водной поверхности от дефицита влажности соприкасающегося с ней воздуха. Интенсивность испарения определяется путем измерения понижения температуры термометра, с поверхности которого происходит испарение. Этот метод применяется до температуры воздуха -10°C .

Гигрометрический метод. Метод определения влажности воздуха основан на изменении линейных размеров обезжиренного человеческого волоса или



органической животной пленки в зависимости от изменений влажности воздуха. Применяется при температуре воздуха -10°C и ниже.

Для измерения влажности воздуха используются следующие приборы: стационарный психрометр и гигрометр волосной метеорологический ТУ 25-04-1862-72.

Психрометр – прибор для определения влажности воздуха.

Принцип действия психрометра основан на измерении равновесной температуры смоченного термометра, которая определяется испарением дистиллированной воды с поверхности резервуара, и притоком тепла к резервуару из воздуха и по телу термометра.

Это обеспечивается конструкцией термометров.

Стационарный психрометр ТМ-4 ГОСТ 112-78 состоит из двух одинаковых психрометрических (ртутных) термометров с ценой деления $0,2^{\circ}\text{C}$ и резервуарами шарообразной формы. Оба термометра должны иметь одинаковые пределы шкал и близкие по высоте положения соответствующих отметок шкалы. Термометры устанавливаются в психрометрическую будку вертикально на специальном штативе.

Под правым термометром на 2 см ниже резервуара, устанавливается стаканчик с дистиллированной водой. Резервуар этого термометра повязывают батином конец которого погружают в воду, этим должно обеспечиваться равномерное смачивание поверхности батиста, плотно облегающего резервуар термометра. Термометр, обернутый батином называют смоченным. Второй термометр показывает температуру

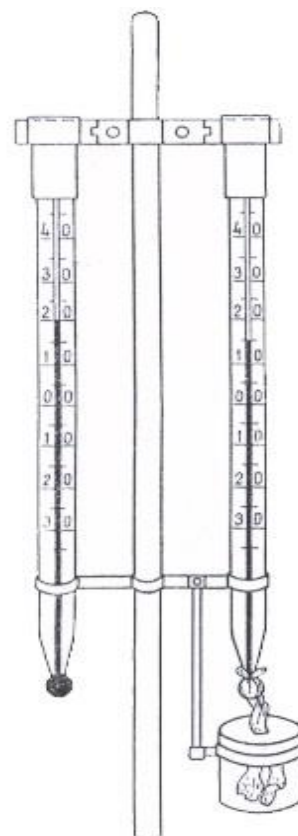


Рисунок 5 - Стационарный психрометр



воздуха, и называют его сухим.

Для получения правильных значений влажности необходимо, чтобы батист на резервуаре смоченного термометра должен быть чистым, мягким, влажным, поэтому если он загрязнился, его необходимо заменить новым. Батист термометра должен быть хорошо смочен за 10-15 мин. до отсчета.

Показания сухого и смоченного термометров отсчитывают с точностью 0,1°C, при этом сначала отсчитывают десятые доли градуса, а потом целые.

При температурах ниже 0°C давление насыщенного водяного пара имеет малые значения, вследствие чего относительно небольшая ошибка в определении температуры по сухому и смоченному термометрам вызывает большую ошибку в определении влажности.

С наступлением первых заморозков батист смоченного термометра обрезают непосредственно под шариком, а психрометрический стаканчик убирается из будки. За 30 мин до наблюдения стаканчик с дистиллированной водой комнатной температуры приносят в психрометрическую будку и погружают шарик термометра, обернутый батистом, в воду. При этом наблюдают за показаниями термометра, необходимо, чтобы температура у смоченного термометра поднялась на 2-3° выше нуля. После отсчета по психрометру, необходимо определить в каком состоянии находится вода на батисте: в жидком (вода) или замерзшем (лед). Чтобы определить, лед или вода на батисте, можно коснуться карандашом нижнего конца батиста. Если на батисте была переохлажденная вода, то прикосновение твердого предмета вызовет ее замерзание. В этом случае показание смоченного термометра вначале повысится, а затем понизится. Если на батисте был лед, то показания смоченного термометра не изменятся.

При записи отсчета по смоченному термометру рядом отмечается буквой «л», наличие на батисте льда и буквой «в» наличие на нем воды.



