

ГЛАВА 2. ИЗМЕРЕНИЯ И НАБЛЮДЕНИЯ НА АВИАЦИОННЫХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ СТАНЦИЯХ

2.1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

2.1.1 Определения

В настоящей главе рассматриваются требования к наблюдениям на авиационных метеорологических станциях, а также используемые для этого приборы и методы. В то время как целью синоптических наблюдений является получение по измерениям в одном месте репрезентативного значения величины для довольно большого района, метеорологические наблюдения для авиационных целей обычно выполняются в нескольких точках аэродрома и прилегающей к нему территории и с большей частотой, чтобы получить репрезентативную картину для таких достаточно ограниченных районов, как зона захода на посадку, зона приземления и зона взлета.

Большая часть необходимых метеорологических измерений — это по существу те же, что производятся для других применений, и они описываются в других главах настоящего Руководства. Исключениями являются дальность видимости на взлетно-посадочной полосе (ДВВП), наклонная дальность видимости и сдвиг ветра в приземном слое атмосферы, которые используются только для рассматриваемой области.

2.1.2 Единицы измерения

Для измерения и передачи значений метеорологических величин в авиационных целях используются те же единицы, что и для других применений; исключение составляют:

- а) приземный ветер может измеряться и передаваться в метрах в секунду или в узлах;¹ а направление ветра² — передаваться в градусах и измеряться по часовой стрелке от географического севера³ (см. 2.2.1);
- б) высота нижней границы облаков может измеряться в метрах или футах.

Выбор единиц измерений является вопросом национальной практики и зависит от требований авиационных органов, определяющих эту практику.

2.1.3 Требования

Требования к авиационным наблюдениям приводятся в *Техническом регламенте* (ВМО, 2016). Подробные инструкции по процедурам и практикам приводятся в публикации ВМО (2014). Полезные инструкции по проведению наблюдений и мониторингу метеорологических условий приводятся в публикации ВМО (WMO, 2003). Особое внимание следует уделить авиационным метеорологическим станциям, установленным на сооружениях в открытом море в поддержку полетов вертолетов (ICAO, 1996).

¹ Используемая единица скорости ветра определяется решением на национальном уровне. Однако основная единица скорости ветра, предписанная в *Техническом регламенте*, том II (ВМО, 2013), — «метр в секунду», а «узел» разрешается использовать в качестве альтернативной единицы измерения, не входящей в систему СИ (дальнейшая информация приводится в публикации ICAO, 2010).

² Направление, откуда дует приземный ветер.

³ Поскольку направление ветра, передаваемое на борт воздушного судна для целей посадки или взлета, может быть преобразовано в магнитные градусы, устройство отображения в органе управления воздушным движением обычно показывает направление относительно северного магнитного полюса.

Требования к погрешности, дискретности и диапазону наблюдений, а также к достигаемому в настоящее время качеству метеорологических измерений приводятся в томе I, глава 1, а к желательной в оперативном отношении точности некоторых измерений — в *Техническом регламенте*, том II, часть II, добавление А.

Несмотря на отличные конструктивные характеристики современных воздушных судов, факторы, связанные с погодой, все еще оказывают заметное влияние на безопасность их эксплуатации. Надежность и репрезентативность наблюдений на аэродромах очень важны для обеспечения безопасных посадок и взлетов. Параметры ветра определяют выбор той или иной взлетно-посадочной полосы, а также максимальный взлетный и посадочный вес. Температура также является важной характеристикой, особенно в аэропортах, находящихся в жарких странах; она влияет на силу тяги двигателей, в связи с чем целесообразно уменьшение полезной нагрузки либо использование для взлета более длинной взлетно-посадочной полосы.

Регулярные наблюдения должны проводиться на авиационных метеорологических станциях в сроки и с частотой, которые устанавливаются Членом ВМО в целях удовлетворения потребностей национальной и международной аэронавигации при должном учете региональных аэронавигационных мероприятий. Специальные и другие нерегулярные наблюдения должны проводиться на той же основе. Регулярные наблюдения на аэродромах следует проводить через час или полчаса круглосуточно, в течение суток или части суток либо в то время, когда выполняются полеты. Специальные наблюдения должны выполняться, когда между регулярными наблюдениями происходят определенные изменения приземного ветра, видимости, ДВВП, текущей погоды и/или облачности. Эти изменения перечислены в *Техническом регламенте*, том II, часть II, приложение 3, 2.3.2. Такие наблюдения в форме закодированных сводок типа METAR или SPECI включаются в международный обмен данными между авиационными метеорологическими станциями. Сводки других типов предназначены только для обеспечения работы авиации и должны подготавливаться в форме, которая определяется совместно метеорологическими службами и руководством аэропорта.

Ввиду важности метеорологических наблюдений для безопасности полетов воздушных судов необходимо, чтобы наблюдатели прошли правильную подготовку и обладали хорошим зрением. Подготовка наблюдателей должна осуществляться на базовых курсах и регулярных курсах усовершенствования (см. дополнительную информацию в *Техническом регламенте*, том I, часть II, 4, и в публикации ВМО (2012)).

Размещение, состав и выполняемые функции метеорологических систем определяются в *Техническом регламенте*, том II, часть I, 4, а технические спецификации и подробные критерии — в *Техническом регламенте*, том II, часть II, приложение 3. Эти спецификации кратко описываются ниже.

Особое внимание на авиационных метеорологических станциях необходимо уделить правильному выбору места для выполнения наблюдений или размещения приборов, чтобы гарантировать репрезентативность наблюдаемых величин на территории аэродрома или вблизи него. В некоторых случаях, когда необходима информация с большой территории, может потребоваться установка нескольких приборов, с тем чтобы обеспечить репрезентативность измеряемых с их помощью метеорологических величин для всей территории. Например, на длинных взлетно-посадочных полосах или на больших аэродромах с несколькими взлетно-посадочными полосами, где зона захода на посадку, зона приземления и зона взлета могут отстоять друг от друга на 2—5 км, значения различных параметров, влияющих на эксплуатацию воздушных судов, таких, как ветер, высота нижней границы облаков, ДВВП и т. п., измеренные на одном конце полосы, могут отличаться от значений в другом месте той же взлетно-посадочной полосы или на других участках взлетно-посадочного комплекса, представляющих интерес для аэронавигации.

На всех аэродромах места для проведения наблюдений следует выбирать так, чтобы измеряемые значения различных метеорологических величин были репрезентативными для самого аэродрома и/или для соответствующего участка конкретной взлетно-посадочной полосы или взлетно-посадочного комплекса. На аэродромах, где отсутствует

практика точного захода на посадку и точной посадки (взлетно-посадочные полосы визуального или неточного захода на посадку), данный критерий репрезентативности носит менее ограничительный характер, чем на аэродромах с взлетно-посадочными полосами точного захода на посадку (а именно - взлетно-посадочные полосы категории I, II или III (см. ВМО, 2014, и ICAO, 2011)).

При выборе площадок для размещения приборов на аэродромах особенно важно, чтобы приборы и работа с ними не представляли опасности для аэронавигации, и чтобы присутствие или движение воздушных судов на аэродроме (руление, разбег при взлете, приземление, размещение на стоянке и т. п.) и различное аэродромное оборудование чрезмерно не влияли на измеряемые величины, но при этом удовлетворялись оперативные требования к месту проведения наблюдений и установке приборов.

Типы используемых приборов, их характеристики и методы представления и передачи измеренных значений метеорологических величин также важны. Метеорологические приборы следует устанавливать, эксплуатировать и обслуживать в соответствии с практикой, процедурами и спецификациями, изложенными в настоящем Руководстве. Авиационные метеорологические станции должны инспектироваться достаточно часто, с тем чтобы обеспечить высокое качество наблюдений, правильную работу всех приборов и их индикаторов, а также чтобы не происходило существенных изменений в размещении приборов (*Технический регламент*, том II, часть I, 4.1.4).

Конструкция приборов должна предусматривать дистанционное считывание, одновременно в органах управления воздушным движением (УВД) и на метеорологических станциях и в бюро, соответствующих значений следующих метеорологических элементов: приземный ветер, температура, точка росы, атмосферное давление, текущая погода, видимость, ДВВП (если взлетно-посадочные полосы оборудованы для взлета и посадки в тумане) и высота нижней границы облаков, которые должны быть репрезентативными для соответствующих зон посадки и взлета. Особенно полезны на авиационных метеорологических станциях системы автоматических приборов для измерения высоты нижней границы облаков и ДВВП.

На аэродромах, где осуществляется точный заход на посадку, и особенно эксплуатируемых по категориям II, III A и III B, и/или на аэродромах с высокой интенсивностью воздушного движения предпочтительнее использовать комплексные автоматические системы получения, обработки и распространения/отображения в реальном масштабе времени значений метеорологических элементов, влияющих на выполнение посадок и взлетов. Эти автоматические системы должны предусматривать возможность ручного ввода метеорологических данных, которые нельзя измерить автоматическими средствами (*Технический регламент*, том II, часть I, 4.1.7). Требования к автоматическим метеорологическим системам наблюдений определены в *Техническом регламенте*, том II, часть II, приложение 3.

2.1.4 Методы

При выполнении метеорологических измерений на аэродромах используются по существу те же методы, что и для других метеорологических применений; они описываются в других главах настоящего Руководства. В данной главе приводятся некоторые требования к размещению приборов и выполнению измерений, а также некоторые алгоритмы, специфичные для авиационного применения.

2.2 ПРИЗЕМНЫЙ ВЕТЕР

2.2.1 Общие сведения

Для авиации первостепенное значение имеют измерения параметров воздушного потока, а также сдвига ветра в приземном слое атмосферы вблизи зон взлета и посадки.

