

ГЛАВА 15. НАБЛЮДЕНИЯ И ИЗМЕРЕНИЕ ОБЛАКОВ

15.1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Проведение наблюдений или измерение облаков и высоты их нижней границы над земной поверхностью важны для решения самых разнообразных задач, и в частности, находят применение в авиации и оперативной метеорологической практике. Важным приложением для наблюдения или измерения облачности в дневное время является прогнозирование солнечной энергии для фотоэлектрических систем. В этой главе описываются широко распространенные методы. Важная дополнительная информация представлена в *Международном атласе облаков* (WMO, 2017), который содержит научные описания облаков и иллюстрации, используемые при определении форм облаков. Информация по практикам, применяемым в авиационной метеорологии, приведена в *Руководстве по системам метеорологических наблюдений и распространения информации для метеорологического обслуживания авиации* (ВМО, 2014).

15.1.1 Определения

Облако. Различимая с места проведения наблюдений совокупность мельчайших капель воды, кристаллов льда или того и другого вместе, нижняя граница которой находится над поверхностью Земли. Предельный диаметр жидких частиц составляет порядка 200 мкм; более крупные капли представляют собой морось или дождь.

За исключением некоторых редких типов (например, перламутровые или серебристые облака) и случайного появления перистых облаков в нижней стратосфере, облака не выходят за пределы тропосферы. Как правило, они образуются в результате конденсации водяного пара на ядрах конденсации в атмосфере. Образование облака происходит во время вертикального движения воздуха, при конвекции, при вынужденном подъеме над возвышенностью или при широкомасштабном вертикальном движении, связанном с депрессиями и фронтами. Облака могут образовываться при определенных значениях вертикального градиента температуры и влажности в результате турбулентности нижних слоев атмосферы и других менее значимых причин. Такие виды деятельности человека, как авиация или промышленность, также могут привести к образованию облаков путем увеличения ядер конденсации в атмосфере.

При температурах ниже 0 °С облачные частицы зачастую состоят полностью из капель воды, переохлажденных приблизительно до –10 °С в случае слоистых облаков и приблизительно до –25 °С в случае конвективных облаков. При температурах ниже этих весьма приблизительных предельных значений и выше примерно –40 °С множество облаков являются «смешанными» с преобладанием ледяных кристаллов в нижней части указанного диапазона температур.

Количество облаков. Часть неба, по оценкам, покрытая облаками определенного типа (частичное количество облаков) или облаками всех типов (общее количество облаков). В любом случае оценка производится с точностью до ближайшего октанта (восьмая часть) и сообщается в масштабе, который по существу является одним из ближайших значений восьмой части, за исключением того, что цифры 0 и 8 на шкале обозначают совершенно чистое или полностью покрытое облаками небо, соответственно с последующей корректировкой на соседние интервалы 1 и 7 октантов (см. 15.1.4.1).

Нижняя граница облаков. Самая нижняя зона, в которой ухудшение видимости, соответствующее изменению состояния атмосферного воздуха от чистого воздуха или дымки до водяных капель или кристаллов льда, вызывает существенные изменения в профилях обратного рассеяния и коэффициентах угасания. В воздухе

непосредственно под облачностью для частиц, вызывающих помутнение, характерна некоторая спектральная избирательность, в то время как в самом облаке избирательности фактически не наблюдается; различие обуславливается наличием капель разного размера. Высота нижней границы облаков определяется как высота над уровнем земной поверхности. Для авиационных метеорологических станций уровень земли (поверхности) определяется как официальная высота аэродрома над уровнем моря.

Тип облака (классификация). Применяются следующие различные методы классификации облаков:

- a) В публикации WMO (2017) вся совокупность облаков подразделяется на десять основных характерных форм облака с дальнейшим подразделением, в случае необходимости, на:
 - i) виды облаков (форма и структура облака);
 - ii) разновидности облаков (расположение облака и его прозрачность);
 - iii) дополнительные характерные особенности и разновидности облаков (например, *incus*, *mamma*, *virga*, *praecipitatio*, *arcus*, *tuba*, *pileus*, *velum* и *pannus*);
 - iv) развитие нового вида облака из материнского облака обозначается с помощью добавления «*genitus*» к названию нового облака и рода материнского облака в том случае, если небольшая часть материнского облака претерпевает изменения, а в тех случаях, когда все облако или значительная его часть изменяются, к названию прибавляется «*mutatus*» (например, *stratocumulus cumulogenitus* или *stratus stratocumulomutatus*);
 - v) особые облака, которые формируются или растут в результате определенных, часто локализованных, генерирующих факторов, имеющих как природное происхождение, так и являющихся результатом деятельности человека (например облака, образованные лесными пожарами и извержениями вулканов, образованные водопадами облака и конденсационные следы от самолета);
- b) Классификация производится с точки зрения яруса – верхнего, среднего или нижнего, на котором обычно встречаются различные виды облаков. В регионах умеренных широт предельные значения приблизительно следующие: верхний ярус, 6–12 км (20 000–40 000 футов); средний ярус, от поверхности земли до 6 км (0–20 000 футов); нижний ярус, от поверхности до 1,5 км (0–5 000 футов). Облака верхнего яруса — *Cirrus*, *Cirrocumulus* и *Cirrostratus*; среднего яруса — *Altostratus* и *Altostratus* (последние часто распространяются выше), а также *Nimbostratus* (обычно распространяются как выше, так и ниже); к облакам нижнего яруса относятся *Stratocumulus*, *Stratus*, *Cumulus* и *Cumulonimbus* (последние два вида нередко также достигают среднего и верхнего ярусов).

В синоптических целях была разработана девятикодовая классификация облаков по каждому из трех обозначенных ярусов облаков, где соответствующие коды обозначаются как C_H , C_M и C_L в указанном порядке. Целью этой классификации является описание характерного состояния неба, а не отдельных видов облаков;

- c) существуют также следующие менее формализованные классификации:
 - i) на основе физических процессов образования облаков, в частности, кучевые облака и слоистые облака (или «расслоенные облака»);
 - ii) на основе состава облаков, а именно облаков из кристаллов льда, облаков из капель воды и смешанных облаков.

Фотографии большей части этих форм облаков представлены в публикации ВМО (WMO, 2017).

Вертикальная видимость. Максимальное расстояние, на котором наблюдатель может видеть и распознавать объект, расположенный на одной вертикали с собой, выше или ниже. Вертикальная видимость может быть рассчитана на основании измеренного профиля ослабления $\sigma(h)$. Однако это соотношение является менее простым, чем для расчета горизонтальной видимости, т. к. σ может не рассматриваться как постоянная величина. Тем не менее, может применяться правило $I(h = VV)/I_0 = 5\%$. Принимая во внимание это предположение, вертикальная видимость может быть выражена по отношению к $\sigma(h)$, где VV представлена непрерывно, то есть:

$$\int_{h=0}^{h=VV} \sigma(h) dh = -\ln(5\%) \approx 3 \quad (15.1)$$

См. также уравнения 2.6 и 2.7 в томе III, глава 2 настоящего Руководства.

15.1.2 Единицы и шкалы

В качестве единицы измерения высоты облаков используется метр или, например для некоторых аэронавигационных применений, фут. Единицей измерения количества облаков является октант, т. е. одна восьмая часть небосвода, покрытая облаками. В коде BUFR FM 94 (WMO, 2011) общий облачный покров указан в процентах (113 указывает на небо, закрытое туманом и/или другими метеорологическими явлениями).

15.1.3 Метеорологические требования

Для метеорологических целей необходимы наблюдения за количеством, формой и высотой нижней границы облаков. Для проведения наблюдений в синоптических целях в публикации ВМО (2011) приведены конкретные требования по кодированию, предназначенные для оптимального описания состояния облаков от поверхности до верхних уровней. Из космического пространства проводятся наблюдения за количеством облаков и температурой (на основании чего производится расчет высоты верхней границы облака). Измерения из космоса также могут быть использованы для наблюдения за развитием облачности и погоды.

Требования к неопределенности изложены в настоящем томе, глава 1, приложение 1.A.

15.1.4 Методы наблюдения и измерения

15.1.4.1 Количество облаков

Традиционно измерение количества облаков проводится посредством визуального наблюдения. Инструментальные методы в настоящее время широко приняты и используются в оперативной практике для многих применений при определении количества и высоты облаков. Определяется количество облаков в каждом конкретном слое и общее количество облаков, обозримое с пункта наблюдения.

