РД 52.04.651—2003

РУКОВОДЯЩИЙ ДОКУМЕНТ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Первичная обработка результатов судовых измерений метеорологических, актинометрических и оптических величин

gost.e-ecolog.ru

РД 52.04.651—2003

РУКОВОДЯЩИЙ ДОКУМЕНТ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Первичная обработка результатов судовых измерений метеорологических, актинометрических и оптических величин

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН государственным учреждением „Главная геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова" (ГУ ГГО) Росгидромета, Гидрометеорологическим научно-исследовательским центром Российской Федерации (Гидрометцентр России)

2 РАЗРАБОТЧИКИ В. Ю. Окоренков (руководитель разработки), Р. Г. Тимановская (ответственный исполнитель разработки), Г. П. Резников, В. В. Рудометкина (ГУ ГГО), Р. С. Фахрутдинов (Гидрометцентр России)

3 УТВЕРЖДЕН Руководителем Федеральной службы России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет)

4 ЗАРЕГИСТРИРОВАН ЦКБ ГМП за номером 52.04.651—2003

5 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

6 Дополнения и возможные уточнения приводимых в настоящих методических указаниях методов обработки и расчетов возможны только с разрешения разработчика настоящих методических указаний

7 При реализации в программном обеспечении полностью или частично приводимых в настоящих методических указаниях расчетных соотношений разработчики данных указаний в обязательном порядке должны привлекаться к участию в разработке программного продукта на стадии его аттестации

Содержание

1 Область применения 1

2 Нормативные ссылки 2

3 Термины и определения 2

4 Сокращения 3

5 Общие положения 3

6 Первичная обработка результатов измерений атмосферного давления и барической тенденции 7
6.1 Атмосферное давление 7
6.2 Барическая тенденция 10

7 Первичная обработка результатов измерений скорости и направления ветра 11
7.1 Метод расчета скорости и направления истинного ветра по данным измерений скорости кажущегося ветра и его направления 11
7.2 Метод расчета скорости ветра (кажущегося или истинного), измеряемой анемометрами, снабженными шкалой 13

8 Первичная обработка результатов измерений температуры воздуха, воды 15
8.1 Обработка результатов измерений по жидкостным термометрам температуры воздуха, воды и температуры смоченного термометра 15
8.2 Обработка результатов измерений температуры воздуха, воды по электрическим термометрам 16

9 Методы расчета величин, характеризующих влажность воздуха 16
9.1 Перечень величин, характеризующих влажность воздуха 16
9.2 Методы расчета парциального давления водяного пара 16

9.3 Метод расчета давления насыщенного водяного пара . . 21
9.4 Методы расчета точки росы и точки льда (инея) . . . 22
9.5 Методы расчета относительной влажности воздуха . . 23
9.6 Метод расчета дефицита насыщения 24

10 Первичная обработка результатов измерений параметров обледенения судна 24

11 Первичная обработка результатов визуальных наблюдений за гидрометеорологическими величинами 25

12 Первичная обработка результатов измерений составляющих радиационного баланса 26
12.1 Основное выражение для расчета составляющих радиационного баланса 26
12.2 Метод расчета прямой солнечной радиации на горизонтальную поверхность 28
12.3 Метод расчета коротковолнового альбедо 28
12.4 Методы расчета часовых сумм составляющих радиационного баланса 29
12.5 Методы расчета радиационного баланса подстилающей поверхности по измерениям его коротковолновой и длинноволновой составляющих 30
12.6 Метод пересчета составляющих радиационного баланса, представленных в разных единицах измеряемой величины 31

13 Методы расчета астрономических величин 32
13.1 Методы расчета местных среднего, истинного солнечного времени и уравнения времени 32
13.2 Метод расчета высоты Солнца 33
13.3 Метод расчета склонения Солнца 34

14 Методы расчета оптических величин вертикального столба атмосферы 34
14.1 Перечень оптических величин вертикального столба атмосферы, определяемых по данным измерений прямой солнечной радиации и данным аэрологического зондирования атмосферы 34

14.2 Метод расчета коэффициента прозрачности атмосферы 36
14.3 Метод расчета натурального коэффициента ослабления прямой солнечной радиации аэрозолем над океаном 37
14.4 Метод расчета общего и общего приведенного влагосодержания вертикального столба атмосферы по данным аэрологического зондирования 39