Соответствующие правила изложены в *Техническом регламенте*, том II, часть I, 4.1, а подробное описание — в части II, приложение 3. На международных аэродромах органы УВД, командно-диспетчерские пункты и диспетчерские пункты управления заходом на посадку обычно оборудованы индикаторами скорости ветра и направления ветра, и операторы, обслуживающие воздушное движение, передают показания этих приборов на борт прибывающих и вылетающих воздушных судов. Чтобы обеспечить согласованность данных, индикаторы органов УВД и метеорологической станции следует подключать к одним и тем же датчикам.

Измеряются средние направление и скорость ветра, а также его порывы и определенные значительные изменения направления и скорости. Содержание сводок с данными о ветре, распространяемых за пределы аэродрома (*Технический регламент*, том II, часть II, приложение 3, 4.1.5), имеют то же, что и содержание сводок синоптических наблюдений (10-минутные средние значения, а также направление, сообщаемое по отношению к географическому северу)⁴, а передаваемые значения должны быть репрезентативными для всех взлетно-посадочных полос. Для местных регулярных и специальных сводок и для дисплеев индикатора ветра, используемых в местах расположения органов УВД (*Технический регламент*, том II, часть II, приложение 3, 4.1.3.1), период осреднения и для скорости, и для направления ветра составляет 2 минуты, а значения должны быть репрезентативными для используемой взлетно-посадочной полосы. Несмотря на то, что направление ветра сообщается по отношению к географическому северу и выражается в «истинных градусах» (*Технический регламент*, том II, часть I, 4.6.1, и часть II, приложение 3, 4.1.5.1), все еще существует распространенная практика сообщения персоналом органов УВД на борт воздушного судна относительно северного магнитного полюса («магнитные градусы»). Порывы ветра следует определять по трехсекундным скользящим средним значениям. Следует ознакомиться с томом I, глава 5, и томом V, глава 2, настоящего Руководства, где рассматриваются меры, которые должны быть предусмотрены в отношении анемометра, предназначенного для измерения средних значений, порывов ветра, а также изменчивости скорости и направления ветра. Предпочтение должно отдаваться векторному осреднению, а не скалярному.

Результаты измерений параметров ветра на аэродромах, таких как средние и экстремальные значения и т. д., должны рассчитываться и отображаться предпочтительно автоматически, особенно, если на различных взлетно-посадочных полосах используется несколько датчиков. Когда требуется несколько датчиков, индикаторы должны быть четко помечены в целях определения взлетно-посадочных полос и их участков, мониторинг которых осуществляется каждым датчиком.

2.2.2 Приборы и их установка

На авиационных метеорологических станциях для наблюдений за ветром обычно используются приборы того же типа, что описаны в томе I, глава 5. Динамические характеристики датчиков направления и скорости должны соответствовать требованиям, изложенным в данной главе.

Датчики направления и скорости следует устанавливать на высоте примерно 10 м над взлетно-посадочной полосой, и они должны обеспечивать измерения, репрезентативные для средних зон отрыва и приземления взлетно-посадочной полосы.

Поскольку показания датчиков ветра, устанавливаемых на аэродромах, должны быть репрезентативными для зон взлета или посадки, необходимо избегать любых возмущений или турбулентности, создаваемых воздушными судами (ложная информация о порывах ветра из-за взлетов и посадок). По аналогичным причинам их не следует размещать слишком близко к зданиям или холмам, или размещать в зонах

⁴ Обычно именуется как «истинный» север с единицей измерения «истинный градус». Слово «истинный» в словосочетаниях «истинный север» или «истинный градус» не следует путать с «истинным ветром» (определено ВМО, 1992а). «Истинный ветер» представляет собой вектор ветра относительно поверхности Земли. Для движущегося объекта, такого как воздушное судно — это векторная сумма кажущегося ветра (а именно - вектор ветра относительно движущегося объекта) и скорости объекта.

с особыми микроклиматическими условиями (морской бриз, частые штормы и т. п.). Предпочтительным вариантом размещения ветроизмерительных приборов является размещение на открытой местности, которая определяется как район, где расстояние между анемометром и любым препятствием, по крайней мере, в 10 раз больше высоты препятствия.

Во избежание перерывов передачи данных в органы УВД рекомендуется обеспечить установку дополнительного оборудования, находящегося в «холодном» или «горячем» резерве на случай выхода из строя основного прибора. Там, где того требуют местные условия, следует устанавливать один и более комплектов датчиков на каждой взлетно-посадочной полосе. В таких случаях рекомендуется использовать цифровую технику, поскольку она позволяет передавать по одному или двум телефонным проводам данные с большого числа датчиков, а также использовать цифровые индикаторы со светоизлучающими диодами различных цветов для отображения параметров ветра. Устройства отображения должны показывать «мгновенные» скорость и направление ветра (с длиной пути синхронизации от 2 до 5 м), средние скорость и направление ветра за 2 или 10 мин, а также минимальную и максимальную скорости ветра. Иногда с помощью одного и того же индикатора возможно отобразить и выбрать показания для различных точек измерений ветра (таким образом уменьшается количество необходимых индикаторов).

Устанавливая датчики ветра на аэродроме, необходимо уделить особое внимание их защите от атмосферных грозовых разрядов (используя громоотводы, заземление мачты, а также экранированные или оптико-волоконные кабели); электронное оборудование для обработки данных также должно быть защищено.

С целью поддержания требуемой точности показаний приборов для измерения параметров ветра их следует содержать в хорошем состоянии и регулярно проверять и калибровать. Качество работы датчика, особенно для аналоговых систем, необходимо периодически проверять в аэродинамической трубе. Цифровая техника со встроенным контролем определенных функций требует меньше проверок, но при этом не исключаются ошибки, связанные с трением. Для определения дефектных компонентов и ухудшения работы отдельных частей датчиков должны проводиться регулярные проверки.

Из источников ошибок можно назвать трение, плохой выбор места установки, а также проблемы со средствами передачи или отображения данных. Ошибки также могут быть вызваны конструкцией самих датчиков; они особенно заметны при слабом ветре (пороговая скорость, при которой начинается вращение, является слишком высокой, излишняя инерция) или при переменном ветре (занижение или завышение скорости ветра; неправильные показания направления из-за излишнего или неадекватного демпфирования колебаний).

2.3 ВИДИМОСТЬ

Определение понятия метеорологической оптической дальности (МОД) и ее оценка или инструментальное измерение описываются в томе I, глава 9. Измерение видимости в авиации является специфическим измерением МОД. Однако термин МОД все еще не получил широкого использования в авиации, и в этой главе для описания оперативных требований оставлен термин видимость. Для целей авиации существует общепринятая практика сообщать дальность видимости, например, ДВВПП и «видимость для целей авиации» (VIS-AERO). Следует отметить, что последняя используется в сводках и обозначается только как «видимость», которая отличается от общего определения видимости (см. том I, глава 9). Приборы, применяемые для измерения МОД, можно также использовать для измерения ДВВПП (см. 2.4) и VIS-AERO (см. раздел 2.3.1). В *Техническом регламенте*, том II, часть II, приложение 3, 4.2 и 4.3, содержится официальное описание этих вопросов, предназначенное для международной авиации.

На международных аэродромах наблюдения за видимостью, проводимые для включения в сводки, распространяемые за пределами аэродрома, должны быть репрезентативными

для территории аэродрома и его ближайших окрестностей. Наблюдения за видимостью, проводимые для включения в сводки, используемые для посадки и взлета и распространяемые только в пределах аэродрома, должны быть репрезентативными для зоны приземления взлетно-посадочной полосы; при этом следует помнить, что эта зона может отстоять на несколько километров от наблюдательной станции.

Для целей авиации диапазон измерений видимости составляет от 25 м до 10 км. Значения, превышающие или равные 10 км, указываются как 10 км. В связи с этим датчик должен предусматривать измерение значений больше 10 км или показывать, если измерение больше или равно 10 км. При оперативной работе желательно, чтобы на средствах отображения измеренные значения округлялись в сторону меньшего значения, кратного 50 м при видимости до 600 м, 10 % между 600 и 1500 м и 20 % при видимости более 1500 м (*Технический регламент*, том II, часть II, добавление А). Сведения о точности измерений можно найти в томе I, главы 1 и 9.

Ввиду того, что метеорологические минимумы определяют принятие оперативных решений о возможности успешной посадки или взлета воздушного судна, точная и надежная информация должна даваться всегда, когда видимость достигает пороговых значений, а именно, всегда, когда видимость, уменьшаясь или увеличиваясь, проходит граничные значения 800, 1500 или 3000 и 5000 м, например, в случае начала, прекращения или изменения интенсивности тумана или осадков (*Технический регламент*, том II, часть II, приложение 3, 2.3.3 (b)).

Там, где видимость значительно изменяется по направлениям, особенно в зонах взлета и посадки, следует давать дополнительную информацию — указывать направление наблюдения, например «VIS 2000 M TO S».

Когда видимость менее 800 м, ее следует регистрировать с шагом 50 м в форме VIS 350M; когда она составляет 800 м и более, но менее 5 км — с шагом 100 м; когда она составляет 5 км и более, но менее 10 км — с шагом километр в форме VIS 7KM, и когда она составляет 10 км и более, ее следует давать как 10 км, за исключением условий, при которых используется аббревиатура CAVOK (Ceiling And Visibility OK — «Видимость, облачность и текущие погодные условия лучше предписанных») (*Технический регламент*, том II, часть II, приложение 3, 4.2.4.1).

Применяются методы, описанные в томе I, глава 9. Метеорологические наблюдения за видимостью должны проводиться наблюдателем с «нормальным» зрением, который наблюдает выбранные объекты с определенными характеристиками, находящиеся на известных расстояниях от метеорологической станции. Эти наблюдения можно также проводить с использованием приборов для измерения видимости, таких, как трансмиссометры и измерители коэффициента рассеяния. Место проведения наблюдений должно обеспечивать непрерывный обзор аэродрома, включая все взлетно-посадочные полосы.