Станционный психрометр используется для определения влажности воздуха при положительной температуре и при отрицательной до -10°C .

Примечание: иногда (при температуре близкой к 0°C) бывают случаи, когда в момент отсчета смоченного термометра столбик ртути непрерывно перемещается по шкале. В таких случаях производятся повторные отсчеты по сухому и смоченному термометрам, спустя 3-5 мин. после первого отсчета. Если и при вторичном отсчете показания смоченного термометра не устанавливаются, то для определения влажности пользуются отсчетом по гигрометру.

Гигрометр волосной метеорологический ТУ 25-04-1862-72. предназначен

для измерения влажности воздуха при температуре воздуха ниже -10°C .

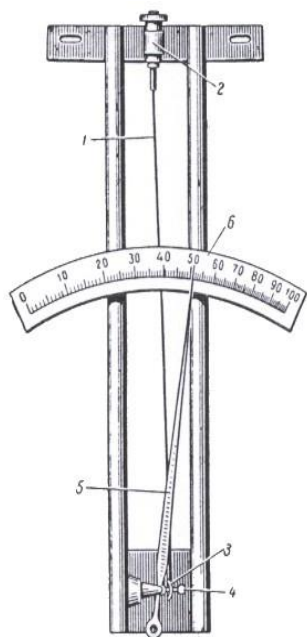


Рисунок 6 - Гигрометр волосной

Действие волосного гигрометра основано на свойстве обезжиренного человеческого волоса изменять свою длину при изменении влажности воздуха.

Волосной гигрометр состоит из рамки и обезжиренного человеческого волоса, верхний конец которого закреплен с помощью клина и клея в отверстии хвостовика винта, а нижний связан со стрелкой. Винт с помощью гайки может перемещаться в скобе, укрепленной в верхней части рамки. На рамке укреплена шкальная пластина. Нижний конец волоса при помощи деревянного клина и клея закреплен на стерженьке, на

конце которого имеется грузик. Стержень входит в отверстие оси и закрепляется винтом. Ось установлена в кронштейне, укрепленном в нижней части рамки; таким образом, стрелка под воздействием волоса и грузика может поворачиваться вместе с осью, перемещаясь вдоль шкалы. Передвигая стержень по оси, можно



менять чувствительность гигрометра, так как при этом меняется длина рычага, прикрепленного к кулачку, за который волос перемещает стрелку.

При помощи винта-регулятора можно устанавливать стрелку на любом нужном делении шкалы. На шкальной пластине нанесены неравномерно 100 делений, уменьшающихся от 0 до 100. Отсчеты по шкале производятся с точностью до целого деления непосредственно после отсчетов по психрометру. При каждом отсчете по волосному гигрометру необходимо проверить, не испытывает ли ось стрелки большого трения в цапфах. Для этой цели после отсчета отводят карандашом стрелку гигрометра немного влево и проверяют, возвращается ли она в начальное положение. Конец стрелки должен перемещаться вдоль шкалы вблизи нее, но не задевая её.

Волосной гигрометр является относительным прибором, но в зимнее время (при температуре ниже -10°C) он является основным прибором, по которому определяется влажность воздуха. Чтобы получить действительную относительную влажность, необходимо в показания гигрометра ввести поправки, которые находят путем сравнения показаний гигрометра с показаниями психрометра, т.е. показания гигрометра исправляются поправками, которые определяются по переводным графикам и таблицам. Для построения надежного переводного графика достаточно иметь около 100 точек, т.е. использовать 100 сравнительных отсчетов во все сроки наблюдений. Желательно, чтобы половина этих точек была получена при температуре от 0° до -10°C . Время начала проведения параллельных наблюдений по психрометру и гигрометру устанавливается УГМС.

Переводной график для гигрометра составляется на специальном бланке формы ТМ-9 или на миллиметровой бумаге (рисунок 7).

Проводят две взаимно перпендикулярные оси, на вертикальной оси откладывают значения относительной влажности по данным психрометра от 100



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ
Государственное бюджетное профессиональное образовательное учреждение
Иркутской области
«Иркутский гидрометеорологический техникум»

до 10% (масштаб 1:1% или 2:1% на миллиметровке), а на горизонтальной оси – показания гигрометра, уменьшающиеся слева направо от 100%.