Приложение А (обязательное) Общая формула перевода данных измерений из единиц промежуточной величины в единицы измеряемой величины . . 42

Приложение Б (справочное) Дополнительные рекомендации к методу расчета направления истинного ветра 44

Приложение В (обязательное) Методы расчета характеристик влажности воздуха при отрицательных значениях температуры воздуха и отсутствии информации об агрегатном состоянии воды на резервуаре смоченного термометра . . . 46

Приложение Г (справочное) Оценки общего влагосодержания вертикального столба атмосферы высотой 10 км по данным измерений характеристик влажности воздуха в приводном слое атмосферы 51

Приложение Д (обязательное) Тестовый пример расчета общего и общего приведенного влагосодержания вертикального столба атмосферы . . . 54

Библиография 56

Введение

В 1986 г. на НИС и НИСП Росгидромета был внедрен разработанный в ГУ ГГО комплекс программ (КСМАП) для ЭВМ типа ЕС и СМ по обработке результатов судовых метеорологических и актинометрических наблюдений. Он позволял на всех судах, где производились гидрометеорологические наблюдения штатными наблюдателями, унифицировать и автоматизировать процесс первичной обработки, контроля и архивации результатов этих наблюдений [1].

Унификация первичной обработки означала, что все результаты метеорологических и актинометрических измерений и наблюдений, производимых на судах разных ведомств, обрабатывались по единым методикам и алгоритмам. Это позволяло получать сопоставимые во времени и пространстве надежные данные о состоянии приводного слоя атмосферы и оптического состояния вертикального столба атмосферы над поверхностью океана.

В последние годы парк ЕС и СМ ЭВМ заменен на ПЭВМ. Это обстоятельство обусловило необходимость разработки КСМАП применительно к ПЭВМ. С другой стороны, появилась возможность разработки КСМАП силами УГМС для ПЭВМ разной конфигурации.

Накопленный опыт по разработке и эксплуатации КСМАП для ЕС и СМ ЭВМ показал, что и в случае использования ПЭВМ программное обеспечение процедур первичной обработки результатов судовых наблюдений и расчета ряда характеристик приводного слоя атмосферы, составляющих один или несколько автономных блоков в системе КСМАП, должно также базироваться на единых методах и алгоритмах обработки. Это является одним из требований

наставления [2]. Кроме того, в этих методах должны быть приведены в соответствие с существующими государственными и отраслевыми стандартами термины и обозначения геофизических величин с целью ликвидации разночтения и понимания их по разным литературным источникам.

С учетом сказанного возникла необходимость уточнения методов первичной обработки, контроля и архивации результатов судовых наблюдений и измерений, на базе которых разрабатывался КСМАП, с целью их использования как при ручной обработке данных, так и при разработке соответствующего программного обеспечения для ПЭВМ разной конфигурации.

Поскольку разработкой программного обеспечения, как правило, занимаются программисты, а не гидрометеорологи, было признано целесообразным обобщить все существующие методы первичной обработки, оформив их в виде руководящего документа, что, с одной стороны, значительно упростит работу с ними, а с другой — позволит на местах (в УГМС) самостоятельно разрабатывать программное обеспечение первичной обработки, контроля и архивации судовой гидрометеорологической, актинометрической информации для ПЭВМ.

Регламентирование использования единых методов первичной обработки результатов метеорологических и актинометрических измерений позволит на судах разных ведомств получать сопоставимые во времени и пространстве данные наблюдений, выполняемых в том числе по программе комплексного мониторинга состояния Мирового океана. В результате будет обеспечена сопоставимость получаемых данных с данными судовых наблюдений, архивированными во ВНИИГМИ—МЦД ранее.

РУКОВОДЯЩИЙ ДОКУМЕНТ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Первичная обработка результатов судовых измерений метеорологических, актинометрических и оптических величин

Дата введения — 2004—08—01

1 Область применения

Настоящие методические указания устанавливают основные правила, методы и приемы первичной обработки результатов метеорологических, актинометрических и оптических измерений и наблюдений, производимых на судах Российской Федерации, осуществляющих или планирующих осуществлять сбор гидрометеорологической информации о состоянии приводного слоя атмосферы и поверхности океана, оптическом состоянии вертикального столба атмосферы над водной поверхностью, а также о ряде астрономических величин (необходимых для обработки результатов актинометрических измерений), которые позволяют проводить обработку результатов измерений только по данным судовых наблюдений, не прибегая к извлечению необходимой для расчетов информации из астрономических ежегодников.