Общее количество облаков, или общая облачность, определяется как часть небосвода, покрытая всеми видимыми облаками. Следовательно, оценка общего количества облаков состоит в оценке того, какая часть общей видимой площади небосвода покрыта облаками.

Частичное количество облаков представляет собой часть площади небосвода, покрытую облаками одного вида или слоем облаков, как если бы это был единственный тип облачности на небе. Сумма частичного количества облаков может превышать как общее количество облаков, так и восемь октантов.

Для записи количества облаков используется шкала, предлагаемая в кодовой таблице 2700 публикации ВМО (2011), которая приводится ниже:

Кодовая цифра		Значение
0	0	0
1	1 октант или менее, но не 0	1/10 или менее, но не 0
2	2 октанта	2/10–3/10
3	3 октанта	4/10
4	4 октанта	5/10
5	5 октантов	6/10
6	6 октантов	7/10–8/10
7	7 октантов или более, но не 8 октантов	9/10 или более, но не 10/10
8	8 октантов	10/10
9	Небо не видно из-за тумана и/или других метеорологических явлений	
/	Облачный покров неразличим по причинам, не связанным с наличием тумана или другими метеорологическими явлениями, либо наблюдение не производилось	

15.1.4.2 **Высота нижней границы облаков**

Высота нижней границы облаков может определяться посредством инструментального измерения, которое сейчас широко используется там, где высота облачности имеет большое оперативное значение. Однако оценка высоты нижней границы облаков, производимая наблюдателем, по-прежнему остается широко применяемой.

В данной главе описаны несколько типов приборов, которые в настоящее время используются в оперативной практике. Международное сравнение нескольких типов приборов проводилось ВМО в 1986 г., и его результаты изложены в публикации ВМО (1988). В этой публикации содержится полный отчет о точности измерений и рабочих характеристиках приборов.

Недавние исследования (WMO, 2016a и 2016b) показывают улучшенные характеристики современных облакомеров для определения высоты нижней границы облаков для очень низких облаков, очень высоких облаков и во время выпадения осадков. Однако исследования выявили систематические различия величиной от 30 до 50 метров в показаниях облакомеров от разных производителей. Поскольку формы профилей и расположение градиентов и максимумов в результатах измерения обратного рассеяния весьма схожи, по-видимому, источником этих различий являются алгоритмы обнаружения облаков, реализованные производителями облакомеров. Применяемый алгоритм может разместить нижнюю границу облака либо на высоте, где обратное рассеяние начинает значительно увеличиваться, либо несколько выше при проникновении вглубь облака, либо на высоте максимального сигнала обратного рассеяния. В настоящее время различные подходы не могут быть верифицированы из-за отсутствия установленного и поддающегося количественной оценке определения нижней границы облака и отсутствия подходящего эталона. Для обеспечения правильной работы облакомера в настоящее время изучается сопоставление высоты нижней границы облаков, измеренной облакомером, с измерениями видимости на различных высотах на мачте, а также с высотой башни, которую можно различить на изображении, полученном с помощью фотокамеры.

Инструментальное измерение высоты нижней границы облаков применяется в обычной практике и имеет большое значение для авиационных метеорологических служб. Этот вопрос дополнительно рассматривается в томе III, глава 2 настоящего Руководства.

15.1.4.3 **Тип облаков**

В настоящее время единственным методом наблюдений за большинством форм облаков является визуальное наблюдение. Иллюстрированные руководства и информация по кодированию доступны в многочисленных источниках, таких как публикации ВМО (WMO 2011, 2017), а также в публикациях НМГС.

Извлечение типа облака из изображений камеры все еще находится в стадии разработки (см., например Heinle et al., 2010; Liu et al., 2011).

Некоторые метеорологические службы используют информацию о молниях, информацию от метеорологических радаров и спутниковую информацию для идентификации кучево-дождевых облаков и высоких кучевых облаков и включения, когда это возможно, информации о них в автоматизированные авиационные сводки погоды.

15.2 **ОЦЕНКА И НАБЛЮДЕНИЯ ЗА КОЛИЧЕСТВОМ И ВИДАМИ ОБЛАКОВ, ВЫСОТОЙ НИЖНЕЙ ГРАНИЦЫ ОБЛАКОВ, ОСУЩЕСТВЛЯЕМЫЕ НАБЛЮДАТЕЛЕМ**

15.2.1 **Проведение эффективной оценки**

Место, используемое при оценке переменных характеристик облачности, должно обеспечивать максимально широкий обзор небосвода. Это место должно быть удалено от постоянного источника освещения, который может повлиять на наблюдения в темное время суток. При проведении наблюдений в темное время суток большое значение для наблюдателя имеет достаточный период времени, необходимый для привыкания глаз к темноте.

Естественно, что при оценке количества облаков существуют определенные трудности, особенно в темное время суток. Последовательные наблюдения за развитием облачности и общие представления о ее структуре помогают наблюдателю достичь наилучших возможных результатов. Доступ к сводкам с самолетов, если таковые имеются, также может быть полезен.

15.2.2 **Оценка количества облаков**

Наблюдатель должен в равной мере изучить участки как над пунктом наблюдения, так и на более низких углах возвышения. В тех случаях, когда облака беспорядочно разбросаны, целесообразно представить небо в форме отдельных квадрантов, разделенных диаметрами, проведенными под прямым углом друг к другу. Сумма оценок для каждого квадранта принимается как общая для всего неба.

Кодовая цифра 9 используется в тех случаях, когда небо закрыто туманом, падающим снегом и тому подобным, либо когда наблюдатель не может дать оценку количества облаков вследствие темноты или постороннего освещения. В безлунные ночи обычно представляется возможным дать оценку общего количества облаков, определив, в какой части неба звезды затуманены или полностью закрыты облаками, хотя у линии горизонта звезды может скрывать дымка.

Наблюдатель также должен давать оценку частичному количеству облаков. Случается, например, что более высокий слой облаков частично закрыт более низкими облаками. В таких случаях оценка протяженности вышележащих облаков может быть произведена

довольно уверенно при наблюдении за небом в течение короткого периода времени в дневное время. Движение более низкого облака относительно более высокого позволяет выяснить, покрывает ли более высокий слой небо полностью или наблюдаются разрывы.

Следует отметить, что оценка количества каждого отдельного типа облаков производится независимо от оценки общего количества облаков. Сумма отдельных оценок частичного количества облаков часто превышает как общее количество облаков, так и восемь октантов.

15.2.3 Оценка высоты нижней границы облаков

На тех станциях, где измерительное оборудование отсутствует, может выводиться лишь оценочное значение высоты нижней границы облаков. В горной местности высота нижней границы любого облака, которая меньше высоты окружающих станцию гор, может быть оценена посредством сравнения с высотой характерных топографических особенностей, указанных на контурных картах района. Целесообразно иметь для постоянного отображения данных подробную схему высоты и местоположения холмов и наземных ориентиров, которые могут быть использованы при оценке высоты облаков. Из-за эффекта перспективы наблюдателю может казаться, что облако лежит на удаленных холмах, но это не обязательно означает, что таким образом можно определить высоту облаков над наблюдаемым участком. В любых обстоятельствах наблюдатель должен произвести надлежащую оценку, принимая во внимание формы и общий вид облаков.

Диапазоны высоты нижней границы облаков над поверхностью, применимые к различным родам облаков в регионах умеренной зоны, представлены в таблице ниже и соответствуют станциям, высота которых не превышает 150 м (500 футов) над средним уровнем моря (СУМ). Для наблюдательных площадок на значительно больших высотах или для станций в горной местности высота нижней границы облаков нижнего яруса над станциями часто может быть меньше, чем указано в нижеприведенной таблице.

В других климатических зонах, особенно в засушливых тропических условиях, высота нижней границы облаков может значительно отклоняться от указанных диапазонов. Различия могут привести к возникновению проблем при классификации облаков и усложнить задачу по оценке их высоты. Так, например, обстоит дело в случае, когда сводки о тропических кучевых облаках явно конвективного происхождения с высотой нижней границы значительно более 2 400 м (8 000 футов) или даже 3 600 м (12 000 футов) были подтверждены наблюдениями с самолета. Следует отметить, что в таких случаях наземные наблюдатели часто в значительной степени недооценивают высоту облаков. Такая недооценка может быть обусловлена двумя факторами, а именно: наблюдатель исходит из того, что кучевое облако является облаком нижнего яруса с высотой нижней границы менее 2000 м (6500 футов), или, как правило, менее 1500 м (5000 футов), либо атмосферные условия и форма облака в сочетании дают оптическую иллюзию.