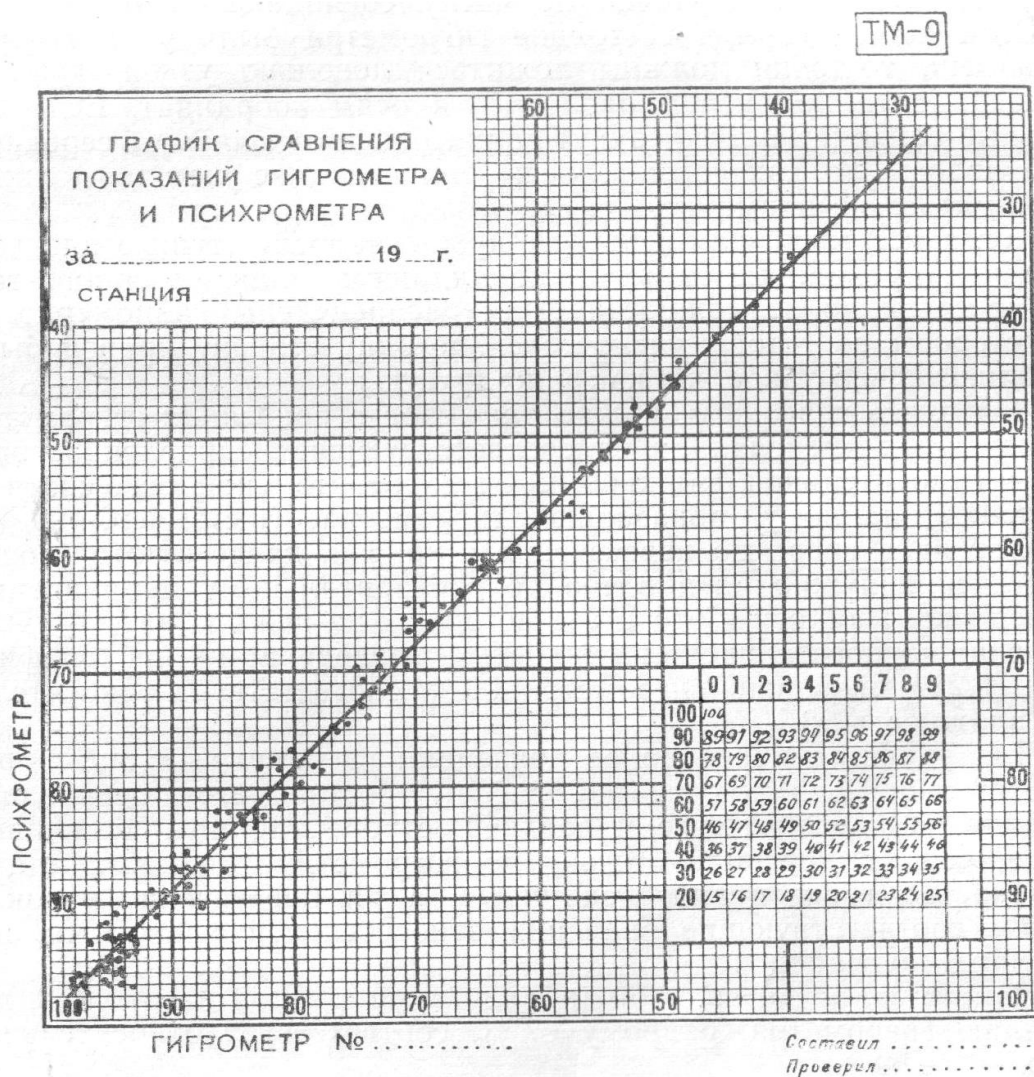


Рисунок 7 - График сравнения показаний гигрометра и психрометра ТМ-9

Значения относительной влажности по психрометру и относительной влажности по гигрометру, измеренные одновременно, отмечают на этом графике одной точкой, лежащей на пересечении линий, соответствующих этим значениям. Если несколько точек попадут на одно и то же место, то к поставленной уже точке добавляются черточки по числу совпадающих точек. Если наблюдения и



состояние гигрометра были удовлетворительными, то точки ложатся довольно узкой полосой, идущей почти под углом около 45^0 к осям координат.

Когда все точки нанесены, проводится от руки карандашом плавная линия так, чтобы число точек по одну сторону кривой было приблизительно такое же, как и по другую.