Настоящие методические указания регламентируют процедуры расчетов результатов судовых метеорологических, актинометрических и оптических измерений и наблюдений с целью получения достоверной и сравнимой во

времени и пространстве гидрометеорологической, актинометрической и оптической информации для передачи ее потребителям или на архивное хранение.

Настоящие методические указания обязательны при обработке на судах или в НИУ и УГМС Росгидромета результатов неавтоматизированных судовых метеорологических, актинометрических, оптических измерений и наблюдений.

2 Нормативные ссылки

В настоящих методических указаниях использованы ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 112—78 Термометры метеорологические, стеклянные. Технические условия

ГОСТ 4401—81 Атмосфера стандартная. Параметры

ОСТ 52.04.10—83 Актинометрия. Термины, буквенные обозначения и определения основных величин

ГОСТ 8.524—85 Таблицы психрометрические. Построение, содержание, расчетные соотношения

ГОСТ 8.567—99 Измерение времени и частоты. Термины и определения

3 Термины и определения

В настоящих методических указаниях применяемые термины, обозначения гидрометеорологических, актинометрических и оптических величин соответствуют представленным в действующих РД [2—7], журналах КГМ-15 и УКГМ-15А [3, 6].

4 Сокращения

В настоящих методических указаниях приняты следующие сокращения:

ВНИИГМИ—МЦД — Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации — Мировой центр данных.

ГУ ГГО — государственное учреждение „Главная геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова".

КСМАП — комплекс судовых метеорологических и актинометрических программ.

НИС — научно-исследовательское судно.

НИСП — научно-исследовательское судно погоды.

ПАП — первичный актинометрический преобразователь.

ПИП — первичный измерительный преобразователь.

ПЭВМ — персональная электронная вычислительная машина.

Росгидромет — Федеральная служба России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды.

СРБ — составляющие радиационного баланса.

СГМС — судовая гидрометеорологическая станция.

УГМС — межрегиональное территориальное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды.

5 Общие положения

5.1 Методическое и метрологическое сопровождение функционирования любой гидрометеорологической наблюдательной сети, в том числе и морской, направлено на обеспечение единства измерений. Под единством измерений по-

нимают получение данных измерений о состоянии природной среды с известной погрешностью (точностью). Последнее определяет достоверность измеряемых величин.

Применительно к морской судовой наблюдательной сети обеспечение получения достоверных гидрометеорологических, актинометрических или оптических данных с каждого судна имеет большое значение для мониторинга состояния Мирового океана, предоставления потребителям надежной гидрометеорологической, геофизической информации о состоянии приводного слоя атмосферы, поверхности океана, вертикального столба атмосферы над океаном и т. д.

Собираемая судами указанная выше информация пополняет банк гидрометеорологических и геофизических данных, используемых при гидрометеорологическом обеспечении морских отраслей экономики и другой деятельности на море, а также для научных климатических и других исследований.

Единство измерений — это комплексное решение многих вопросов, связанных с использованием для измерений конкретных величин единых средств измерения, своевременным и качественным их метрологическим обеспечением, соблюдением методик выполнения измерений и наблюдений и методов первичной обработки и контроля результатов измерений, усвоением гидрометеорологической информации, собираемой с разных наблюдательных платформ на морской акватории и т. д.

Часть перечисленных вопросов на сегодняшний день решена и реализована в ряде руководящих документов, регламентирующих функционирование судовой гидрометеорологической сети как подсистемы общегосударственной наблюдательной сети России.