Если для измерения видимости используется трансмиссометр, то для авиационных целей подходит базовое расстояние (длина базы) 75 м. Однако если прибор также используется для измерения ДВВПП, то длину базы следует выбирать с учетом оперативных минимумов погоды, действующих на аэродроме.

2.3.1 Видимость для целей авиации

Технический регламент, том II, часть I, 1.1, определяет видимость. VIS-AERO является наибольшей из следующих величин:

- a) максимальное расстояние, с которого объект черного цвета надлежащих размеров, расположенный у поверхности земли, может быть виден или различим при наблюдении на светлом фоне;

- б) максимальное расстояние, с которого источники света порядка 1 000 кд могут быть видны или различимы на неосвещенном фоне.

VIS-AERO — это, по сути, «дальность видимости», например, как ДВВПП, включающая такие субъективные элементы как психофизиологические характеристики глаза человека и искусственные источники света. Однако, слово «видимость» обычно используется без добавления фразы «для целей авиации», и может возникнуть путаница с официальным определением понятия «видимость», данным ВМО (см. том I, глава 9), которая известна как МОД (метеорологическая оптическая дальность). Оптическая дальность целиком основана на физическом состоянии атмосферы и не включает факторы, связанные со зрением человека и использованием искусственных источников света, и поэтому является объективной величиной. Эта видимость (для целей авиации) сообщается в сводках METAR. Поскольку авиационная метеорологическая станция может быть объединена с синоптической станцией, видимость в сводках SYNOP будет отличаться от видимости в сводках METAR, хотя и измеряется одним и тем же оборудованием.

Видимость для целей авиации может измеряться и рассчитывается аналогично ДВВПП (для получения более подробной информации см. раздел 2.4), за исключением того, что для интенсивности источника света I , используется постоянное значение 1 000 кд. Стоит отметить, что это значение верно для света, обычно используемого для оценки видимости, который в 10 раз интенсивнее, чем свет умеренной интенсивности (а именно - 100 кд, см. том I, глава 9).

2.3.2 Преобладающая видимость

Преобладающая видимость определяется как значение наибольшей видимости, наблюдаемое в соответствии с определением термина «видимость (для целей авиации)», если это значение наблюдается в пределах, по крайней мере, половины линии горизонта, либо в пределах, по крайней мере, половины поверхности аэродрома. Обозреваемое пространство может включать в себя смежные или несмежные секторы. Это значение может быть установлено на основании наблюдений, проводимых персоналом, и/или с помощью инструментальных систем, и если приборы установлены, то они используются для получения наилучшей оценки преобладающей видимости (*Технический регламент*, том II, часть I, 1.1). Преобладающую видимость следует передавать в кодовых формах METAR и SPECI.

2.4 ДАЛЬНОСТЬ ВИДИМОСТИ НА ВЗЛЕТНО-ПОСАДОЧНОЙ ПОЛОСЕ

2.4.1 Общие сведения

ДВВПП — это расстояние, на котором пилот воздушного судна, находящегося на осевой линии взлетно-посадочной полосы, может видеть разметку поверхности взлетно-посадочной полосы, либо огни, обозначающие взлетно-посадочную полосу или определяющие ее осевую линию. Этот вопрос рассматривается в *Техническом регламенте*, том II, часть I, 4.6.3, и часть II, приложение 3, 4.3. Подробная информация о наблюдении и сообщении ДВВПП содержится в публикации ИКАО (2005). Рекомендуется производить это измерение в течение периодов, когда горизонтальная видимость менее 1 500 м.

Высота порядка 5 м считается соответствующей среднему уровню глаз пилота воздушного судна, находящегося на осевой линии взлетно-посадочной полосы. Отметим, что уровень глаз пилота широкофюзеляжного самолета может находиться по крайней мере на высоте 10 м. На практике ДВВПП нельзя измерить непосредственно с того места, где находится пилот, который смотрит на осевую линию, и поэтому ДВВПП должна представлять собой оценку того, что пилот может увидеть с этого места. Тем не менее, согласно существующей практике ДВВПП следует оценивать на высоте примерно 2,5 м над взлетно-посадочной полосой для инструментальных систем или приблизительно 5 м над взлетно-посадочной полосой для наблюдателя (*Технический регламент*, том II, часть II, приложение 3, 4.3.1.1).

Результаты наблюдения ДВВПП следует сообщать в органы УВД всегда, когда происходит изменение ДВВПП, соответствующее градации порогов, определяющей необходимость такого сообщения. Обычно такие сообщения должны передаваться в течение 15 с после завершения наблюдения. Эти сообщения должны передаваться открытым текстом.

2.4.2 Методы наблюдений

ДВВПП может определяться по косвенным измерениям наблюдателями, которые могут оценивать ее непосредственно или пользоваться вспомогательными приборами, либо с помощью специального оборудования, такого как трансмиссометр или датчики для измерений рассеянного света, либо с помощью видеосистем. На аэродромах, где осуществляется точный заход на посадку, особенно по категориям II, III A и III B, измерения ДВВПП следует выполнять непрерывно с помощью соответствующих приборов, а именно, с помощью трансмиссометров и измерителей прямого рассеяния (*Технический регламент*, том II, часть II, приложение 3, 4.3.2.1 для категорий II и III, и рекомендация для категории I в приложении 3, 4.3.2.2).

Для оперативных целей ДВВПП можно оценить по таблицам или, что предпочтительнее, с помощью автоматических средств, которые выдают значения ДВВПП в цифровом виде. В соответствии с *Техническим регламентом*, том II, часть II, приложение 3, 4.3.5, дальность видимости вычисляется отдельно для каждой взлетно-посадочной полосы.

2.4.2.1 Измерения, выполняемые наблюдателями

Подсчет наблюдателями огней ВПП (или огней, установленных параллельно ВПП специально для этой цели), видимых в тумане, является простым и удобным методом определения ДВВПП (но для точной посадки по приборам только, если инструментальная система вышла из строя). Трудность, возникающая при использовании данного метода, связана с разрешающей способностью глаза человека, которая при превышении некоторого расстояния (зависящего от наблюдателя) не позволяет различать и подсчитывать огни ВПП.

Поскольку местонахождение наблюдателя относительно огней ВПП не соответствует местонахождению пилота, то для определения истинной ДВВПП важную роль играют переходные графики. Для оценки ДВВПП в светлое время суток можно также использовать специально сконструированные щиты-ориентиры, размещаемые сбоку от взлетно-посадочной полосы.

2.4.2.2 Измерения с помощью видео

Для оценки ДВВПП с помощью видеосистем используется видеокамера и приемное устройство для слежения за маркерами на известном расстоянии, которыми служат либо огни взлетно-посадочной полосы, либо специальные огни, либо ориентиры, установленные сбоку от нее. Такая система также представляется полезной для определения ключевых тумана или приземного тумана, которые не могут быть обнаружены приборами.

2.4.2.3 Измерения с помощью трансмиссометра

В настоящее время наиболее общеупотребительным прибором для оценки ДВВПП является трансмиссометр, с помощью которого измеряется коэффициент прозрачности ограниченного участка атмосферы (см. том I, глава 9). ДВВПП можно определять следующим образом:

- а) ДВВПП по огням взлетно-посадочной полосы (ДВВПП на основе пороговой освещенности): ДВВПП зависит от коэффициента прозрачности воздуха, яркости

огней взлетно-посадочной полосы и порога световой чувствительности глаза наблюдателя (и пилота), что, в свою очередь, зависит от яркости фона. ДВВПП можно вычислить по уравнению:

$$E_t = I R^{-2} T^{R/a} \quad (2.1)$$

где E_t — порог световой чувствительности глаза наблюдателя (пилота), зависящий от яркости фона L ; I — сила света огней осевой линии или ламп сбоку от ВПП в направлении на наблюдателя (пилота); T — коэффициент прозрачности, измеренный трансмиссометром; R — ДВВПП, и, a — длина базы трансмиссометра или оптический путь света. Отметим, что для световой чувствительности E глаза наблюдателя (пилота) верно уравнение $E = I / R^2$. Требования к характеристикам интенсивности света огней взлетно-посадочной полосы приведены в публикации ICAO (2013). В действительности, и для света огней осевой линии, и для света боковых огней ВПП верно, что световая чувствительность глаза наблюдателя (пилота) имеет угловую зависимость и, как следствие, I зависит от R . Поэтому $I = I(R)$ и $E = E(I, R)$. Вычислить R по уравнению 2.1 можно только итерационно, что относительно просто с помощью обычного калькулятора, подходящего для вычислительной математики. Значение E_t определяется с помощью датчика яркости фона (см. 2.4.3.3);

- б) определение ДВВПП по контрасту (ДВВПП на основе порогового значения контрастности): когда при посадке и взлете пилоты ориентируются на другие маркеры, а не на огни взлетно-посадочной полосы, определение ДВВПП следует производить по контрасту специальных ориентиров с фоном. Для вычисления по нижеследующему уравнению следует брать за основу пороговое значение контрастности, равное 0,05:

$$R = a \frac{\ln 0.05}{\ln T} \quad (2.2)$$

где R — ДВВПП, определенная по контрасту. Поскольку пороговый уровень контрастности составляет 0,05, ДВВПП, определенная по контрасту, идентична МОД, а именно, $R = \text{МОД}$. Отметим, что в темное время суток ДВВПП (на основе пороговой освещенности) всегда будет превышать ДВВПП (на основе порога контраста), или $\text{ДВВПП} \geq \text{МОД}$.