Для удобства перехода от показаний гигрометра к значениям относительной влажности по графику составляется переводная таблица. По вертикали – десятки, по горизонтали – единицы, а на пересечении строк и граф – соответствующие значения относительной влажности, полученные по графику.

Например, по переводной таблице (рисунок 7), показанию гигрометра, равному 67%, соответствует относительная влажность 64%.

Вычисление влажности воздуха

Вычисление влажности производится с помощью психрометрических таблиц (3-е издание, 2009г).

Психрометрические таблицы, как регламентирующий метеорологические наблюдения документ, имеются на всех АМСГ (АМЦ). Разработка таблиц выполнена в соответствии с требованиями ГОСТ 8.524-85.

Психрометрические таблицы содержат 11 таблиц. Для вычисления влажности воздуха применяют таблицы 1-3.

Таблица 1 служит для определения характеристик влажности по измеренным значениям температуры воздуха и относительной влажности, т.е. при гигрометрическом определении влажности воздуха;

Таблица 2 предназначена для определения характеристик влажности по измеренным значениям температуры сухого и смоченного термометров, т.е. при психрометрическом определении влажности воздуха;



Таблица 3 служит для определения поправки к парциальному давлению водяного пара. Используется в том случае, если при измерении влажности воздуха психрометром атмосферное давление отличается от 1000гПа.

Вычисление влажности воздуха по данным стационарного психрометра

После снятия показаний стационарного психрометра для вычисления влажности воздуха используется **таблица 2**.

Таблица 2 (наиболее используемая) составлена на основании психрометрической формулы для парциального давления водяного пара:

$$e = E'_n - A * P (t - t') (1 + 0,00115 t'),$$

когда на батисте смоченного термометра «вода»

$$\text{и } e = E'_i - 0,88229 A * P (t - t'),$$

когда на батисте смоченного термометра «лед».

где E'_n и E'_i - давление насыщенного водяного пара над плоской поверхностью чистой воды и чистого льда при температуре смоченного термометра;

A- номинальное значение психрометрического коэффициента,

P – давление воздуха,

$t - t'$ - разность между исправленными значениями температуры сухого и смоченного термометров.

Фрагмент таблицы 2



t'	t_d	e	f	d
6,5				
6,5	6,5	9,71	100	0,00
6,4	6,3	9,56	99	0,15
6,3	6,1	9,42	97	0,29
6,2	5,8	9,27	96	0,44

температура воздуха
(исправленное значение
сухого термометра)

где t' - температура по смоченному термометру;

t_d - точка росы;

e – парциальное давление водяного пара;

f – относительная влажность воздуха;

d – дефицит насыщения.

Все характеристики влажности вычислены для температуры воздуха в пределах от $-20,0^{\circ}\text{C}$ до $+49,9^{\circ}\text{C}$ через $0,1^{\circ}\text{C}$ для измерений по стационарному психрометру при атмосферном давлении 1000 гПа . Температура воздуха указана над каждой колонкой.

При определении характеристик влажности по показаниям психрометрических термометров в таблице 2 по температуре сухого термометра находят колонку, а по температуре смоченного термометра t' - строку с соответствующими значениями t_d , e , f , и d . При температуре смоченного термометра t' ниже 0°C на батисте может наблюдаться «лед» или «вода».

Учитывая фазовое состояние воды на батисте («лед» или «вода» указано в верхнем углу колонки), а также температуру сухого термометра выбираем нужную колонку. По температуре смоченного термометра t' находим строку с нужными значениями характеристик влажности.



Если при измерении влажности психрометром атмосферное давление отличается от 1000 гПа, то в найденные значения следует внести поправку на давление.

Поправка на давление к парциальному давлению водяного пара (Δe) определяется по таблице 3.

Найденная по таблице 3 поправка Δe прибавляется к найденному из таблицы 2 значению парциального давления e_{1000} , если $P < 1000$ гПа и вычитается, если $P > 1000$ гПа.

$$e_{\text{испр}} = e_{1000} \pm \Delta e$$

По исправленному значению $e_{\text{испр}}$, в той же колонке таблицы 2 находят строку с ближайшим к $e_{\text{испр}}$ значение парциального давления e и снимаем остальные характеристики влажности (t_d , f , d).