В частности, в наставлении [2] регламентированы требования к организации и обеспечению гидрометеорологических и актинометрических наблюдений на судах, в наставлениях [3, 6] — средства измерений основных гидрометеорологических, актинометрических величин и методики выполнения измерений с помощью этих средств и т. д. В то же время многие вопросы требуют полного или частичного решения. Это, прежде всего, касается вопросов унификации методов первичной обработки гидрометеорологических и актинометрических измерений и наблюдений. Суда в последние годы постепенно оснащаются дистанционными измерительными комплексами. Данные измерений любых величин по ним, как правило, представляются в единицах промежуточных величин. В связи с этим возникает необходимость решать задачу перевода данных измерений из этих единиц в единицы измеряемых физических величин.

Первичная обработка результатов измерений и наблюдений подразумевает преобразование показаний средств измерений и визуальных оценок в значения величин (измеряемых или оцениваемых) и их характеристик в принятых единицах измерений, подготовку преобразованных данных измерений для передачи оперативных сообщений в соответствующие прогностические центры и центры сбора информации для хранения.

5.2 Первичная обработка результатов судовых гидрометеорологических, актинометрических и оптических измерений и наблюдений в конкретный срок состоит из ряда последовательных операций:

— занесение результатов измерений и наблюдений в журналы (книжки) УКГМ-15А, КГМ-15 или непосредственно в ПЭВМ;

— представление результатов измерений и наблюдений в единицах измеряемых, наблюдаемых величин или в соответствующих цифрах кода;

— технический контроль результатов измерений и наблюдений;

— критический контроль результатов измерений и наблюдений;

— подготовка оперативных сообщений;

— формирование отчетной документации.

5.3 Результаты измерений и наблюдений заносят в журналы КГМ-15, УКГМ-15А в соответствии с требованиями, представленными в [3, 4, 6] или в самих журналах.

5.4 Данные измерений и наблюдений переводят в единицы измеряемых, наблюдаемых величин в соответствии с разделами 6—14 настоящих методических указаний, а в цифры кода — в соответствии с [4].

5.5 Технический и критический контроль результатов метеорологических измерений и наблюдений осуществляют в соответствии с требованиями [8, 9].

5.6 Формирование отчетной документации отчетных форм осуществляют в соответствии с требованиями [3, 6].

5.7 Форматы величин, используемых в разных формулах (форматы значений величин), соответствуют представленным в указанных в подразделе 5.3 журналах; форматы выходных данных после расчетов по методам, рассматриваемым в настоящих методических указаниях, округление рассчитываемых величин соответствуют форматам, представленным в наставлениях [2, 3].

5.8 Контроль за выполнением требований настоящих методических указаний возлагается на методистов-метеорологов, судовых инспекторов УГМС.

Примечание — При наличии на судне ПЭВМ все операции, указанные в подразделах 5.3—5.6, выполняются на ней автоматически (если имеется соответствующее программное обеспечение). Общая формула для перевода результатов измерений, представленных в единицах промежуточных величин, в единицы измеряемой величины приведена в приложении А.

6 Первичная обработка результатов измерений атмосферного давления и барической тенденции

6.1 Атмосферное давление

6.1.1 В настоящее время и в ближайшем будущем измерения атмосферного давления производят и будут производить по безртутным барометрам, барометрам-анероидам непосредственно в принятых единицах измеряемой величины — гектопаскалях (гПа) или миллиметрах ртутного столба (мм рт. ст.).

6.1.2 В соответствии с требованиями [2], данные измерений атмосферного давления $P_{изм}$ (отсчеты по барометру) должны быть приведены к уровню моря и температуре воздуха 0 °С. Если отсчеты по барометру $P_{изм}$ выражены в гектопаскалях, то такое приведение осуществляют по формуле

$$P_0 = P_{изм} + \Delta P_{ш} + \Delta P_{т} + \Delta P_{у}, \qquad (1)$$

а если они выражены в миллиметрах ртутного столба, то по формуле

$$P_0 = 1{,}3332\,(P_{изм} + \Delta P_{ш} + \Delta P_{т} + \Delta P_{у}), \qquad (2)$$

где P_0 — атмосферное давление, приведенное к уровню моря и температуре воздуха 0 °С, гПа;

$P_{изм}$ — отсчет по прибору (барометру, барометру-анероиду), гПа или мм рт. ст.;

$\Delta P_ш$ — поправка шкалы к отсчету по прибору, гПа или мм рт. ст. Информация о поправках шкалы (если таковые имеются) приводится в свидетельстве о поверке к прибору в виде таблицы, необходимую поправку рассчитывают методом интерполяции;