В тех случаях, когда непосредственная оценка высоты нижней границы облаков производится в ночное время, результаты в значительной степени зависят от правильной идентификации формы облаков. Общие метеорологические знания и тщательное наблюдение за погодой играют очень важную роль, когда наблюдатель должен сделать заключение о том, осталась ли нижняя граница облака в значительной степени на прежней высоте, поднялась или опустилась. Особая тщательность и профессиональные навыки требуются от наблюдателя, когда слой высокослоистых облаков закрывает небо в вечернее время. Любое постепенное снижение такого слоя облаков часто очень трудно обнаружить; при этом основание редко бывает однородным, а небольшие контрасты зачастую могут быть обнаружены в любое время, за исключением самых темных ночей.

Высота нижней границы различных облаков над уровнем земной поверхности в районах умеренных широт

Вид облаков	Обычный диапазон высоты нижней границы ^а		Более широкий диапазон иногда наблюдаемых значений высоты нижней границы и прочие примечания	
	метры	футы	метры	футы
Нижний ярус:				
Слоистые	Поверхность–600	Поверхность–2000	Поверхность–1200	Поверхность–4000
Слоисто-кучевые	300–1350	1000–4500	300–2 000	1000–6500
Кучевые	300–1500	1000–5000	300–2 000	1000–6500
Кучево-дождевые	600–1500	2000–5000	300–2 000	1000–6500
Средний ярус:				
	километры			
Слоисто-дождевые	Поверхность–3 2–6	Поверхность–10 000 6500–20 000	Слоисто-дождевые облака считаются облаками среднего яруса для синоптических целей, хотя они могут распространяться на другие уровни	
Высоко-слоистые			Увеличение толщины высокослоистых облаков по мере уменьшения высоты их нижней границы может привести к их трансформации в слоисто-дождевые облака	
Высоко-кучевые				
Верхний ярус:				
Перистые	6–12	20 000–40 000	При рассеивании кучево-дождевых облаков могут образовываться перистые облака на высоте значительно менее 6 км (20 000 футов) в зимнее время	
Перисто-слоистые			Перисто-слоистые облака могут трансформироваться в высокослоистые	
Перисто-кучевые				

Примечание:

а Для станций, расположенных на высоте более 150 м над уровнем моря, высота нижней границы облаков нижнего яруса часто бывает меньше указанной.

15.2.4 Наблюдение за видами облаков

Наблюдение за видами облаков в большинстве случаев проводятся наблюдателем. Иллюстрированные руководства и информация по кодам имеются в многочисленных источниках, таких как публикация ВМО (WMO, 2017) и публикации НМГС.

15.3 ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЕ ИЗМЕРЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА ОБЛАКОВ

Существуют оперативные наземные датчики различного типа для измерения общего количества облаков. Измерения, производимые со спутниковых радиометров в видимом диапазоне, дополненные ИК изображениями, могут использоваться для оценки количества облаков над большими территориями, несмотря на то что зачастую возникают трудности, связанные, например, с невозможностью отличить слоистые облака нижнего яруса от тумана. Количество облаков нижнего яруса в радиусе действия электронного облакомера может определяться посредством измерения времени прохождения хорошо идентифицированных слоев и при условии, что эти осредненные во времени результаты являются репрезентативными для условий пространства, окружающего наблюдательную площадку. Этот метод в основном дает удовлетворительные результаты, но он может привести к значительным различиям в количестве облаков при визуальной оценке количества облаков из-за ограниченной пространственной репрезентативности области неба, измеряемой облакомером. В США для автоматических метеорологических станций (АМС) была разработана технология «объединения в кластеры» с использованием данных электронных облакомеров. Другие страны, например Швеция (Larsson and Esbjörn, 1995) и Нидерланды (Wauben, 2002), внедрили аналогичные технологии для проведения оперативных измерений. Автоматизированные измерения облаков с помощью облакомеров используются также в аэропортах несколькими метеорологическими службами. Этот метод использовался для получения информации об облаках в небольших аэропортах без наблюдателя, а также в более крупных аэропортах, где автоматизированная система обеспечивает экономически эффективный метод сбора информации.

Для измерения количества облаков используются и другие приборы: пирометры, которые могут производить замеры во множестве фиксированных направлений и/или просканировать небосвод, и камеры обзора небосвода, специально разработанные для этих целей. После соответствующей обработки такая информация также может быть получена от коммерческих систем камер, а также веб-камер, работающих в видимом и ИК диапазонах.

15.3.1 Измерение количества облаков с помощью лазерного облакомера

В некоторых метеорологических службах для определения количества облаков используются временные ряды данных о высоте нижней границы облаков, измеренной с помощью лазерных облакомеров (см. 15.4.1). Этот метод имеет некоторые преимущества по сравнению с наблюдениями, выполняемыми персоналом. При использовании лазерного облакомера получаются более надежные результаты. Кроме того, измерения могут проводиться чаще и без обычных проблем для темного времени суток. Однако имеются также некоторые недостатки и могут возникать существенные отклонения при наличии высоких тонких перистых облаков, когда эффективность работы облакомера снижается; когда слой повышенной влажности определяется облакомером как нижняя граница облаков; когда облакомер не обнаруживает нижней границы облаков или неправильно определяет ее высоту во время осадков или когда облакомер сообщает высоту нижней границы облаков по самому низкому значению при стелющемся тумане. Этот метод применим также к облакам, движущимся в поле обзора прибора. Облака не всегда движутся таким образом. Даже если облака движутся по всему полю видимости облакомера, они могут не присутствовать на всем небосводе. Таким образом, временные ряды данных о нижней границе облаков не всегда могут быть репрезентативными для всего неба, на котором базируются сводки об облачном покрове. Наибольшие различия могут быть обусловлены ограниченной пространственной репрезентативностью выборочного измерения облакомера лишь по небольшой площади неба непосредственно над местом его расположения. Совпадения (в пределах 2 октантов) между этим методом и неавтоматизированным наблюдением за общим количеством облаков, как правило, составляют 85–90%, как отмечается на прибрежных станциях в средних широтах (WMO, 2006a). На эти результаты влияет относительно большое количество облачных ситуаций (7 или 8 октантов отмечается примерно в 55 % случаев). Характерная разница между оценками общего количества облаков, полученными с помощью облакомера и визуальных

наблюдений, заключается в том, что облакомер с ограниченным обзором неба будет сообщать о 8 октантах гораздо чаще, чем о 7 октантах, в то время как наблюдатель может обнаружить пробелы в любом месте облачного покрова, что приводит к почти равным случаям наблюдения облачности в 7 и 8 октантах.

Некоторые аэропорты оборудованы несколькими облакомерами и применяют алгоритм оценки состояния неба с использованием данных, поступающих с более чем одного облакомера. Однако проведение оценки в аэропорту продемонстрировало лишь несущественные улучшения при использовании трех облакомеров по сравнению с использованием одного (Wauben, 2002). Это указывает на то, что мониторинг в трех точках вместо одной по-прежнему не является достаточным для получения репрезентативного значения по всему небосводу.

В качестве примера измерения количества облаков с помощью лазерных облакомеров в следующих параграфах описан метод, применяемый в автоматизированной системе приземных наблюдений (АСПН) Национальной метеорологической службы США.

Индикатор высоты облаков (лазерный облакомер — см. 15.4.1) обобщает выборки отраженных сигналов обратного рассеяния каждые 30 секунд и определяет высоту действительных «точек отражения» от облаков. Каждую минуту обрабатываются данные с дискретностью 30-секунд за последние 30 минут для получения удвоенной взвешенной величины за последние 10 мин с целью реагирования на недавно произошедшие изменения в состоянии неба. Затем данные сортируются по высотным «ячейкам».

Каждую минуту, в случае если зарегистрировано более пяти высотных ячеек (в течение последних 30 мин), значения высоты облаков группируются в слои с использованием статистической процедуры метода наименьших квадратов до тех пор, пока не останется всего пять ячеек (каждая ячейка может содержать большое количество точек отражения). Эти ячейки или кластеры затем распределяются по возрастанию от самого низкого до самого высокого значения высоты. После такой кластеризации система АСПН определяет, могут ли кластеры быть объединены и округлены, в зависимости от высоты, в значимые для решения метеорологических задач группы высот. Полученные ячейки, называемые теперь «слоями», с помощью алгоритма выбираются из не более чем трех этих слоев, и результат передается в коде METAR/SPECI в соответствии с национальными приоритетами передачи данных о слоях облачности.