2.4.2.4 Измерения с помощью измерителей прямого или обратного рассеяния

Приборы для измерения коэффициентов прямого или обратного рассеяния (иногда известные как нефелометры), описываются в томе I, глава 9. С учетом физических принципов рассеяния света аэрозолями неопределенность измерений с помощью измерителя прямого рассеяния (угол рассеяния — около 31° — 32°) меньше, чем неопределенность измерений с помощью измерителя обратного рассеяния. Таким образом, измеритель прямого рассеяния является предпочтительным. С помощью этих приборов можно определить коэффициент ослабления σ который является главной переменной для расчета ДВВПП. Опыт и исследования в части измерителей прямого рассеяния продемонстрировали их способность измерять ДВВПП для авиационных применений (WMO, 1990, 1992b).

Поскольку точность приборов различных конструкций может отличаться, до выбора прибора, предназначенного для оценки ДВВПП, следует проверить его рабочие характеристики. В связи с этим калибровку измерителя прямого рассеяния необходимо проверять и контролировать на предмет соответствия стандарту трансмиссометра, точность которого проверяется в предполагаемом эксплуатационном диапазоне (*Технический регламент*, том II, часть II, приложение 3, 4.3.2).

Измеритель рассеяния определяет по полученному рассеянному свету коэффициент ослабления атмосферы для захватываемого измерителем оптического объема

(см. том I, глава 9). Поскольку σ является прямой мерой видимости, R можно определить относительно легко (из σ или МОД, где $\text{МОД} = -\ln 0,05/\sigma \approx 3/\text{МОД}$). ДВВПП можно определить следующим образом:

- а) ДВВПП в условиях предпочтения ориентации по огням взлетно-посадочной полосы (ДВВПП на основе пороговой освещенности): ДВВПП будет рассчитываться так же, как и с помощью трансмиссометра, за исключением того, что используется не T , а σ . Ее можно рассчитать следующим образом:

$$R = \frac{1}{\sigma} \left(\frac{I(R)}{E_t \cdot R^2} \right) \quad (2.3)$$

где R — дальность видимости на взлетно-посадочной полосе; σ — коэффициент ослабления (или $3/\text{МОД}$); E_t — порог световой чувствительности глаза наблюдателя (пилота), зависящий от яркости фона; а I — сила света огней осевой линии или боковых огней ВПП в направлении на наблюдателя (пилота). Как и в случае с трансмиссометром, R следует рассчитывать итеративно;

- б) определение ДВВПП по контрасту (ДВВПП на основе пороговой контрастности): когда при посадке и взлете пилоты ориентируются на другие маркеры, а не на огни взлетно-посадочной полосы, определение ДВВПП следует производить по контрасту специальных ориентиров с фоном. Для вычисления по нижеследующей формуле следует брать за основу значение порога контраста, равное 0,05:

$$R = -\ln 0,05 / \sigma = \text{MOR} \quad (2.4)$$

где R — ДВВПП, определенная по контрасту. Отметим, что ДВВПП (на основе пороговой освещенности) всегда будет превышать ДВВПП (на основе пороговой контрастности), а именно, $\text{ДВВПП} \geq \text{МОД}$.

2.4.3 Приборы и их установка

Инструментальные системы могут быть основаны на трансмиссометрах или измерителях прямого рассеяния для оценки ДВВПП. Наблюдения дальности видимости на ВПП следует проводить на расстоянии не более 120 м от осевой линии взлетно-посадочной полосы. Место проведения наблюдений, которые являются репрезентативными для зоны приземления, следует располагать вдоль взлетно-посадочной полосы примерно в 300 м от ее начала. Места проведения наблюдений, которые являются репрезентативными для середины или дальних участков взлетно-посадочной полосы, следует располагать вдоль полосы на расстоянии 1000–1500 м от ее начала и на расстоянии 300 м от ее конца (*Технический регламент*, том II, часть II, приложение 3, 4.3.1.2). Точное положение этих мест и, если необходимо, дополнительных мест для проведения наблюдений (для длинных взлетно-посадочных полос) следует определять после анализа аэронавигационных, метеорологических и климатологических факторов, таких как наличие затопляемых водой участков и других подверженных туману территорий. Наблюдения дальности видимости на взлетно-посадочной полосе следует проводить на высоте примерно 2,5 м над взлетно-посадочной полосой для инструментальных систем или приблизительно на высоте 5 м над взлетно-посадочной полосой для наблюдателя (*Технический регламент*, том II, часть II, приложение 3, 4.3.1.1).

Об изменениях в рабочем состоянии систем наблюдений ДВВПП следует немедленно сообщать органам, осуществляющим управление воздушным движением и аэронавигационное информационное обслуживание аэродромов.

Для вычисления ДВВПП в нескольких точках аэродрома, а также для отображения результатов измерений на экране с указанием времени наблюдения, коэффициентов прозрачности, измеренной яркости в одной или более точках аэродрома и интенсивности огней взлетно-посадочной полосы обычно используется компьютер. Данные передаются на устройства отображения, установленные в органах УВД, метеорологических и других соответствующих подразделениях, либо на принтеры для целей регистрации.

Интенсивность огней ВПП должна вводиться в компьютер автоматически в соответствии с процедурой, описанной в *Техническом регламенте*, том II, часть II, приложение 3, 4.3.5, либо в соответствии с официальной договоренностью между органами УВД и местным метеорологическим органом.

Для регистрации коэффициентов прозрачности T и яркости фона L можно также использовать аналоговые или цифровые графические самописцы (с временной разверткой). Устройство графического отображения ДВВПП должно также четко показывать зарегистрированные значения E_t и I (см. уравнение 2.1).

2.4.3.1 Трансмиссометры

Описания трансмиссометров, их установки в месте проведения наблюдений и обслуживания, а также источников ошибок приводятся в томе I, глава 9, со ссылками на другие литературные источники.

Система трансмиссометра состоит из прожектора, который направляет свет известной интенсивности на фотоэлектрический приемник, расположенный на известном расстоянии от прожектора. Изменения прозрачности атмосферы, вызванные туманом, мглой и т. д., постоянно измеряются и регистрируются. Калибровка прибора позволяет напрямую считывать значения коэффициента прозрачности, выраженные в процентах.

Излучатель и приемник должны быть смонтированы на одной и той же высоте, на прочных, безопасных, рассчитанных на длительный срок службы опорах, и, по возможности, устойчиво установленных таким образом, чтобы смещения грунта, мороз, неоднородное нагревание опор и т. д. не оказывали неблагоприятного воздействия на соосность обоих блоков. Оптический луч должен проходить на высоте не менее 2,5 м над уровнем взлетно-посадочной полосы.

В одном из типов трансмиссометров излучатель и приемник объединены в одном блоке (см. том I, глава 9). В этом случае отражатель (например, зеркало) устанавливается в том месте, где обычно располагается приемник. Свет выходит и отражается обратно; при этом длина базы равна двум расстояниям между передатчиком/приемником и отражателем. Трансмиссометр может иметь одну или две базы в зависимости от того, используются один или два приемника либо светоотражающие устройства, расположенные на различных расстояниях.

Длина базы трансмиссометра, а именно длина оптического пути, проходимого лучом света между излучателем и приемником, определяет диапазон измерения ДВВПП. Для ДВВПП между 50 и 1 500 м наибольшее распространение имеет длина базы от 15 до 75 м.

Однако для более коротких баз трансмиссометра необходимы более высокая точность измерения коэффициента прозрачности и лучшая линейность системы. Если должны измеряться низкие значения ДВВПП, соответствующие требованиям для посадки по категориям II и III, то следует выбирать трансмиссометр с короткой базой. Однако максимальная ДВВПП, которая может быть при этом измерена, является относительно малой. Нужно найти компромисс. Существуют трансмиссометры с двумя базами, обеспечивающие более широкий диапазон измерения путем выбора той или иной базы; однако необходимо позаботиться о том, чтобы при переключении баз обеспечивалась согласованность измерений ДВВПП по каждой базе.

Большие значения ДВВПП можно измерять трансмиссометрами с более длинными базами, но для этого требуются более сильные источники света, чтобы компенсировать ослабление света между излучателем и приемником в плотном тумане, а также более узкий угол зрения приемника, чтобы избежать появления помех, обусловленных рассеянием. Измерение самых слабых сигналов также зависит от фоновых шумов в измерительных устройствах.

Трансмиссометры, как правило, располагаются параллельно взлетно-посадочной полосе. Однако следует избегать прямого (или отраженного) солнечного света, поскольку он может вызвать повреждение. Поэтому оптические оси следует ориентировать приблизительно по направлению север-юг горизонтально (для широт ниже 50°). В противном случае следует использовать систему экранирующих насадок.

2.4.3.2 **Измеритель прямого рассеяния**

Измерители прямого рассеяния следует устанавливать рядом с взлетно-посадочной полосой аналогично трансмиссометрам. Установка измерителей прямого рассеяния требует меньшей предосторожности, чем установка трансмиссометров. Тем не менее, следует проявлять осторожность, чтобы избежать прямого или рассеянного солнечного света, который может повлиять на работу приемника (или повредить его). В частности, солнечный свет может повлиять на приемник после рассеяния в снежном покрове или на поверхности озера или моря. Современные приборы компенсируют загрязнение оптических компонентов.

2.4.3.3 **Датчик яркости фона**

Когда рассчитывается ДВВПП, пороговое значение светочувствительности глаза E_t должно быть известно. Датчик яркости фона следует размещать в конце взлетно-посадочной полосы, вдоль которой установлены один или несколько трансмиссометров или измерителей рассеяния. В аэропорту могут быть установлены один или несколько датчиков яркости в зависимости от числа охватываемых ими взлетно-посадочных полос.