$\Delta P_т$ — температурная поправка для приведения атмосферного давления к температуре 0 °С, которую рассчитывают по формуле, указанной в свидетельстве о поверке, по температуре воздуха t_a, измеренной вблизи прибора, гПа или мм рт. ст.;

$\Delta P_у$ — поправка на приведение атмосферного давления к уровню моря, которую рассчитывают по формуле

$$\Delta P_у = \Delta P_H \, (H + \Delta H) \qquad (3)$$

(ΔP_H = 0,133 гПа/м или 0,1 мм рт. ст./м (соответствует изменению атмосферного давления на 1 м высоты),

H — высота установки прибора над уровнем моря для измерения атмосферного давления (отсчитывается от положения максимальной ватерлинии [3]), м. Информация о высоте установки прибора имеется в журналах УКГМ-15А, КГМ-15 [3, 6],

ΔH — разность уровней „закрытого" моря (типа Каспийского) и Мирового океана, м. Эту разность берут со знаком „плюс", если уровень „закрытого" моря выше уровня Мирового океана, и со знаком „минус", если этот уровень ниже уровня Мирового океана (информация о высоте уров-

ня „закрытого" моря имеется в журнале КГМ-15 или в УГМС. Для открытых морей и акватории океанов $\Delta H = 0$);

1,3332 — численный коэффициент перевода миллиметров ртутного столба в гектопаскали: 1мм рт. ст. = = 1,3332 гПа.

6.1.3 При расчете значений P_0 по формулам (1) и (2) следует помнить, что:

— все поправки рассчитывают с округлением до 0,1 гПа или до 0,1 мм рт. ст. и берут для расчетов со своим знаком;

— все слагаемые в правой части должны быть выражены в одних единицах измерения (гПа или мм рт. ст.).

6.1.4 Приведем примеры обработки результатов измерений атмосферного давления при плавании судна в океане и в Каспийском море.

Примеры

1 Плавание судна проходит в океане. Атмосферное давление измеряют по анероиду № 392890 (извлечение из свидетельства о поверке представлено в таблице 5 наставления [3]), установленному на высоте $H = 10,1$ м над максимальной ватерлинией. Отсчет по анероиду $P_{изм} = 741,9$ мм рт. ст., отсчет по термометру в рубке $t_a = 12,4$ °С; значение $\Delta P_y = 10,1 \cdot 0,1 = 1,01$ мм рт. ст. ($\Delta H = 0$). Из свидетельства о поверке следует, что $\Delta P_ш = -0,6$ мм рт. ст., а $\Delta P_т = 0,3$ мм рт. ст.

По формуле (2) рассчитывают значение атмосферного давления, приведенное к температуре 0 °С и уровню моря: $P_0 = 990,1$ гПа (округление до десятых долей гектопаскаля осуществляют в соответствии с требованиями [2]).

2 Исходные данные те же, что и в примере 1, но плавание проходит в Каспийском море, уровень которого на начало 1994 г. был на 26,8 м ниже уровня Мирового океана. По формуле (3) определяют, что $\Delta P_y = 0,1 \cdot (10,1 - 26,8) = -1,67$ мм рт. ст.

Значение P_0, рассчитанное по формуле (2), оказалось равным 986,5 гПа.

6.2 Барическая тенденция

6.2.1 Барическая тенденция описывается двумя параметрами — ее величиной ΔP, отражающей количественное изменение атмосферного давления за 3 ч, предшествующие сроку наблюдения t, ч, и характеристикой a, описывающей качественное изменение атмосферного давления за эти 3 ч [3, 4]. По данным судовых наблюдений барическую тенденцию ΔP рассчитывают по формуле

$$\Delta P = P_0^{(t)} - P_0^{(t-3\text{ ч})}, \qquad (4)$$

где $P_0^{(t)}$ — атмосферное давление, измеренное в срок t и приведенное по формуле (1) или (2) к уровню моря и температуре воздуха 0 °С, гПа;

$P_0^{(t-3\text{ ч})}$ — атмосферное давление, измеренное в срок t минус 3 ч (t − 3 ч) и приведенное по формуле (1) или (2) к уровню моря и температуре 0 °С, гПа.