Количество облачности определяется путем прибавления в каждый слой общего числа точек отражения и расчета соотношения данных совпадений к общему возможному. Если имеется более одного слоя, точки отражения в первом слое добавляются ко второму (и третьему) для получения общей картины облачности. В целях передачи данных количество облаков, измеренное с помощью системы АСПН для каждого слоя, затем конвертируется в статистическую функцию, эквивалентную данным, полученным с помощью проведения неавтоматизированного наблюдения.

Данный алгоритм также проверяет наличие облачности по всему небосводу, основываясь на критерии видимости нижних приземных слоев и высоком проценте «неизвестных точек отражения» в нижних слоях.

Алгоритм оценки состояния небосвода также был разработан для использования в тех случаях, когда формирование (или адвекция) облака обычно происходит в (или от) известном местоположении и приводит к значительной одновременной разнице в состоянии облачности над территорией аэропорта. Данный метеорологический изменяющийся алгоритм применяется для данных, полученных с двух сенсорных датчиков высоты облачности. Основной датчик устанавливается недалеко от зоны касания взлетно-посадочной полосы рядом с основным прибором. Второй датчик обычно устанавливается на расстоянии от 3 до 6 км (2–4 миль) от основного датчика против ветра в наиболее

вероятном направлении адвекции или ближе к постоянному источнику уникальных условий облачности. Второй датчик высоты облачности предназначен для оперативного определения значительных различий в состоянии облачности.

Дополнительные детали алгоритма оценки состояния облачности АСПН и его верификации предоставлены НУОА (NOAA, 1988) и правительством США (United States Government, 1999).

15.3.2 Измерение количества облаков с помощью инфракрасного детектора

Пирометры, или пассивные инфракрасные радиометры, по сути, представляют собой инфракрасные термометры дистанционного зондирования (8–14 мкм). Они могут использоваться для наблюдения элементарных телесных углов небосвода, используя для этих целей либо несколько фиксированных датчиков (например, четыре фиксированных датчика используются для осуществления выборки по всему небосводу) посредством сканирования всего небесного купола с помощью одного датчика, либо с помощью сочетания обоих методов (в конструкции одного из производителей предусмотрено 14 датчиков, охватывающих 180 градусов небосвода от одного горизонта до противоположного горизонта, и физический механизм для сканирования по азимуту). При этом измеряется нисходящее тепловое излучение от облаков и от воздушного столба между облаками и прибором, а температура каждого телесного угла, включенного в выборку, рассчитывается на основе сочетания законов Планка и Стефана–Больцмана. ИК температура затем может использоваться для указания на присутствие облаков в каждом включенном в выборку телесном углу. Далее можно получить общую долю небосвода, покрытую облаками, и представить ее в виде облачного покрова.

Сканирующие пирометры позволяют избежать проблем репрезентативности измерений, которые существуют в других методах, зависящих от количества исследуемых точек. Возможно также проведение измерений в темное время суток. Недостатком является трудность классификации фракционных и/или транспарантных «пикселей». Например, сканирующий пирометр, так называемый нубископ, может работать непрерывно для рутинных измерений общего количества облаков (WMO, 2010). Каждые 10 минут выполняется сканирование неба с разрешением 36 на 30 пикселей. Пирометр расположен на конце трубки, что делает его совершенно нечувствительным к загрязнению. Порог обнаружения облачности составляет около -65°C , но зависит от загрязнения линзы объектива, вклада водяного пара в измеряемую яркостную температуру и оптической глубины облака. Нубископ обнаруживает облака, когда измеренная яркостная температура атмосферы превышает фоновое значение ясного неба. Яркостная температура ясного неба увеличивается с увеличением зенитных углов из-за увеличения наклонного пути через атмосферу и меняется со временем из-за изменения значений содержания в атмосфере водяного пара. Датчик динамически адаптируется к эталону чистого неба во время каждого сканирования, когда доступно достаточное количество безоблачных сцен на различных высотах. Boers et al. (2010) пришли к выводу, что для замены наблюдателя следует использовать метод наблюдения за облаками в масштабах полушария (такой как нубископ) вместо метода столбцов (такого как облакомер), чтобы избежать разрывов в функции распределения облачности климатических рядов данных.

Системы инфракрасных небесных камер с использованием неохлаждаемых микроболометрических детекторных решеток измеряют нисходящее атмосферное излучение в диапазоне длин волн 8–14 мкм. Так называемая инфракрасная система измерения облачности всего неба (Liu et al., 2013) объединяет несколько ИК изображений неба, чтобы каждые 15 минут получать изображение всего неба с разрешением 650 на 650 пикселей. Обработка ИК изображений облачности аналогична обработке сканирующего пирометра. Система использует профили температуры и относительной влажности в реальном времени, а также данные о горизонтальной видимости для оптимизации порога обнаружения нижней границы облачности. Кроме того, высокое пространственное разрешение позволяет определять тип облака, как и визуальная камера.

Пиргеометры измеряют нисходящее атмосферное длинноволновое излучение (4,5–100 мкм). Уровень длинноволнового излучения и его изменчивость могут быть использованы для оценки общего количества облаков (Dürr and Philipona, 2004).

15.3.3 Измерение количества облаков с помощью камеры обзора небосвода

Существуют камеры, которые специально разработаны для измерения количества облаков. С их помощью производятся наблюдения за небосводом, применяя, например, изогнутые зеркала. Изображение с камеры анализируется при помощи алгоритма, определяющего наличие облака в настоящее время в каждом пикселе, используя измеряемый цвет. Сумма всех пикселей определяет количество облаков. В прошлом специально разработанные визуализаторы неба использовались в дневное время только для оценки общего количества облаков. В настоящее время для этой цели могут использоваться камеры DSP IP (интернет-протокол цифровой обработки сигналов) или веб-камеры, в то время как камеры с инфракрасным ночным видением также дают полезные результаты в условиях низкой освещенности. Значительные успехи были достигнуты в разработке программного обеспечения, используемого для анализа изображений неба с целью определения не только количества, но и типа облаков (см. например, Wacker et al., 2015).

Этот метод позволяет избежать проблем репрезентативности измерений, которые могут присутствовать в некоторых других методах. Некоторые камеры используются в дневное время и, таким образом, не могут применяться в темное время суток. Камеры, производящие измерения в ИК-диапазоне, не имеют таких недостатков, но они обладают меньшим полем обзора и являются более дорогостоящими. Для таких камер необходимо часто проводить техническое обслуживание по очищению оптических поверхностей.

15.4 ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ ВЫСОТЫ НИЖНЕЙ ГРАНИЦЫ ОБЛАКОВ

Для измерения высоты нижней границы облаков используется несколько методов. К ним относятся: использование лазерного облакомера, облакомера с вращающимся лучом, облачного прожектора и шара-зонда. Наиболее часто в настоящее время применяется метод измерения с помощью лазерного облакомера. Эта методика обладает огромными преимуществами по сравнению с другими технологиями, и в этой связи ее следует рассматривать как наиболее подходящую. Другие методы, такие как облачные радары и радиозонды, также дают информацию о высоте основания облаков, но эти системы не являются экономически эффективными, когда используются исключительно для этой цели.

Следует отметить, что, кроме того, информация о высоте нижней границы облаков получается с помощью пирометров и микроболометров, упомянутых выше, поскольку они измеряют температуру неба или нижней границы облака. На наблюдаемую температуру влияют влажность и аэрозоль, и для получения высоты нижней границы облаков требуется температурный профиль. Поэтому информация о высоте нижней границы облаков, получаемая инфракрасными детекторами, довольно скудна, особенно для малых высот.

Визуализаторы неба могут стереографически определять высоту нижней границы облаков, просматривая одно и то же облако с помощью двух визуализаторов. Для правильной работы метода должна быть возможность идентифицировать одну и ту же конкретную облачную функцию на обоих изображениях. Точность определения высоты нижней границы облаков зависит от геометрии, включающей в себя расстояние между визуализаторами неба и положение (ориентация) объекта на обоих изображениях.

15.4.1 Измерение высоты нижней границы облаков с помощью лазерного облакомера

15.4.1.1 Метод измерения

При использовании лазерного облакомера высота нижней границы облаков определяется посредством измерения времени, необходимого для прохождения светового импульса когерентного света от источника до нижней границы облаков и возвращения к приемнику (принцип: определение и локализация с помощью источника света, лидар). Сигнал, излучаемый лазером, направляется вертикально вверх, где, если облачность располагается над источником света, излучение рассеивается гидрометеорами, составляющими облачность. Основная доля излучения рассеивается вверх, но некоторая ее часть рассеивается вниз и фокусируется на фотоэлектрическом детекторе приемника. Лучевой поток, обратно рассеиваемый на приемник, уменьшается в зависимости от дальности в соответствии с законом обратных квадратов. Облакомер (рисунок 15.1) обычно состоит из двух узлов — приемо-передающий узел и блок записи.