Датчик яркости фона измеряет яркость горизонта или неба в противоположном направлении от солнца. Найденные пороги светочувствительности глаза вводятся в расчет ДВВПП в качестве либо гладкой, либо ступенчатой функции (2—4 степени). График для определения порога чувствительности глаза по яркости фона приводится в *Техническом регламенте*, том II, часть II, добавление D, и в публикации ИКАО (2005). Рекомендуемая зависимость, используемая для данного графика, следующая:

$$\log_{10} E_t = 0.05 (\log_{10} L)^2 + 0.573 \log_{10} L - 6.667 \quad (2.5)$$

где L — яркость неба у горизонта.

Датчик яркости фона включает в себя фотодиод, расположенный в фокусе объектива с угловой апертурой в пределах от 10° до 20°, ориентированного в направлении север-юг (чтобы избежать попадания в объектив прямого солнечного света), с углом возвышения над горизонтом приблизительно от 30° до 45°.

2.4.4 **Проверка приборов**

В целях обеспечения надежной работы, а также калибровки системы важно проводить периодические проверки всех компонентов системы трансмиссометров или измерителей рассеяния для измерения ДВВПП. Обычно документация, предоставляемая компаниями-изготовителями и разработчиками таких приборов, содержит подробные инструкции по осуществлению этих проверок, а также указания о мерах по устранению выявленных недостатков, которые следует предпринять в тех случаях, когда не выдерживаются разрешенные инструментальные допуски. Для трансмиссометров, когда видимость превышает 10—15 км, легко проверить, показывает ли прибор коэффициент прозрачности, приблизительно равный 100 % (см. том I, глава 9). Для измерителей рассеяния могут использоваться «рассеивающие пластины», эмулирующие определенные значения ослабления. Тем не менее, калибровку измерителя прямого рассеяния необходимо проверять и контролировать на предмет соответствия стандарту трансмиссометра (см. 2.4.2.4).

Правильное обслуживание и калибровка необходимы для того, чтобы:

- a) предотвратить скопление загрязнения на оптических поверхностях;
- b) проверить изменения интенсивности света, испускаемого излучателем;
- c) избежать дрейфа параметров в период после калибровки;
- d) проверить соосность излучателей и приемников.

В местах наблюдений, подверженных сильному загрязнению, необходимо более частое обслуживание. Следует позаботиться о том, чтобы в ходе обслуживания не прекращалась работа всего оборудования одновременно, и чтобы перерывы в работе не были длительными, особенно в течение периодов, когда прогнозируется туман.

Если в течение нескольких дней подряд устойчиво держится туман, то следует производить проверку прожектора и убеждаться, что интенсивность его света стабильна; а оборудование следует проверять на наличие дрейфа параметров. В условиях очень густого тумана проверка настройки оптики весьма затруднена или вообще невозможна, поэтому весьма существенно, чтобы механическая часть приборов была надежной, а оптическая — устойчивой.

2.4.5 **Отображение данных**

Данные по ДВВП, выводимые на дисплейные устройства для соответствующих аэродромных служб, обновляются в соответствии с действующими местными соглашениями каждые 15—60 с, а в некоторых случаях лишь каждые 2 мин. Изменения ДВВП обычно следует передавать не позднее чем через 15 с после окончания наблюдения.

2.4.6 **Точность и надежность измерений дальности видимости на взлетно-посадочной полосе**

Если применяются датчики, использующие метод измерения рассеянного света, отличающиеся от трансмиссометров, то уравнения для расчета ДВВП приемлемы для случаев очень малых размеров капель воды, например, таких, которые образуют туман, а не для тех случаев, когда видимость снижается за счет наличия других гидрометеоров, таких как ледяной туман, дождь, снег или литометеоры (песчаные бури). В таких ситуациях измерения МОД и ДВВП должны использоваться с большой осторожностью, поскольку удовлетворительные соотношения для них еще не приняты.

Расхождение между ДВВП, определяемой пилотом, и ее измеренным значением может достигать 15—20 % при допуске стандартном отклонении не более 10 %. Что касается наблюдателей, то вследствие колебаний порога светочувствительности глаза и условий наблюдений различия в сообщаемой дальности видимости вместе могут достигать 15—20 %.

Измерения ДВВП, выполненные с использованием трансмиссометров или приборов для определения коэффициента рассеяния света, репрезентативны только для небольшого объема атмосферы. Из-за значительных изменений плотности тумана во времени, а также в пространстве приобретает важную роль среднее значение, полученное по большому количеству измерений. Быстрые изменения ДВВП могут вызывать трудности в органах УВД при передаче информации на воздушные суда. По этим причинам для вычисления среднего или скользящего среднего значения рекомендуется период осреднения от 30 с до 1 мин.

Желательные в оперативном отношении показатели точности измерений ДВВП определены в *Техническом регламенте*, том II, часть II, добавление А.

2.5 ТЕКУЩАЯ ПОГОДА

Наблюдения и передача сводок текущей погоды описываются в томе I, глава 14, а процедуры — в *Техническом регламенте*, том II, часть I, 4.6.4, с подробным описанием в части II, приложение 3, 4.4. Для авиации особое внимание должно уделяться наблюдениям и сообщениям о возникновении, исчезновении, интенсивности и месте нахождения метеорологических явлений, важных для безопасной эксплуатации воздушных судов, например, грозы, твердых осадков, а также элементов, ухудшающих видимость в полете.

Для взлета и приземления информация о текущей погоде должна быть, по мере возможности, репрезентативной для зоны взлета и начального набора высоты или для зоны захода на посадку и посадки. В информации, которая передается за пределы аэродрома, данные о текущей погоде должны быть репрезентативными для данного аэродрома и его ближайших окрестностей.

Большая часть наблюдений за текущей погодой выполняется визуально. Следует уделить внимание выбору таких мест для проведения наблюдений, которые давали бы возможность производить отвечающий требованиям обзор местности во всех направлениях от станции. В помощь наблюдателю могут использоваться приборы, в особенности для определения интенсивности осадков.

Устройства для определения типа осадков (дождь, снег, морось и т. п.) или снижающих видимость явлений, отличных от осадков (туман, дымка, дым, пыль и т. п.) могут быть полезны наблюдателю и могут помочь, если это осуществляется автоматически. Эти приборы основаны преимущественно на измерении коэффициента ослабления или сцинтилляции; в них также могут использоваться зависимости между явлениями погоды и другими количественными величинами, такими как влажность. В настоящее время не имеется никаких международных соглашений по поводу алгоритмов, используемых для обработки данных в целях определения этих явлений. Поскольку требуется присутствие наблюдателей, то особой потребности в этом оборудовании авиационная метеорология не испытывает.

Описания явлений, сообщаемых в текущей погоде, приводятся в томе I, глава 14, а также в публикациях ВМО (1992а, 2011, 2017) и ИКАО (2011).

Спецификации специальных сводок, касающихся текущей погоды, содержатся в *Техническом регламенте*, том II, часть II, приложение 3, 4.4.2. Сокращения и кодовые цифры, используемые в составляемых открытым текстом сводках METAR или SPECI, приводятся в *Техническом регламенте*, том II, часть II, приложение 3, 4.4.2.3—4.4.2.9.

2.6 ОБЛАЧНОСТЬ

2.6.1 Общие сведения

Наблюдения и измерения облачности описываются в томе I, глава 15. Для авиационных применений (см. *Технический регламент*, том II, часть I, 4.6.5, и часть II, приложение 3, 4.5) информация об облачности (количество, высота нижней границы, тип) должна быть репрезентативной для аэродрома и его ближайших окрестностей, а в сообщениях для посадки — для зоны захода на посадку. Когда информация об облачности передается воздушным судам, идущим на посадку на взлетно-посадочную полосу, оборудованную для точного захода на посадку, то эта информация должна быть репрезентативной для метеорологических условий в месте установки среднего маркера системы посадки по приборам или на аэродромах, где средний маркер не используется, на расстоянии 900–1200 м от посадочного порога ВПП в начале ВПП (*Технический регламент*, том II, часть II, приложение 3, 4.5.1).

Если небо не различимо или не видимо, то высота нижней границы облаков заменяется вертикальной видимостью, сообщаемой в местных регулярных (MET REPORT) и

местных специальных (SPECIAL) сводках (*Технический регламент*, том II, часть I, 4.5.1(i)) и в метеорологических сводках METAR и SPECI (ВМО, 2011, FM 15/FM 16, пункт 15.9). Вертикальная видимость определяется как максимальное расстояние, на котором наблюдатель может увидеть и различить объект, находящийся на одной с ним или с ней вертикали, выше или ниже. Вертикальную видимость можно получить из профиля оптического ослабления, определяемого с помощью лидарного облакомера. Предположив, что полное ослабление σ на высоте h можно получить из коэффициента ослабления обратного рассеяния σ_B на этой высоте после соответствующей калибровки для всего диапазона высот, и предположив, что порог контраста в 5 % применяется также, как и к МОД, для вертикальной видимости VV должно выполняться следующее условие:

$$\int_0^{VV} \sigma(h) \cdot dh = \ln \left(\frac{I(VV)}{I_0} \right) = \ln(0.05) = 3 \quad (2.6)$$

Поскольку лидарный облакомер определяет коэффициент локального ослабления для фиксированных интервалов Δh , VV можно относительно легко получить следующим образом:

$$\sum_{i=1}^N \sigma_i \cdot \Delta h = 3, \text{ with } h_N = VV \quad (2.7)$$

Типичные кодовые слова, например, CAVOK, SKC (ясное небо), NCD (без облаков) и NSC (нет существенной облачности), используются в сводках, когда состояние атмосферы или погода не влияют на взлет и посадку; замена количественной информации простыми сокращениями выгодна. Подробная информация об использовании этих методов приведена в *Техническом регламенте*, том II, часть II, приложение 3, 2.2 и 4.5.4.3. Например, кодовое слово CAVOK используется, когда облачность и текущая погода лучше, чем предписанные значения или условия, но, если эти определенные условия соблюдены. Особую осторожность следует соблюдать при использовании этих сокращений в автоматических системах измерений, которые не способны измерять облачность или вертикальную видимость в рамках установленных требований.