Алгоритм вычисления характеристик влажности воздуха:

1. В таблице 2 по температуре сухого термометра с учетом фазового состояния воды на батисте (лед или вода) находим колонку, в которой по значению температуры смоченного термометра t' находим в строке значение упругости водяного пар e_{1000} ;

2. Если атмосферное давление на станции отличается от 1000 гПа, то в значение e_{1000} необходимо ввести поправку на разность этих давлений. Для этого:

- определяем $t - t'$ (разность значений сухого и смоченного термометров);
- округляем атмосферное давление P до ближайших десятков;
- по таблице 3 на пересечении P и $t - t'$ определяем Δe .

Примечание: Если температура сухого термометра $7,0^\circ\text{C}$ и более, то Δe округляется до десятых долей.

3. В значение e_{1000} вводим поправку Δe

$$e_{\text{испр}} = e_{1000} \pm \Delta e.$$



4. Возвращаемся к исходной температуре сухого термометра (таблица 2) и в колонке **e** находим значение **e_{испр}** (или ближайшее к нему) и в данной строке снимаем соответствующие значения **e**, **t_d**, **f**, **d**

Пример 1. Дано: $t = 18,6^{\circ}\text{C}$ $t' = 11,9^{\circ}\text{C}$ $P = 967,9$ гПа

Вычислить характеристики влажности:

e, **f**, **d**, **t_d** – ?

1) $e_{1000} = 8,6$ гПа (по таблице 2)

2) $t - t' = 18,6 - 11,9 = 6,7^{\circ}$.

$P \approx 970$ гПа.

По таблице 3 (вода) на пересечении $6,5^{\circ}$ и 970 гПа находим $\Delta e = 0,15 \approx 0,2$ гПа (т.к. $t_{\text{сухого}} > 7,0^{\circ}$, поправка Δe округляется до десятых долей градуса)

3) $e_{\text{испр}} = e_{1000} + \Delta e = 8,6 + 0,2 = 8,8$ гПа

4) В таблице 2 в колонке **e** есть значения 8,7 и 8,9. Наше $e_{\text{испр}} = 8,8$ гПа находится посередине. Округляем в большую сторону и берем значения $e = 8,9$ гПа, $t_d = 5,3^{\circ}\text{C}$, $f = 42\%$, $d = 12,6$ гПа

Пример 2. Дано: $t = -6,8^{\circ}\text{C}$

$t' = -9,9^{\circ}$ (на батисте лед)

$P = 983,4$ гПа

Вычислить: **e**, **f**, **d**, **t_d** - ?

1. По таблице 2 $e_{1000} = 0,46$ гПа

2. $t - t' = -6,8 - (-9,9) = 3,1^{\circ}\text{C}$

$P \approx 980$ гПа

По таблице 3 «лед» находим $\Delta e \approx 0,04$ гПа (температура воздуха ниже 7°C , поправка Δe не округляется)

3. Находим $e_{\text{испр}} = e_{1000} + \Delta e = 0,46 + 0,04 = 0,50$ гПа

4. По таблице 2 («лед») в колонке **e** значение $e_{\text{испр}} = 0,50$ отсутствует, оно находится между 0,46 и 0,55; выбираем ближайшее значение к 0,50 - это 0,46.



По горизонтали снимаем характеристики влажности $e = 0,46$ гПа, $f = 13\%$, $d = 3,23$ гПа, $t_d = -31,2$ °C

Определение характеристик влажности с помощью волосного гигрометра

Для определения характеристик влажности воздуха по измеренным значениям температуры воздуха и относительной влажности (при температурах ниже -10°C) применяется таблица 1.

Таблица 1 служит для определения температуры точки росы t_d и дефицита насыщения водяного пара d по измеренным значениям температуры воздуха t и относительной влажности f . Все характеристики рассчитаны для значений относительной влажности от 5 до 100% через 5% и для температуры от $-85,4$ до $-9,9^{\circ}\text{C}$. Температура воздуха указана над каждой колонкой.

Фрагмент таблицы 1

Пример расположения граф в колонке

f	e	t_d	d
от -29,6 до -29,5			
100	0,530	-29,6	0,000
95	0,503	-30,1	0,027
90	0,477	-30,7	0,053
85	0,450	-31,3	0,080
80	0,424	-32,0	0,106
75	0,397	-32,6	0,133

температура воздуха

где f – относительная влажность воздуха, переведенная по графику ТМ-9;
 e – парциальное давление водяного пара;
 t_d – точка росы;
 d – дефицит насыщения.