Передатчик и приемник устанавливаются рядом в одном помещении с электронной аппаратурой по детектированию и обработке сигналов. Источником света обычно является полупроводниковый лазер с длиной волны, близкой к ИК диапазону. Оптические устройства передатчика располагаются таким образом, чтобы лазерный источник света и детектор приемника находились в фокусе обычной или ньютоновской телескопической системы. На поверхности линз наносится соответствующее покрытие толщиной в одну четверть длины волны с целью уменьшения отражения и обеспечения высокого уровня пропускания света. Апертура передатчика герметично закрывается стеклянным окошком, которое имеет антиотражательное покрытие на внутренней поверхности и устанавливается под углом для стекания дождевой воды.

Приемник имеет ту же конструкцию, что и передатчик, однако вместо источника света в него входит фотодиод, а также встроенный узкополосный оптический фильтр. Фильтр не пропускает большую часть фонового рассеянного солнечного излучения, облегчая, таким образом, обнаружение рассеянного лазерного излучения в светлое время суток.

Излучатель и приемник могут быть установлены рядом таким образом, чтобы пучок света излучателя и поле зрения приемника начинали совмещаться на высоте около 80 м над устройством и полностью совмещались на высоте нескольких сотен метров (см. например, WMO, 2016с). Обнаружение нижней границы облаков в слепой зоне ниже начала совмещения основывается на обратных сигналах от излученного импульса, которые

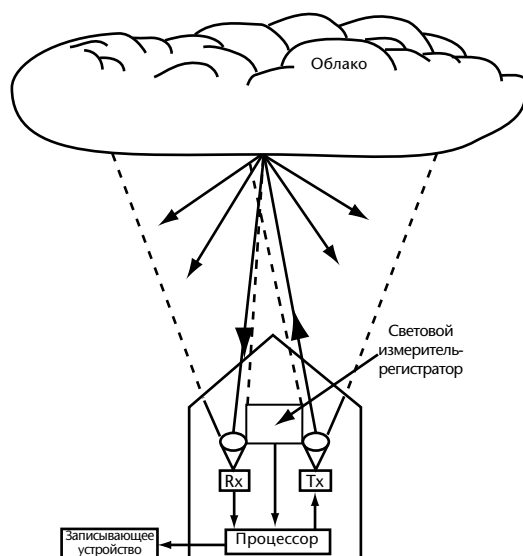


Рисунок 15.1. Типовой лазерный облакомер

были рассеяны по меньшей мере дважды. Такие же оптические устройства применяются в некоторых системах для передачи и получения излучения, что позволяет избежать этой проблемы.

Укрытие снабжается нагревателями во избежание конденсации на оптических поверхностях, а влажность внутри укрытия понижается посредством использования осушителя. Верхняя часть укрытия снабжена крышкой со встроенными оптическими отражателями, предохраняющими устройство от прямого солнечного излучения.

Выходной сигнал детектора разделяется на последовательные «строб-импульсы дальности», каждый из которых отображает минимально обнаруживаемое приращение высоты. В прибор вмонтировано пороговое устройство для сведения к минимуму вероятности того, что прибор не «увидит» облако или «увидит» несуществующее облако.

15.4.1.2 **Размещение и установка**

Облакомер следует устанавливать в соответствии с рекомендациями производителя. Устройство должно быть установлено на прочном основании со свободным обзором над пунктом наблюдения в пределах конуса с углом приблизительно 30° к вертикали. При необходимости может использоваться площадка на крыше при условии соответствующей корректировки сообщаемых высот к уровню земной поверхности. Несмотря на то, что в оперативной практике конструкция лазерных облакомеров обеспечивает «безопасность для зрения», следует принимать меры к тому, чтобы случайный наблюдатель не смотрел непосредственно в излучаемый пучок света.

МЭК опубликовала свод международных стандартов по безопасности лазерной продукции (МЭК 60825:2018 SER), который также включает в себя классификационную схему в соответствии с безопасностью для глаз. В продаже имеются безопасные для глаз лазерные облакомеры, отвечающие требованиям лазерного устройства класса 1 или класса 1 M, как определено этим стандартом.

В некоторых местах необходимо наклонять прибор, чтобы солнце не попадало в поле зрения облакомера. С целью снижения воздействия сильно отражающихся дождевых капель пучок света и телескоп могут быть установлены под углом приблизительно 5° к вертикали.

15.4.1.3 **Источники погрешностей**

Существуют пять основных источников погрешностей:

- a) погрешности диапазона: такие погрешности возможны, если в цепях основного генератора синхронизации возникают неисправности, но при нормальной работе ошибки, вызванные этим источником, можно игнорировать;
- b) вертикальность излучаемого/отраженного пучка света: в том случае, если прибор отъюстирован и отклонение луча от вертикали составляет не более 5° , погрешностями такого рода можно пренебречь;
- c) погрешности, возникающие в системе обработки сигналов: в связи с тем, что обычно нижняя граница облаков весьма расплывчата и варьирует в значительной степени во времени и в пространстве, были разработаны сложные алгоритмы для оценки репрезентативных значений высоты нижней границы облаков по отраженному облаком сигналу. В условиях тумана (при наличии или отсутствии облачности над прибором), а также при выпадении осадков могут возникать серьезные ошибки. Следовательно, важно располагать информацией о видимости и осадках для того, чтобы оценить результаты, получаемые с помощью облакомера. В условиях характерной слоистой облачности (например, при наличии слоисто-кучевых

облаков) ошибки измерения проверяются исключительно посредством пороговых алгоритмов облачности и могут считаться приемлемыми для некоторой отдельно взятой конструкции облакомера;

- d) диапазон измерений: ввиду ограниченной мощности лазера, отраженное излучение на больших высотах может быть настолько малой интенсивности, что его невозможно обнаружить. Поэтому не всегда можно наблюдать высоту нижней границы перистых облаков;
- e) неправильное определение нижней границы облаков: это может быть вызвано шумом прибора. Аэрозольные и влажные слои атмосферы также могут приводить к неправильному определению нижней границы облаков. Пролетающие самолеты и птицы, нависающая растительность и снежные шапки на поверхности облакомера могут стать причиной ошибочных определений нижней границы облачности.

В оперативной практике в условиях однородной высоты нижней границы облаков результаты измерений лазерным облакомером можно сравнить с результатами шаропилотных измерений, измерениями видимости на различных высотах на мачте или высотой, на которой башня может быть различима на изображении с камеры, а также измерений с самолета и с помощью прожектора в ночное время.

Были проведены масштабные взаимные сравнения лазерных облакомеров от различных производителей. Так, во время проведения ВМО международного взаимного сравнения облакомеров (WMO, 1988) сравнивались несколько конструкций облакомеров, а также результаты наблюдений с помощью облакомеров с вращающимся лучом и шаров-пилотов. В результате международного взаимного сравнения было установлено, что при использовании современной технологии лазерный облакомер представляет собой наиболее точное, надежное и эффективное средство измерения высоты нижней границы облаков с земной поверхности по сравнению с альтернативным оборудованием.

15.4.1.4 **Калибровка и техническое обслуживание**

Большинство лазерных облакомеров снабжены встроенной диагностикой, которая контролирует излучаемую выходную энергию и чувствительность детектора и предохраняет от серьезных погрешностей в синхронизации. Проверка калибровки обычно ограничивается проверкой частоты и стабильности основного генератора посредством использования высококачественных наружных стандартов частоты и проверкой выходной мощности излучателя. Калибровка может быть произведена также путем взаимного сравнения (WMO, 1988). Некоторые НМГС проводят полевые приемочные испытания для каждого потолочного измерителя, в ходе которых определение нижней границы облаков верифицируется с помощью надежного прибора. Наведение облакомера на цель на известном расстоянии (например, на башню) может использоваться для подтверждения измерения расстояния этим прибором. Текущее обслуживание обычно заключается в чистке открытых оптических приборов и наружных поверхностей и замене воздушных фильтров при наличии охлаждающего притока воздуха. Следует отметить, что облакомеры обычно анализируют световой импульс, отраженный окном обзора, для контроля его загрязнения. Генерируются предупреждающие и тревожные сообщения, которые предупреждают обслуживающий персонал о необходимости очистки прибора или о том, что чувствительность прибора по всему диапазону может быть снижена из-за загрязнения окна обзора.