6.2.2 Характеристику барической тенденции a не рассчитывают, а представляют в цифрах кода [4]: кодирование осуществляют по значению ΔP и визуальной оценке характера изменения давления за 3 ч, фиксируемого на диаграммном бланке барографа [3, 4, 6], идентифицируя его с одним из типичных видов хода давления, приведенных в кодовой таблице [4].

7 Первичная обработка результатов измерений скорости и направления ветра

7.1 Метод расчета скорости и направления истинного ветра по данным измерений скорости кажущегося ветра и его направления

7.1.1 В соответствии с [2, 3, 6], на судне скорость V и направление d истинного ветра не измеряют, а рассчитывают по данным измерений на судне (по анеморумбометрам или другим приборам и способам) скорости $V_к$ и направления $d_к$ кажущегося ветра и данным о скорости $V_с$ и компасном курсе $d_с$ судна.

7.1.2 Расчет скорости истинного ветра V и его направления d осуществляют по формулам

$$V = \sqrt{(0{,}5144\, V_с)^2 + V_к^2 - 1{,}03\, V_с V_к \cos d_к}\,, \qquad (5)$$

$$d = d_с + d_к \pm d_{ки}, \qquad (6)$$

где $V_с$ — скорость хода судна, уз. Для расчетов берут с округлением до 0,1 уз;

$V_к$ — скорость кажущегося ветра, м/с. Для расчетов берут с округлением до 0,01 м/с;

$d_с$ — курс судна, целые градусы;

$d_к$ — направление кажущегося ветра, отсчитываемое от компасного курса судна по часовой стрелке, целые градусы;

$d_{ки}$ — угол между кажущимся и истинным ветром, отсчитываемый по часовой стрелке, целые градусы. Рассчитывают по формуле

$$d_{ки} = \arccos\left[(V_к - 0{,}5144\, V_с \cos d_к) / V\right]^*. \qquad (7)$$

Если $d_к < 180^\circ$, то значение d рассчитывают по формуле (6), в которой $d_{ки}$ берут со знаком „плюс"; если $d_к \geq 180^\circ$, то значение d рассчитывают по формуле (6), в которой $d_{ки}$ берут со знаком „минус".

При расчете скорости и направления истинного ветра по формулам (5) и (6) необходимо учитывать следующие ситуации:

а) $V = 0$ или $V_к = V_с$, тогда $d_к = 0$;

б) $V_к = 0$, а $V = V_с$, тогда $d = d_с$;

в) $V_с = 0$, а $V = V_к$, тогда $d = d_к$.

Примечания

1 Если направление кажущегося ветра определялось по отношению к географическому меридиану $d_{кс}$ (например, по ветровому конусу или судовому компасу [3, 6]), то $d_к$ в формулах (5) и (6) следует рассчитывать из соотношения: $d_к = d_{кс} - d_с$.

2 Если угол $d_к < 0$, то для расчета по формуле (6) значение $d_к = d_{кс} - d_с + 360^\circ$.

3 Если рассчитанное значение направления истинного ветра оказалось отрицательным ($d_{расч} < 0$), то окончательное значение $d = 360^\circ + d_{расч}$; если $d_{расч} > 360^\circ$, то окончательное значение $d = d_{расч} - 360^\circ$.

4 Если на судне скорость ветра измеряют по анемометру интегрирующего типа**, используя показания по его шкале, отнесенные к интервалу времени от включения до выключения анемометра, расчет ско-

---

*В [3] значение $d_{ки}$ предлагается рассчитывать через $\arcsin\left[(0{,}5144 V_с \sin d_к) / V\right]$, который при определенных значениях $V_с$, V и $V_к$ не всегда имеет однозначное решение (что проиллюстрировано в приложении Б), а это усложняет расчеты. По этой причине в настоящих методических указаниях предлагается уточненный метод расчета $d_{ки}$.

**Анемометр такого типа, по существу, является счетчиком количества оборотов ветроприемника за конкретный интервал времени.

рости кажущегося ветра для определения скорости истинного ветра V (м/с) осуществляют в соответствии с подразделом 7.2.

5 В формулах (5)—(7) значения скорости ветра и хода судна округляют до 0,1 м/с и 0,1 уз соответственно, а направления ветра и курса судна — до 1°.