Пример 1:

Дано: $t = -33,6^{\circ}\text{C}$

отсчет по гигрометру 83%.

Рассчитать характеристики влажности:

e, t_d, d, f - ?

Примечание: для перевода показаний гигрометра в показания психрометра использовать переводной график ТМ-9.

Алгоритм вычисления характеристик влажности по таблице 1.

1. По переводной таблице графика ТМ-9 исправляем значения гигрометра в показания психрометра ($f = 82\%$);
2. Находим колонку с температурой $-33,6^{\circ}\text{C}$ (данная температура входит в пределы от $-33,7^{\circ}$ до $-33,5^{\circ}\text{C}$).
3. В графе f находим значение относительной влажности $f = 80\%$ (т.к. 82% ближе к 80%) и по горизонтали снимем значения:

$f = 80\%, e = 0,288 \text{ гПа}, t_d = -35,9^{\circ}\text{C}, d = 0,072 \text{ гПа}.$

В дневник погоды e и d записываются с точностью до сотых долей градуса:

$f = 82\%, e = 0,29 \text{ гПа}, t_d = -35,9^{\circ}\text{C}, d = 0,07 \text{ гПа}.$

Пример 2:

Дано: $t = -21,8^{\circ}\text{C}$ и $f = 71\%$ (переведенная по переводной таблице графика ТМ-9).

Определить e, t_d, d, f



Находим колонку с $t = -21,8^{\circ}\text{C}$ и строку $f = 70\%$ (т.к. в таблице даны значения влажности через 5%, а $f = 71\%$ ближе к 70%) и на горизонтали снимаем остальные значения:

$f = 71\%$, $e = 0,752$ гПа, $t_d = -25,8^{\circ}\text{C}$, $d = 0,322$ гПа.

После округления: $f = 71\%$, $e = 0,75$ гПа, $t_d = -25,8^{\circ}\text{C}$, $d = 0,32$ гПа.

***Примечание:** Таблицей 1 можно пользоваться и в случае, если вместо относительной влажности измерена температура точки росы. В этом случае колонка также находится по измеренной температуре воздуха t , а строка по ближайшему к измеренному значению t_d .*

Пример:

Дано: $t = -29,7^{\circ}\text{C}$ и $t_d = -39,9^{\circ}\text{C}$.

Определить e , d , f

Находим колонку с $t = -29,7^{\circ}\text{C}$ (от $-29,8^{\circ}$ до $-29,7^{\circ}\text{C}$), а в графе t_d находим близкое значение измеренной точки росы $-39,9^{\circ}$. В колонке есть $-39,1^{\circ}\text{C}$ и $-40,4^{\circ}\text{C}$. Значение $-39,9^{\circ}\text{C}$ ближе к $-40,4^{\circ}\text{C}$. Соответственно на данной горизонтали $f = 35\%$, $e = 0,182$ гПа, $d = 0,338$ гПа.

Кодирование и сообщение о температуре воздуха и температуре точки росы

Наблюдения за температурой воздуха и температурой точки росы, предназначенные для сводок METAR/SPECI, должны быть репрезентативными для всего комплекса ВПП.

Для кодирования температуры воздуха и точки в кодовой форме METAR/SPECI используется группа **ТТ/ T_dT_d**,



где TT – температура воздуха,

$T_d T_d$ – температура точки росы.

Температура воздуха и точки сообщается в целых градусах Цельсия. Значения температуры воздуха и точки росы, содержащие $0,5^{\circ}\text{C}$, округляются до ближайших более высоких значений в целых градусах Цельсия.

При указании температуры ниже 0°C перед значением температуры следует ставить символ «М», что означает минус.

Округленным целым величинам градусов в диапазоне от -9°C до $+9^{\circ}\text{C}$ должен предшествовать «0».

Например:

- температура $5,5^{\circ}\text{C}$ кодируется как 06;
- температура $-5,5^{\circ}\text{C}$ кодируется как M05;
- температура $16,2^{\circ}\text{C}$ кодируется как 16;
- температура $-25,9^{\circ}\text{C}$ кодируется как M26.