Калибровочные проверки и плановое техническое обслуживание или устранение неполадок должны выполняться в соответствии с рекомендациями производителя. Большинство лазерных облакомеров имеют встроенную диагностическую возможность для выявления распространенных неисправностей. Рекомендуется, чтобы процедуры технического обслуживания или устранения неполадок выполнялись только персоналом, обученным надлежащим образом, так как могут присутствовать опасные напряжения, и лазер может привести к повреждению глаз при неправильном обращении. Облакомер, как правило, сконструирован таким образом, чтобы атмосферные осадки стекали

с окна обзора, и, кроме того, чтобы теплый воздух через регулярные промежутки времени обдувал окно обзора для удаления осадков и листьев. Как правило, помимо очистки поверхностей оптических устройств и замены пылевых фильтров вентилятора охлаждения, требуется небольшое техническое обслуживание. Во время технического обслуживания также следует удалять снежные шапки с поверхности облакомера и предметы или растительность над прибором. Во время осмотра следует убедиться в том, что над прибором нет или не будет нарастать снег или растительность, и что облакомер не находится непосредственно под траекторией захода на посадку или взлета самолета или под воздействием его выхлопных газов.

Калибровку дальности измерения можно проверить в полевых условиях путем сравнения с высотами облаков, полученными с использованием альтернативного метода. Если облака нет, можно направить прибор на твердую цель на известном расстоянии. Для этого может потребоваться расположить прибор на расстоянии нескольких сотен метров за пределами минимального диапазона действия облакомера. Необходимо соблюдать крайнюю осторожность, чтобы предотвратить случайное воздействие лазерного луча на людей, находящихся за пределами цели. Некоторые производители предоставляют облачный симулятор для проверки работы облакомера.

Современные облакомеры могут сделать доступными профили обратного рассеяния, из которых извлекается базовая информация об облаке. Эта информация полезна для проверки правильной работы прибора. Поэтому рекомендуется, по возможности, архивировать данные обратного рассеяния. Эти данные также могут быть использованы для устранения неполадок, обработки результатов с помощью оптимизированных алгоритмов обнаружения облаков и создания дополнительных продуктов, таких как высота слоя смешивания и обнаружение аэрозольных слоев. Кроме того, профиль обратного рассеяния в ситуации безоблачного неба может быть проанализирован для проверки коррекции зоны перекрытия и характеристик шума прибора, которые в противном случае могли бы привести к ошибочному обнаружению нижней границы облаков. Кроме того, два дополнительных метода калибровки могут быть использованы в подходящих условиях для сетей облакомеров с доступом к данным обратного рассеяния. К ним относятся: (а) так называемый метод Рэлея, основанный на отражении луча лидара от чисто молекулярных слоев, который наиболее подходит для облакомеров, использующих детектирование с подсчетом фотонов; (b) так называемый облачный метод, основанный на полном ослаблении лидарного сигнала в жидком облаке и наиболее подходящий для облакомеров с аналоговым методом обнаружения (см. WMO, 2016d).

15.4.2 Измерение высоты нижней границы облаков с помощью облакомера с вращающимся лучом

15.4.2.1 Метод измерения

Принцип действия облакомера с вращающимся лучом заключается в измерении угла возвышения светового пучка, осуществляющего сканирование в вертикальной плоскости, в тот момент, когда часть светового сигнала, рассеянного основанием облака, будет получена фотоэлектрическим элементом, направленным вертикально вверх и расположенным на известном расстоянии от источника света (см. рисунок 15.2). Прибор состоит из передатчика, приемника и записывающего устройства.

Передатчик испускает узкий пучок света, расходимость которого составляет 2° , при этом большая часть излучаемой радиации находится в ближней ИК области спектра длин волн, т. е. в диапазоне от 1 до 3 мкм. Таким образом, используемая длина волны незначительна по сравнению с размером водяных капель в облаке. Световой пучок сканирует облака в вертикальной плоскости по дуге, обычно охватывая диапазон от 8° до 85° , и модулируется на частоте приблизительно 1 кГц для того, чтобы с помощью методов фазочувствительного детектирования улучшить соотношение сигнал–шум в приемнике.

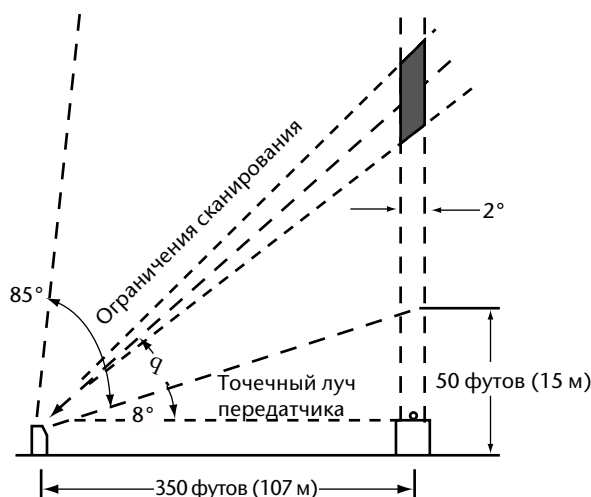


Рисунок 15.2. Типовой облакомер с вращающимся лучом

Приемник состоит из фотоэлемента и ограничителя угла зрения; ограничитель служит для того, чтобы на фотоэлемент могли попасть только вертикально направленные сверху лучи света. Перо записывающего устройства, движущееся одновременно с лучом передатчика, регистрирует получаемый от облака сигнал.

15.4.2.2 *Размещение и установка*

Передатчик и приемник должны быть установлены на открытой ровной площадке на расстоянии 100–300 м друг от друга на прочных и устойчивых подставках. Особенно важно, чтобы источник света сканировал в той же плоскости, что и приемник. Это достигается посредством точной регулировки оптики и проверкой плоскости, соответствующей лучу передатчика, в подходящих условиях в темное время суток.

15.4.2.3 *Источники погрешностей*

При измерении высоты нижней границы облака с помощью облакомера с вращающимся лучом могут быть допущены погрешности, обусловленные следующими факторами:

- шириной светового пучка;
- оптическим несовпадением;
- механическими допусками движущихся деталей;
- чувствительностью приемника.

Поскольку во многих конструкциях область пересечения конусов передатчика и приемника довольно значительна при высоте облаков более 500 м, то погрешности, связанные с шириной светового пучка, обычно являются наиболее серьезными. Определение нижней границы облаков, приводимое в 15.1.1, не представляет собой адекватную основу для объективной конструкции облакомеров, следовательно, используемые в настоящее время алгоритмы основаны на экспериментальных результатах и сравнениях с другими методами оценки. В одних облакомерах с вращающимся лучом используется «пороговый» метод определения наличия облачности, а в других — схема детектирования «пикового» сигнала. В некоторых случаях чувствительность приемника влияет на сообщаемую высоту облаков, вследствие чего возникают значительные

погрешности, превышающие при определенных обстоятельствах установленные эксплуатационные требования (Douglas and Offiler, 1978). Эти погрешности обычно возрастают с увеличением регистрируемой высоты.

Облакомеры с вращающимся лучом крайне чувствительны к наличию атмосферных осадков. В случае умеренных или сильных осадков прибор может ошибочно показать наличие облаков нижнего яруса или не сможет определить облака вообще. В условиях тумана пучок света может рассеяться на нижнем уровне, и облакомер не сможет дать какую-либо полезную информацию об облачности даже при наличии облаков нижнего яруса.

Проводились сравнения облакомеров с вращающимся лучом и лазерных облакомеров, и результаты таких сравнений широко освещались (WMO, 1988). Они показали значительное совпадение данных, полученных при помощи этих двух типов облакомеров на указанных высотах вплоть до 500 м, но при наличии атмосферных осадков эффективность детектирования с помощью облакомеров с вращающимся лучом заметно ниже.

15.4.2.4 **Калибровка и техническое обслуживание**

Единственный вид технического обслуживания, обычно проводимое пользователем, – это очистка окна обзора передатчика и приемника и замена ленты. Наружные поверхности пластиковых окон обзора передатчика и приемника следует чистить еженедельно. Необходимо использовать мягкую сухую ткань, при этом следует проявлять осторожность, чтобы не поцарапать окно обзора. При замене лампы передатчика следует произвести оптическую корректировку. Необходимо ежегодно проверять горизонтальность установки передатчика и приемника и, по мере необходимости, проводить корректировку.