7.2 Метод расчета скорости ветра (кажущегося или истинного), измеряемой анемометрами, снабженными шкалой

При измерении на судне скорости ветра по анемометрам, снабженным шкалой с делениями, V или $V_к$ определяют по изменению показаний анемометра (дел.) за интервал времени (с), измеренный секундомером, т. е. по промежуточной величине Δn (дел./с). В свидетельстве о поверке анемометра приводится таблица перевода Δn в метры за секунду (таблица 1).

Таблица 1 — Извлечение из свидетельства о поверке к ручному анемометру № 424875

Δn, дел./с	Скорость V, м/с	Δn, дел./с	Скорость V, м/с
1	1,3	6	5,8
2	2,2	7	6,7
3	3,1	8	7,6
4	4,0	9	8,5
5	4,9	10	9,4
		...	...
		20	18,8

7.2.1 Если связь между Δn анемометра и скоростью ветра по данным из свидетельства о поверке окажется линейной, то скорость ветра V или $V_к$ (м/с), определяют по формуле

$$V = 0{,}1\,(V_{20} - V_{10})\,(n_{t+\Delta t} - n_t)\,\Delta t^{-1}\,, \qquad (8)$$

где V_{20} — скорость ветра из свидетельства о поверке к анемометру, соответствующая значению $\Delta n = (n_{t+\Delta t} - n_t)\,\Delta t^{-1} =$ $= 20$ дел./с, м/с. Извлечение из одного такого свидетельства приведено в таблице 1;

V_{10} — скорость ветра из свидетельства о поверке, соответствующая значению $\Delta n = 10$ дел./с, м/с;

n_t — отсчет по шкале анемометра перед измерением скорости кажущегося (истинного) ветра до момента включения анемометра, дел.;

$n_{t+\Delta t}$ — отсчет по шкале анемометра через промежуток времени Δt (с), оканчивающийся в момент выключения анемометра, дел.;

0,1 — коэффициент учитывает то, что разность скоростей ветра в первой скобке делится на 10, с/дел.

7.2.2 Если связь между Δn анемометра и скоростью ветра нелинейная, то значение скорости ветра V определяют методом интерполяции по формуле

$$V = [(V_j - V_i) / (n_j - n_i)]\,(n_{t+\Delta t} - n_t)\,\Delta t^{-1}\,, \qquad (9)$$

при $j > i$ $\Delta n_i < (n_{t+\Delta t} - n_t)\,\Delta t^{-1} < \Delta n_j$.

В формуле (9) единицы используемых величин те же, что и в формуле (8).

8 Первичная обработка результатов измерений температуры воздуха, воды

8.1 Обработка результатов измерений по жидкостным термометрам температуры воздуха, воды и температуры смоченного термометра

Жидкостные термометры проградуированы, как правило, в единицах измеряемой величины, т. е. в градусах Цельсия (°С) [2, 3], поэтому обработка результатов измерений сводится к введению поправок из свидетельств о поверке в отсчеты по термометрам. В итоге обработку осуществляют по формуле

$$t_a = X_k + \Delta t_k \qquad (10)$$

или по формуле

$$t' = X'_k + \Delta t'_k, \qquad (10а)$$

где t_a — температура воздуха, воды, °С;

t' — температура смоченного термометра, °С;

$X_k \equiv t_k$ (или $X'_k \equiv t'_k$) — k-й отсчет по термометру, °С. Для расчетов берут с округлением до 0,1 °С;

Δt_k (или $\Delta t'_k$) — поправка для k-го отсчета из свидетельства о поверке, °С. Для расчетов берут с округлением до 0,1 °С (со своим знаком).

8.2 Обработка результатов измерений температуры воздуха, воды по электрическим термометрам

Как правило, если для измерений используют неавтоматические измерительные комплексы, температуру по электрическим термометрам отсчитывают в единицах промежуточных величин по показаниям электроизмерительных приборов x_i. В этих случаях обработку результатов измерений температуры осуществляют по формуле А.1 (приложение А) с округлением до 0,1 °С .

9 Методы расчета величин, характеризующих влажность воздуха

9.1 Перечень величин, характеризующих влажность воздуха

В таблице 2 приведены величины, характеризующие влажность воздуха. Их измеряют непосредственно или рассчитывают по результатам измерений температуры воздуха t_a и температуры смоченного термометра t' либо по результатам измерений температуры воздуха и одной из этих величин.