Высота нижней границы облаков сообщается относительно высоты аэродрома. Однако, если используется оборудованная для точного захода на посадку взлетно-посадочная полоса, порог которой ниже на 15 м или более ниже высоты аэродрома, то проводятся локальные мероприятия для передачи на прибывающие воздушные суда высоты облаков относительно высоты порога полосы.

2.6.2 Методы наблюдений

Основные методы, применяемые для определения высоты нижней границы облаков, следующие:

- a) прожектор для обнаружения нижней границы облаков;
- b) облакомер с вращающимся лучом;
- c) облакомер;
- d) шар-пилот;
- e) визуальная оценка;
- f) сводки с воздушных судов.

Если возможно, высоту нижней границы облаков всегда следует измерять. На очень загруженных или на международных аэродромах с системами точного захода на посадку измерения высоты нижней границы облаков следует выполнять автоматически, с тем чтобы эту информацию и ее любые изменения можно было получать непрерывно.

Метод измерения нижней границы облаков с помощью шаров-пилотов требует слишком много времени и часто дает ошибки, чтобы принять его в качестве основного метода измерения высоты нижней границы облаков на аэродромах; визуальный метод также часто дает ошибки, особенно ночью, чтобы применяться там, где эти наблюдения являются критически важными. Сообщения с воздушных судов о высоте нижней границы облаков могут дать наблюдателю ценную вспомогательную информацию. Интерпретируя информацию пилотов, необходимо проявлять осторожность по той причине, что эта информация может относиться к месту, расположенному в нескольких километрах от точки наблюдений на земной поверхности.

2.6.3 Точность измерений высоты нижней границы облаков

Разорванный, диффузный и неустойчивый характер основания многих видов облаков ограничивает степень точности, с которой можно измерять высоту их нижней границы. Отдельные или редкие измерения, например, с помощью шаров-пилотов, могут быть нерепрезентативными для облачности в целом. Для получения достоверной оценки требуется изучение квазинепрерывной регистрации измерений, проведенной с помощью одного из вышеупомянутых приборов в течение нескольких минут.

Указываемая производителями приборов точность измерений, осуществляемых с их помощью, обычно устанавливается при использовании твердых или искусственных целей. Однако в оперативной работе точности достигнуть труднее ввиду размытости нижнего основания облаков.

2.7 ТЕМПЕРАТУРА ВОЗДУХА

Общие сведения о приборах и методах наблюдений за температурой воздуха даются в томе I, глава 2. Для аэронавигационных целей (см. *Технический регламент*, том II, часть I, 4.1 и 4.5.1(j)) необходимо знать температуру воздуха над взлетно-посадочной полосой. Обычно данные, получаемые с помощью приборов в правильно размещенных и хорошо вентилируемых метеорологических будках, дают достаточную аппроксимацию требуемых значений этого элемента. О быстрых изменениях температуры воздуха (2—3 °C за полчаса) следует незамедлительно уведомлять органы УВД, главным образом, в тропических и субтропических зонах.

Датчики температуры должны размещаться таким образом, чтобы на них не влияли движущиеся или припаркованные воздушные суда, а получаемые с их помощью значения температуры были репрезентативными для взлетно-посадочной полосы. Во избежание незначительных флуктуаций температуры (при средней скорости ветра 5 м·с⁻¹) предпочтительнее использовать термометры с постоянной времени, равной 20 с, или, в случае автоматических измерений, следует использовать соответствующий цифровой усредняющий или резистивно-ёмкостный фильтр. Полезно применение систем дистанционной индикации и регистрации. Кроме того, на аэродромах с ВПП, предназначенных для заходов на посадку и посадок по приборам по категориям II и III, требуется размещение автоматических средств измерения и устройств отображения информации в месте установки автоматических систем сбора информации. Измерения температуры стали чаще осуществляться автоматическими станциями или системами сбора данных, и результаты этих измерений отображаются в цифровой форме в виде осредненного за 1—10 мин значения, полученного после линеаризации выходного сигнала датчика. Для авиационных целей указанное значение следует округлить до ближайшего целого числа.

2.8 ТОЧКА РОСЫ

На авиационных погодных станциях влажность воздуха обычно представляется в виде температуры точки росы. Показание прибора, измеряющего эту величину, округляется до ближайшего целого числа, как и в случае температуры воздуха. Процедуры описываются в *Техническом регламенте*, том II, часть I, 4.1 и 4.5.1(j). Методы наблюдений описываются в томе I, глава 4.

Современные датчики влажности позволяют использовать дистанционные индикаторы и регистрирующие приборы. В случае неавтоматизированных наблюдений обычно используется психрометр. Для не превышения заявленной неопределенности измерений предпочтительнее использовать психрометр с принудительной вентиляцией. Широко используются следующие типы приборов:

- a) емкостные датчики, основанные на измерении емкости конденсатора, в котором диэлектрическая проницаемость прокладки из полимерного диэлектрика является функцией содержания водяного пара в окружающем воздухе. На практике измеряемая емкость связана с относительной влажностью практически линейной зависимостью. Точка росы рассчитывается по температуре окружающего воздуха (измеряется отдельно и на очень коротком расстоянии от емкостного датчика) ($t_d = t_d(t, U)$). Соответствующие формулы приведены в томе I, глава 4, приложение 4.B. Чтобы избежать конденсации, которая способна продолжаться даже после того, как $U < 100 \%$, и может быть замедлена фильтром, защищающим датчик, последний можно подогреть. Для такого метода не следует при расчетах использовать температуру окружающего воздуха; следует использовать значение температуры воздуха, окружающего подогретый датчик. На практике, соответствующую процедуру можно проводить только после тщательной калибровки в хорошо сконструированных климатических камерах;
- b) конденсационные гигрометры, измеряющие температуру, при которой на зеркальце происходит едва заметная конденсация росы. Зеркальце подогревается или охлаждается, чаще всего с использованием термоэлектрического эффекта Пельтье, с целью достижения условий равновесия, при котором сохраняется образовавшийся конденсат. Зеркальце снабжается фотоэлектронной системой слежения за конденсатом. Хотя такие устройства позволяют получать непосредственно значения точки росы, загрязнение зеркальца и ухудшение его состояния могут привести к значительным погрешностям. В частности, зеркальце может разрушиться от мороза. По крайней мере, каждые шесть месяцев зеркальце должно проверяться, но только квалифицированным персоналом. Особую осторожность следует соблюдать при чистке зеркальца и строго следовать инструкциям изготовителя гигрометра.

2.9 АТМОСФЕРНОЕ ДАВЛЕНИЕ

2.9.1 Общие сведения

Общее описание наблюдений за атмосферным давлением можно найти в томе I, глава 3, а описание наблюдений за атмосферным давлением для целей авиации имеется в *Техническом регламенте*, том II, часть I, 4.6.7. Измерения давления на авиационной станции очень важны для установки высотомеров воздушных судов. Давление рассчитывается с точностью до десятых долей гектопаскаля (0,1 гПа). В коде Q атмосферное давление обозначается как QFE и QNH, где:

- a) QFE (давление на уровне порога ВПП) определяется, как значение давления на высоте, соответствующей официальной высоте аэродрома (*Технический регламент*, том II, часть II, приложение 3, 4.7.2). Контрольная точка аэродрома, высота и превышение ВПП описываются в публикации ICAO (2013);

- b) QNH (атмосферное давление над уровнем моря) определяется как значение давления, по которому устанавливается высотомер воздушного судна, чтобы он показывал официальную высоту аэродрома, когда воздушное судно находится в этом месте на земле. QNH вычисляется с использованием значения QFE и соотношения давление-высота, принятого в стандартной атмосфере ИКАО. На самом деле, стандартная атмосфера ИКАО — это поддиапазон Международной стандартной атмосферы, который закреплен стандартом ИСО 2533 (ISO, 1975) и разработан в сотрудничестве с Комитетом по космическим исследованиям, ИКАО и ВМО. Эта стандартная атмосфера представляет собой статическую атмосферу с фиксированным давлением и температурой на уровне моря и фиксированным градиентом температуры. Подробная информация о стандартной атмосфере и ее установленных константах приведена в публикациях ВМО (WMO, 1966) и ИКАО (1993). Для расчета QNH из QFE, а именно приведения к среднему уровню моря, используется данная виртуальная атмосфера, а не текущее истинное состояние атмосферы. Как следствие, QNH будет отличаться от сообщаемого атмосферного давления, приведенного к среднему уровню моря, о чем изложено в томе I, глава 3, 3.7, и для которого используется фактическая температура. Расчет QNH из QFE основан на линейном соотношении (для станций ниже примерно 3000–4000 м):

$$QNH = A + B \times QFE \quad (2.8)$$

где A и B зависят от геопотенциальной высоты станции (для получения подробной информации см. WMO, 1966, Introduction to Table 3.10). Для получения QNH следует выполнить следующую трехэтапную процедуру:

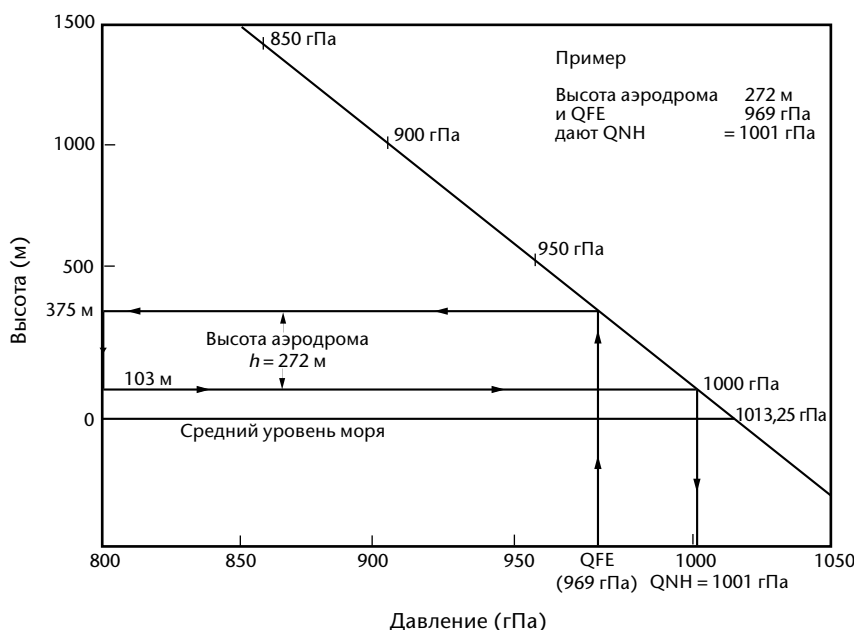
- i) определить барометрическую высоту станции, исходя из QFE (барометрическая высота рассчитывается из QFE с использованием формул стандартной атмосферы);
- ii) вычесть (или прибавить для станций ниже среднего уровня моря) из этой барометрической высоты высоту станции по отношению к среднему уровню моря, чтобы получить барометрическую высоту на высоте среднего уровня моря (значение может быть положительным или отрицательным);
- ii) получить из этой барометрической высоты соответствующее значение давления в соответствии со стандартной атмосферой, которое и будет QNH.

Пример данной процедуры получения QNH из QFE показан на рисунке ниже. Измеренные значения давления, а также QNH и/или QFE должны быть вычислены в десятых долях гектопаскаля. Значения QNH и QFE должны включаться в локальные сводки и в сводки, распространяемые за пределы аэродрома, и значения должны округляться до ближайшего целого гектопаскаля. О больших и быстрых изменениях давления следует уведомлять органы УВД.

Данный график представляет стандартную атмосферу (барометрическая высота как функция давления).

2.9.2 Приборы и их установка

Приборы для измерения давления, используемые на авиационной станции, аналогичны тем, что используются на синоптической станции, за исключением того, что более часто применяются точные автоматические цифровые барометры, показания которых удобнее и быстрее считывать при регулярных наблюдениях. Авиационные станции следует оснащать одним или несколькими хорошо откалиброванными барометрами, привязанными к стандартному эталону. Следует соблюдать установленный график регулярных сравнений приборов с этим стандартным прибором. Подходят как неавтоматические, так и автоматические барометры при условии, что температурная зависимость, дрейф и гистерезис достаточно компенсированы. Подробная информация о подходящих барометрах содержится в томе I, глава 3.



Соотношение между QFE и QNH

Размещение барометров на авиационной станции такое же, как и на синоптической станции. Если барометры должны быть помещены внутри здания, то нужно, чтобы датчики сообщались с внешней средой с помощью соответствующим образом размещенного статического устройства. Из-за воздействия ветра на здание разность давлений внутри и снаружи здания может быть больше 1 гПа. Для предотвращения таких отклонений, которые при высоких скоростях ветра могут достигать плюс-минус 3 гПа, статическое устройство должно располагаться достаточно далеко от этого здания. Кроме того, на измерения давления может повлиять кондиционер, что можно будет избежать, используя такое статическое устройство.

Имеются приборы с непосредственным считыванием значений QNH, и их можно использовать вместо обычного барометра-анероида или ртутного барометра, по показаниям которых значения QNH рассчитываются с помощью таблицы. Для таких устройств следует вводить правильные значения A и B, которые являются функцией геопотенциальной высоты станции (см. уравнение 2.8). Показания этих приборов необходимо периодически сравнивать со значениями QNH, вычисляемыми по данным измерений ртутным барометром.

2.9.3 Точность измерений давления и поправки

Значения давления, используемые для установки высотомеров воздушных судов, должны иметь погрешность измерений до 0,5 гПа или лучше (*Технический регламент*, том II, часть II, добавление А). К показаниям ртутного барометра следует применять все соответствующие поправки, а поправки, полученные в результате регулярных сравнений ртутных и anerоидных приборов, обычно используемых для наблюдений, должны применяться ко всем значениям, полученным по барометрам-анероидам. Там, где в диспетчерских пунктах УВД используются anerоидные высотомеры, для более четкого преобразования их показаний в официальный уровень высоты аэродрома или взлетно-посадочной полосы должны быть предусмотрены поправки, отличающиеся от тех, которые используются на наблюдательной станции (*Технический регламент*, том II, часть II, приложение 3, 4.7).

Значения давления, используемые для установки высотомеров, должны относиться к официальной высоте аэродрома. Для взлетно-посадочных полос с неточным заходом на

посадку, пороги которых находятся на 2 м или более ниже либо выше высоты аэродрома, и для взлетно-посадочных полос с точным заходом на посадку значения QFE, если это необходимо, должны относиться к соответствующим пороговым значениям высоты.

2.10 ПРОЧАЯ ВАЖНАЯ ДЛЯ АЭРОДРОМОВ ИНФОРМАЦИЯ

2.10.1 Общие сведения

Наблюдения, выполняемые на авиационных станциях, должны также включать любую имеющуюся информацию о метеоусловиях в зонах захода на посадку и набора высоты, касающуюся следующих явлений: кучево-дождевые облака или грозы, умеренная или сильная турбулентность, горизонтальный и/или вертикальный сдвиг ветра и значительные изменения ветра по маршруту полета, град, сильные фронтальные шквалы, умеренное или сильное обледенение, переохлажденные осадки, выраженные горные волны, песчаные и пыльные бури, низовая метель или воронкообразные облака (торнадо или водяные смерчи), например, SURFACE WIND 320/10 WIND AT 60M 360/25 IN APCN или MOD TURB AND ICE INC IN CLIMB OUT.

2.10.2 Наклонная дальность видимости

Несмотря на разработки, выполняемые в различных странах, никакие приборы для измерения наклонной дальности видимости не стали использоваться в оперативной работе. Быстрое технологическое развитие систем всепогодной посадки дало возможность понизить посадочные минимумы на аэродромах (категории II, III A и III B) и постепенно привело к тому, что данный параметр считается менее важным. Никаких рекомендаций по измерению этого параметра не установлено.

2.10.3 Сдвиг ветра

Сдвиг ветра — это пространственное изменение скорости и/или направления ветра (включая восходящие и нисходящие потоки). Интенсивность сдвига ветра в соответствии с его воздействием на воздушное судно можно классифицировать как слабую, умеренную, сильную или опасную. Сдвиг ветра на малых высотах, который может повлиять на посадку и взлет, может представлять собой вертикальный градиент ветра в низких слоях термически устойчивой атмосферы, либо может быть связан с воздействием препятствий и фронтальных поверхностей на поток ветра, с влиянием берегового и морского бризов, а также с ветровым режимом внутри и вокруг конвективных облаков, особенно в штормовых облаках. Сильные штормы являются главной причиной сдвига ветра в приземном слое, приводят к авиационным катастрофам как при заходе воздушных судов на посадку и во время нее, так и при взлете.

Подготовка и выпуск предупреждений о сдвиге ветра на траекториях набора высоты и захода на посадку описываются в *Техническом регламенте*, том II, часть II, приложение 3, 4.8.1.4.

Измерения вертикального сдвига ветра, основанные на информации, представленной в томе I, глава 5, могут проводиться напрямую с помощью анемометров, установленных на высоких мачтах, которые должны быть расположены на определенном расстоянии от аэропорта. Из систем дистанционного зондирования имеются: доплеровский радиолокатор, лидар, содар и измерители профиля ветра. В лидаре используется лазерный луч, в содаре — акустическое излучение, в радиолокаторе для получения профилей ветра используется электромагнитное излучение с частотами приблизительно 50 МГц, 400 МГц или 1 000 МГц.

Горизонтальный сдвиг ветра обычно определяется с помощью системы анемометров, установленных по всему аэродрому. Эта система называется системой предупреждения

о сдвиге ветра на малых высотах. Алгоритмы компьютерной обработки дают возможность выдавать предупреждения о сдвиге ветра. Эта система используется, в частности, в тропических и субтропических регионах, где часто возникают интенсивные штормы.

Данный вопрос рассмотрен на глобальном уровне в *Руководстве ИКАО по сдвигу ветра и турбулентности на малых высотах* (Док. 9817), первое издание, 2005 г.

Хотя сдвиг ветра может оказывать существенное влияние на полеты воздушных судов, никаких рекомендаций или критериев до сих пор не установлено. Тем не менее, подробная информация о предупреждениях о сдвиге ветра приводится в публикации ИКАО (ICAO, 2011), глава 4.

2.10.4 Заметные инверсии температуры

Информацию о заметных инверсиях температуры, превышающих 10 °С между поверхностью ВПП и уровнями до 300 м, следует предоставлять, если таковая имеется. Данные обычно получают с помощью аэрологических радиозондов, дистанционного зондирования, наблюдений с самолетов (например, АМДАР) либо анализа метеорологической ситуации.

2.11 АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

На авиационных станциях специально разработанные приборные системы для измерения, обработки, дистанционной индикации и регистрации значений различных метеорологических величин, репрезентативных для зон захода на посадку, посадки и взлета, а также для взлетно-посадочных полос аэропорта, стали обычной практикой (*Технический регламент*, том II, часть I, 4.1).