15.4.3 **Измерение высоты нижней границы облаков с помощью облачного прожектора**

15.4.3.1 **Метод измерения**

При использовании этого метода, показанного на рисунке 15.3, угол возвышения E светового пятна на нижней границе облачности, полученного посредством вертикально направленного луча прожектора, измеряется с помощью алидады из удаленной точки. Пусть L — известное горизонтальное расстояние в метрах (футах) между прожектором и пунктом наблюдения, тогда высота h в метрах (футах) нижней границы облачности над пунктом наблюдения рассчитывается следующим образом:

$$h = L \tan E \quad (15.2)$$

Оптимальное расстояние между прожектором и пунктом наблюдения составляет приблизительно 300 м (1 000 футов). Если это расстояние будет значительно больше, то световое пятно может стать плохо различимым, при значительно меньшем расстоянии ухудшается точность измерения высоты более 600 м (2 000 футов). Расстояние, равное 250–550 м (800–1800 футов), обычно считается приемлемым.

15.4.3.2 **Размещение и установка**

Желательно, чтобы был свободный обзор между прожектором и алидадой, которые должны быть установлены на прочных, устойчивых подставках. При разнице в высоте над уровнем земной поверхности между прожектором и алидадой в расчетные высоты необходимо внести поправку. Если свободный обзор невозможен, то высота препятствия между лучом прожектора и алидадой не должна превышать 30 метров (100 футов).

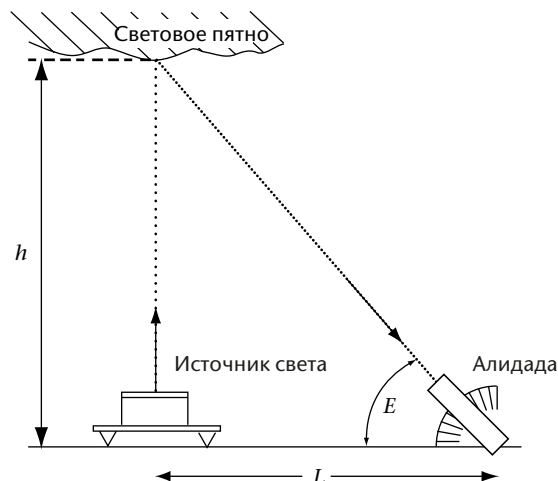


Рисунок 15.3. Принцип действия облачного прожектора

15.4.3.3 Источники погрешностей

Наиболее значительным источником погрешностей является неточность измерения угла возвышения. Погрешности высоты, связанные с небольшими отклонениями от вертикали, не имеют значения.

Абсолютная погрешность Δh в расчетном значении высоты облака, обусловленная погрешностью ΔE измеренного значения возвышения, рассчитывается следующим образом (предполагается, что L — точно измеренная постоянная):

$$\Delta h = L \cdot \left(\frac{1}{\cos^2 E} \right) \cdot \Delta E = L \sec^2 E \cdot \Delta E \quad (15.3)$$

где E приводится в радианах ($1^\circ = \pi/180$ рад). Следует отметить, что Δh стремится к бесконечности при $E \rightarrow 90^\circ$. Если $L = 300$ м (1 000 футов) и $\Delta E = 1^\circ$, то значение $\Delta h = 6$ м (17 футов) при $h = 300$ м (1 000 футов), а Δh приблизительно равно 140 м (450 футов) при $h = 1500$ м (5 000 футов). Относительная погрешность значения h рассчитывается следующим образом:

$$\Delta h/h = 1/(\sin E \cdot \cos E) \cdot \Delta E \quad (15.4)$$

где E приводится в радианах. Значение $\Delta h/h$ является минимальным при $E = 45^\circ$ (или $h = L$).

15.4.3.4 Калибровка и техническое обслуживание

Фокусировку и вертикальность пучка света следует проверять, если возможно, примерно один раз в месяц, так как со временем могут произойти небольшие изменения формы нити накала лампы. При замене лампы следует произвести регулировку ее положения, так как не все лампы одинаковы.

Вертикальность пучка света следует проверять в облачную ночь с помощью теодолита. Проверку следует проводить из двух положений: из точки, находящейся вблизи алидады, и из другой точки, находящейся приблизительно на таком же расстоянии от прожектора под прямым углом к линии, соединяющей прожектор и алидаду (рисунок 15.4). Азимуты прожектора и светового пятна на облаке должны быть измерены с максимально возможной точностью, как и угол возвышения светового пятна. Если различие между азимутами обозначить буквой A , а угол возвышения светового пятна — E , то отклонение ϕ пучка света от вертикали выражается следующим образом:

$$\phi = \arctan(\tan A / \tan E) \approx A / \tan E \quad (15.5)$$

(for $A \approx 1^\circ$ or less)

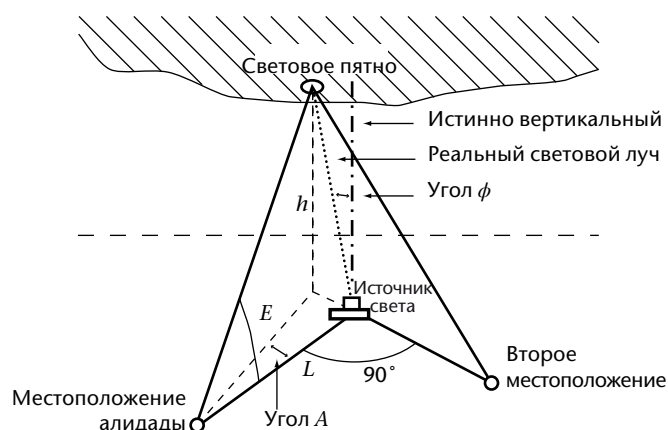


Рисунок 15.4. Проверка вертикальности светового луча прожектора

Если значение ϕ составляет более 1° при измерении из точки алидады или более $0,5^\circ$ из другого положения, то следует продолжать регулировку до получения необходимой точности.

Фокусировку можно проверить и отрегулировать в облачную ночь, проводя наблюдения за диаметром светового пятна на самом высоком облаке над прибором. В случае необходимости фокусировку следует отрегулировать таким образом, чтобы свести к минимуму диаметр светового пятна.

15.4.4 Измерение высоты нижней границы облаков с помощью шара-пилота

15.4.4.1 Метод измерения

Высота облаков может быть измерена в светлое время суток путем определения времени, необходимого для того, чтобы небольшая резиновая оболочка, наполненная водородом или гелием, поднялась от земной поверхности до нижней границы облаков. За нижнюю границу облаков следует принять уровень, на котором шар-пилот начинает входить в слой дымки, прежде чем окончательно исчезнуть.

Скорость подъема шара-пилота в основном обусловлена его свободным подъемом и может регулироваться посредством осуществления контроля за количеством водорода или гелия в оболочке шара-пилота. Интервал времени между запуском шара-пилота и его входом в облако измеряется с помощью секундомера. Если скорость подъема равна n метров в минуту, а время движения составляет t минут, то высота нижней границы облаков над поверхностью земли равна $n \cdot t$ метров, но не всегда стоит неукоснительно следовать этому правилу. Вихревые потоки воздуха на месте запуска шара-пилота могут препятствовать его подъему в течение некоторого времени с момента его выпуска. Как правило, секундомер включается в момент выпуска шара и, следовательно, период времени между выпуском шара и отмеченным моментом его выхода из вихревого потока следует вычесть из общего времени, прежде чем определять высоту облачности. Даже если не принимать во внимание вихревые потоки, скорость подъема на самом низком участке, составляющем около 600 м (2 000 футов), является весьма непостоянной.

Несмотря на то, что высоту нижней границы облаков среднего яруса иногда получают в качестве сопутствующей информации при измерениях ветра на высотах с помощью шара-зонда, в основном метод измерения шаром-зондом подходит для облаков нижнего яруса. При отсутствии вспомогательных оптических приборов, таких как бинокль, телескоп или теодолит, не следует проводить измерения, если высота нижней границы облаков

предположительно превосходит 900 м (3 000 футов) даже при слабом ветре. При сильном ветре шар-зонд может выйти за пределы диапазона видимости невооруженным глазом до того, как он достигнет границы облачности.

Выпадение осадков замедляет скорость подъема шара-зонда, и измерения высоты облаков с помощью шара-пилота можно проводить только в условиях слабых осадков.

Этот метод может использоваться в ночное время, если шар-зонд снабжен электрическим освещением. В целях безопасности использование свечей в качестве источника света строго запрещено.

15.4.4.2 **Источники погрешности**

Результаты измерения высоты нижней границы облаков с помощью шара-зонда следует использовать с осторожностью, так как средняя скорость подъема шара-зонда, особенно на участке первых нескольких сот метров, может значительно отличаться от предполагаемой скорости подъема (вследствие влияния вертикальных потоков, формы шара-зонда, осадков и турбулентности).

15.5 **ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЕ ИЗМЕРЕНИЕ ФОРМ ОБЛАКОВ**

Наблюдение за типами облаков по-прежнему проводится персоналом. Существует один используемый в оперативной практике автоматизированный метод наблюдения за формой облаков специально для определения кучево-дождевых и высоких кучевых облаков. В этом методе используются данные с сети радиолокаторов, измеряющих осадки, и сети обнаружения молний. Классы радиоотражательной способности и количество разрядов молнии в пределах определенного участка комбинируются для получения информации о присутствии кучево-дождевых и/или высоких кучевых облаков. Этот новый метод используется несколькими метеорологическими службами. Количество ложных тревог относительно высоко (см. WMO, 2006b). Некоторые службы используют спутниковые (визуальные и ИК-каналы) и модельную информацию для улучшения качества продукции, связанной с кучево-дождевыми и высокими кучевыми облаками.

В настоящее время разрабатывается метод определения формы облака с учетом нескольких статистических спектральных и текстурных особенностей изображения с камеры. Показатель успеха является многообещающим для однородных случаев (75–88 %), но ниже в случаях смешанных форм облаков (см. например, Heinle et al., 2010; Liu et al., 2011).

15.6 **ДРУГИЕ ОСОБЕННОСТИ, СВЯЗАННЫЕ С ОБЛАКАМИ**

15.6.1 **Вертикальная видимость**

Вертикальная видимость определяется как максимальное расстояние, на котором наблюдатель может различать предметы в вертикальном направлении. Вертикальная видимость может быть рассчитана, исходя из профиля ослабления атмосферы. Облакомеры (см. 15.4.1 и 15.4.2) могут предоставить оценочное значение вертикальной видимости на основе интегрированного профиля затухания с амплитудой (см. Уравнение 15.1). В публикации ВМО (WMO, 1988) показано, что при использовании данного метода нередко получаются недостоверные результаты. На практике данные о вертикальной видимости часто получают при использовании облакомера, когда требования к определению высоты нижней границы облаков не соблюдаются, но отраженный свет принимается с определенной высоты.

СПРАВОЧНАЯ И ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Всемирная метеорологическая организация, , 2011 (обновлено в 2017 г.): *Наставление по кодам* (ВМО-№ 306), том I.1. Женева.
- , 2014: *Руководство по системам метеорологических наблюдений и распространения информации для метеорологического обслуживания авиации* (ВМО-№ 731). Женева.
- Boers, R., M.J. de Haij, W.M.F. Wauben, H.K. Baltink, L.H. van Ulf, M. Savenije and C.N. Long, 2010: Optimized fractional cloudiness determination from five ground-based remote sensing techniques. *Journal of Geophysical Research*, 115:D24116, doi:10.1029/2010JD014661.
- Douglas, H.A. and D. Offiler, 1978: The Mk 3 cloud base recorder: A report on some of the potential accuracy limitations of this instrument. *Meteorological Magazine*, 107:23–32.
- Dürr, B. and R. Philipona, 2004: Automatic cloud amount detection by surface longwave downward radiation measurements. *Journal of Geophysical Research*, 109:D5201, doi:10.1029/2003JD004182.
- Heinle, A., A. Macke and A. Srivastav, 2010: Automatic cloud classification of whole sky images. *Atmospheric Measurement Techniques*, 3(3):557–567, doi:10.5194/amt-3-557-2010.
- International Electrotechnical Commission, 2018: Safety of laser products – ALL PARTS. IEC 60825:2018 SER.
- Larsson, B. and E. Esbjörn, 1995: *Cloud Cover Algorithm*. SMHI IO-BN 1995-01-11, SMHI, Norrköping, Sweden.
- Liu, L., X.-J. Sun, F. Chen, S.-J. Zhao and T.-C. Gao, 2011: Cloud classification based on structure features of infrared images. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 28:410–417, doi: 10.1175/2010JTECHA1385.1.
- Liu, L., X.-J. Sun, T.-C. Gao and, S.-J. Zhao, 2013: Comparison of cloud properties from ground-based infrared cloud measurement and visual observations. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 30:1171–1179, doi: 10.1175/JTECH-D-12-00157.1.
- United States Government, 1999: *Automated Surface Observing System*. Air Force Operational Test and Evaluation Center: Final Assessment Report for the Federal Aviation Administration, California, United States.
- United States National Oceanic and Atmospheric Administration (US NOAA), 1988: *Federal Standard Algorithms for Automated Weather Observing Systems Used for Aviation Purposes*. Office of the Federal Coordinator for Meteorological Services and Supporting Research, United States Department of Commerce, FCM-S5-1988, Silver Spring, MD, United States.
- Wacker, S., J. Gröbner, C. Zysset, L. Diener, P. Tzoumanikas, A. Kazantzidis, L. Vuilleumier, R. Stöckli, S. Nyeki and N. Kämpfer, 2015: Cloud observations in Switzerland using hemispherical sky cameras. *Journal of Geophysical Research*, 120:A695–707, doi:10.1002/2014JD022643.
- Wauben, W.M.F., 2002: Automation of visual observations at KNMI: (II) Comparison of automated cloud reports with routine visual observations. In: *Symposium on Observations, Data Assimilation and Probabilistic Prediction*. AMS Annual Meeting, 2002 Report, Orlando, FL, United States.
- World Meteorological Organization, 1988: *WMO International Ceilometer Intercomparison* (D.W. Jones, M. Ouldrige and D.J. Painting). Instruments and Observing Methods Report No. 32 (WMO/TD-No. 217). Geneva.
- , 2006a: Status, evaluation and new developments of the automated cloud observations in the Netherlands (W. Wauben, H. Klein Baltink, M. de Haij, N. Maat and H. The). Paper presented at the WMO Technical Conference on Meteorological and Environmental Instruments and Methods of Observation (TECO-2006). Instruments and Observing Methods Report No. 94 (WMO/TD-No. 1354). Geneva.
- , 2006b: Status of the automatic observation on aerodrome and ongoing improvements in France (M. Leroy). Paper presented at the WMO Technical Conference on Meteorological and Environmental Instruments and Methods of Observation (TECO-2006). Instruments and Observing Methods Report No. 94 (WMO/TD-No. 1354). Geneva.
- , 2010: Laboratory and field evaluation of the NubiScope (W. Wauben, F. Bosveld and H. Klein Baltink). Paper presented at the WMO Technical Conference on Meteorological and Environmental Instruments and Methods of Observation (TECO-2010). Instruments and Observing Methods Report No. 104 (WMO/TD-No. 1546). Geneva.
- , 2016a: The ceilometer inter-comparison campaign CeiLinEx2015 - Cloud detection and cloud base height (U. Görsdorf, et al.). Paper presented at the WMO Technical Conference on Meteorological and Environmental Instruments and Methods of Observation (TECO-2016). Instruments and Observing Methods Report No. 125. Geneva.

- , 2016*b*: Transition towards a new ceilometer network in the Netherlands: challenges and experiences (M. de Haij, A. Apituley, W. Koetse and H. Bloemink). Paper presented at the WMO Technical Conference on Meteorological and Environmental Instruments and Methods of Observation (TECO-2016). Instruments and Observing Methods Report No. 125. Geneva.
 - , 2016*c*: A new procedure to perform an absolute calibration of ceilometers (G. Martucci, A. Haefele, M. de Huu, M. Tschannen, A. Küng and V. Simeonov). Paper presented at the WMO Technical Conference on Meteorological and Environmental Instruments and Methods of Observation (TECO-2016). Instruments and Observing Methods Report No. 125. Geneva.
 - , 2016*d*: The E-PROFILE network for the operational measurement of wind and aerosol profiles over Europe (A. Haefele, M. Hervo, M. Turp, J-L Lampin, M. Haefelin, V. Lehmann, the E-PROFILE team and the TOPROF team). Paper presented at the WMO Technical Conference on Meteorological and Environmental Instruments and Methods of Observation (TECO-2016). Instruments and Observing Methods Report No. 125. Geneva.
 - , 2017: *International Cloud Atlas: Manual on the Observation of Clouds and Other Meteors* (WMO-No. 407). Geneva.
-