Эти автоматизированные системы включают:

- a) систему приема и накопления данных для преобразования результатов электрических аналоговых измерений (вольты, миллиамперы, сопротивление, емкость) в цифровые значения, выраженные в соответствующих единицах, и для прямого ввода цифровых данных;
- b) устройство предварительной обработки данных (осреднение показаний за период времени от 1 до 10 мин в зависимости от измеряемого параметра и выборка минимальных, максимальных и средних значений различных параметров);
- c) компьютер, который используется, например, для подготовки сводок SYNOP, METAR и SPECI, а также для программного обеспечения телесвязи.

Наблюдатель должен иметь возможность включать в эти сводки те сведения, которые не измеряются автоматической станцией; сюда могут входить текущая погода, прошедшая погода, облачность (тип и количество), а иногда видимость. Поэтому для целей авиации эти станции часто являются только вспомогательными для получения метеорологических данных и не могут применяться без наблюдателей.

Приборы, установленные на автоматической станции, должны регулярно проверяться и инспектироваться. Проверки качества необходимы и рекомендуются во избежание больших ошибок и получения информации о дрейфе параметров оборудования. Измерения, осуществляемые АМС, подробно рассматриваются в данном томе III, глава 1. Обеспечение качества и другие вопросы управления рассматриваются в данном томе, глава 1. Чтобы обеспечить заявленное качество работы автоматических приборов, следует

разработать подробный план оценки с указанием подробной информации о техническом обслуживании и периодичности калибровки и процедур обратной связи для улучшения системы наблюдений.

Рекомендации по передаче метеорологической информации, поступающей с автоматических систем наблюдений, содержатся в *Техническом регламенте*, том II, часть II, приложение 3, 4.

2.12 РАДИОЛОКАТОР

На аэродромах с интенсивным воздушным движением стали незаменимыми метеорологические радиолокаторы, поскольку они обеспечивают эффективные, постоянные наблюдения в реальном масштабе времени, дополняющие обычные метеорологические наблюдения, необходимые для посадок и взлетов. Радиолокатор может предоставить информацию по обширной зоне до 150—200 км. Он также является вспомогательным средством для краткосрочного прогнозирования в пределах часа или нескольких часов после наблюдения (возможная помощь при подготовке сводки TREND).

Принятые эхо-сигналы интерпретируются для определения типа осадков в зоне наблюдений станции: осадки из слоистых или конвективных облаков, изолированные области осадков или обложные осадки, либо осадки, связанные с грозами, а при определенных условиях для определения вида осадков: снег или град. Полученные отображения дают возможность отследить траектории линий шквалов или фронтов, а также осуществлять мониторинг их развития (усиление или ослабление). Если радиолокатор оборудован доплеровской системой, то тогда можно вычислять скорость и направление движения этих эхо-сигналов от наблюдаемых явлений.

Наиболее широко используются радиолокаторы, работающие на длинах волн 3, 5 или 10 см. Выбор зависит от района земного шара и предполагаемой цели использования, но общей тенденцией в настоящее время является использование волн длиной 5 см.

В определенных районах центры сбора собирают радиолокационные отображения, поступающие с ряда радиолокационных станций в стране или в регионе, и составляют из них комплексное отображение. Происходит также обмен отображениями между различными центрами, чтобы с помощью радиолокаторов обеспечивать безопасность в максимально возможной большой зоне.

Общее описание радиолокационных наблюдений можно найти в данном томе, глава 7.

2.13 ДАТЧИК ЛЬДА

Данный тип приборов, описанный в томе I, глава 14, устанавливается на ряде аэродромов для предоставления информации об условиях на взлетно-посадочных полосах зимой. Измеряются или обнаруживаются следующие параметры: температура на поверхности и на глубине несколько сантиметров ниже поверхности взлетно-посадочной полосы, наличие снега, воды, прозрачного или матового льда и наличие солей или продуктов очистки ВПП ото льда, если таковые применяются. Такие датчики, выполненные в виде компактного устройства, располагаются в определенном ряде точек взлетно-посадочных полос или рулежных дорожек; при этом их число зависит от размера аэродрома и количества взлетно-посадочных полос, безопасность которых должна быть обеспечена. Вблизи взлетно-посадочных полос также размещаются метеорологические датчики для измерения температуры и влажности воздуха, ветра и осадков.

Система сбора данных и обработки данных отображает измеренные параметры и их изменения во времени. В зависимости от типа используемого программного обеспечения

системы предупреждения оповещают администрацию аэропорта, ответственную за функционирование аэродрома, о наличии прозрачного льда или о прогнозах условий, опасных для воздушных судов.

2.14 ОБНАРУЖЕНИЕ МОЛНИЙ

В последние годы разработаны системы для определения местоположения гроз, основанные на регистрации низкочастотного электромагнитного излучения, создаваемого молниями (см. данный том, глава 6). Эти системы измеряют время прохождения сигнала и/или направление, с которого он приходит. Некоторые системы также анализируют характеристики каждого импульса электромагнитного излучения для определения разрядов молний из облака на землю. В определенных районах установлен ряд таких устройств, предназначенных для измерения и определения местоположения этих явлений в зоне 50—100 км вокруг аэродрома.

2.15 ДРУГИЕ СОПУТСТВУЮЩИЕ НАБЛЮДЕНИЯ

Необходимо предоставлять дополнительную информацию, если атмосфера подвержена опасному загрязнению, например, в период вулканического извержения. Также следует предоставлять информацию в поддержку спасательных операций, особенно на прибрежных станциях. Если это касается обеспечения полетов воздушных судов во время взлета и посадки, информация о состоянии взлетно-посадочной полосы должна сообщаться в сводках METAR и SPECI, передаваемых соответствующим полномочным органом аэропорта.

Данные о вулканическом пепле должны передаваться (в сводках SIGMET) в качестве части дополнительной информации (*Технический регламент*, том II, приложение 3, 4.8.). Подробная информация о наблюдениях за облаками вулканического пепла, радиоактивных материалов и токсических химических веществ приведена в публикациях ИКАО (2004, 2007).

В сводки METAR и SPECI следует включать информацию о температуре поверхности моря и состоянии моря или значительной высоте волны, полученную с авиационных метеорологических станций, установленных на прибрежных сооружениях в поддержку полетов вертолетов (*Технический регламент*, том II, часть II, приложение 3, 4.8.1.5).

СПРАВОЧНАЯ И ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Международная организация гражданской авиации, ИКАО, 1993: *Руководство по стандартной атмосфере ИКАО (с верхней границей, поднятой до 80 километров)*. Третье издание, Док. 7488, Монреаль.
- , 2005: *Руководство по практике наблюдения за дальностью видимости на ВПП и передачи сообщений о ней*. Третье издание, Док. 9328, Монреаль.
- , 2007: *Руководство по облакам вулканического пепла, радиоактивных материалов и токсических химических веществ*. Второе издание, Док. 9691, Монреаль.
- Всемирная метеорологическая организация, 1992а: *Международный метеорологический словарь* (ВМО-№ 182). Женева.
- , 2011: *Наставление по кодам* (ВМО-№ 306), том I.1. Женева.
- , 2012: *Наставление по применению стандартов образования и подготовки кадров в области метеорологии и гидрологии* (ВМО-1083), том I. Женева.
- , 2014: *Руководство по системам метеорологических наблюдений и распространения информации для метеорологического обслуживания авиации* (ВМО-№ 731). Женева.
- , 2015 (обновлено в 2018 г.): *Технический регламент* (ВМО-№. 49), том I. Женева.
- , 2016: *Технический регламент* (ВМО-№. 49), том II. Женева.
- Committee on Low-Altitude Wind Shear and its Hazard to Aviation, 1983: *Low-Altitude Wind Shear and Its Hazard to Aviation*. National Academy Press, Washington, D.C. (available from <https://nap.nationalacademies.org/catalog/558/low-altitude-wind-shear-and-its-hazard-to-aviation>).
- International Civil Aviation Organization (ICAO), 1996: *Manual on the Provision of Meteorological Service for International Helicopter Operations*. Doc. 9680, Montreal.
- , 2004: *Handbook on the International Airways Volcano Watch (IAVW)*. Second edition, Doc. 9766, Montreal.
- , 2010: *Units of Measurement to be Used in Air and Ground Operations*. ICAO Annex 5, Fifth edition, Montreal.
- , 2011: *Manual of Aeronautical Meteorological Practice*. Ninth edition, Doc. 8896, Montreal.
- , 2013: *Aerodromes*. ICAO Annex 14, Volume I, Sixth edition, Montreal.
- International Organization for Standardization, 1975: *Standard Atmosphere*. ISO-2355:1975. Geneva.
- World Meteorological Organization, 1966: *International Meteorological Tables* (S. Letestu, ed.) (1973 amendment). (WMO-No. 188, TP 94). Geneva.
- , 1990: *The First WMO Intercomparison of Visibility Measurements: Final Report (United Kingdom 1988/1989)* (D.J. Griggs, D.W. Jones, M. Ouldrige and W.R. Sparks). Instruments and Observing Methods Report No. 41 (WMO/TD-No. 401). Geneva.
- , 1992b: *Visibility measuring instruments: Differences between scatterometers and transmissometers* (J.P. van der Meulen). Papers Presented at the WMO Technical Conference on Instruments and Methods of Observation (TECO-92). Instruments and Observing Methods Report No. 49 (WMO/TD-No. 462). Geneva.
- , 2003: *Guide to Practices for Meteorological Offices Serving Aviation* (WMO-No. 732). Geneva.
- , 2017: *International Cloud Atlas - Manual on the Observation of Clouds and Other Meteors* (WMO-No. 407). Geneva.
-