9.2 Методы расчета парциального давления водяного пара

9.2.1 Парциальное давление водяного пара e рассчитывают по температуре воздуха t_a, температуре смоченного термометра t' и атмосферному давлению P, используя основную психрометрическую формулу, представленную в ГОСТ 8.524.

Таблица 2 — Перечень измеряемых или рассчитываемых величин характеризующих влажность воздуха

Наименование, условное обозначение и единицы величин		Определение величины по ГОСТ 8.524
по ГОСТ 8.524	по Психрометрическим таблицам [10]	
Точка росы t_d, °С	Точка росы t_d, °С	Температура воздуха, при которой водяной пар, содержащийся в воздухе, достигает состояния насыщения при данном давлении водяного пара и неизменном атмосферном давлении
Парциальное давление водяного пара e, гПа	Упругость водяного пара e, гПа	Давление водяного пара, содержащегося в воздухе
Давление насыщенного водяного пара E_w над поверхностью воды, гПа	Максимальная упругость водяного пара (упругость насыщения) над водой E_w, гПа	Давление водяного пара, находящегося в состоянии термодинамического равновесия с жидкой фазой химически чистой воды, при плоской поверхности границ раздела фаз в однокомпонентной системе*
Давление насыщенного водяного пара E_i над поверхностью льда, гПа	Максимальная упругость водяного пара (упругость насыщения) E_i надо льдом, гПа	Давление водяного пара, находящегося в состоянии термодинамического равновесия с твердой фазой химически чистой воды, при плоской поверхности границ раздела фаз в однокомпонентной системе*

Окончание таблицы 2

Наименование, условное обозначение и единицы величин		Определение величины по ГОСТ 8.524
по ГОСТ 8.524	по Психрометрическим таблицам [10]	
Дефицит насыщения d, гПа	Дефицит влажности d, гПа	Разность между давлением насыщенного пара E_w и парциальным давлением водяного пара e при данной температуре
Относительная влажность воздуха f, %	Относительная влажность воздуха f, %	Отношение парциального давления водяного пара e, содержащегося в воздухе, к давлению насыщенного водяного пара E_w при одинаковых температуре и атмосферном давлении

*Иными словами, вне смеси водяного пара с другими парами и газами. Значение парциального давления насыщенного водяного пара E_c, смешанного с газами, например воздухом, несколько отличается при тех же условиях от значения его в однокомпонентной системе, что учитывается в прецезионных измерениях, но игнорируется в метеорологических наблюдениях.

9.2.1.1 Если на резервуаре смоченного термометра вода* (как правило, при температуре смоченного термометра $t'_w > 0$ °С), то расчет осуществляют по формуле

$$e = E_c\,(t'_w) - k_w A P\,(t_a - t'_w)\,(1 + a_w t'_w), \qquad (11)$$

*Информация об агрегатном состоянии воды на резервуаре смоченного термометра (вода или лед) должна быть в журнале УКГМ-15А в графе „Индекс смоченного термометра" [6].

где e — парциальное давление водяного пара, гПа. Рассчитывают с округлением до 0,01 гПа;

$E_c\,(t'_w)$ — давление насыщенного водяного пара, содержащегося в воздухе, гПа. Рассчитывают по формуле (14) с округлением до 0,01 гПа;

t'_w — температура смоченного термометра, когда на резервуаре термометра вода, °С. При расчете берут с округлением до 0,1 °С;

k_w — коэффициент, учитывающий агрегатное состояние конденсированной фазы воды на резервуаре смоченного термометра: если вода в жидком состоянии, то $k_w = 1$;

A — психрометрический коэффициент для атмосферного воздуха стандартного состава, $(°С)^{-1}$ (по ГОСТ 4401). Значение коэффициента для конкретного экземпляра аспирационного психрометра приводится в его паспорте; при отсутствии в паспорте такой информации при расчетах принимают $A = A_a = 662 \cdot 10^{-6}$ $(°С)^{-1}$ для психрометров типа М-36 и МВ-4 с номинальным значением скорости вентиляции 2 м/с (по ГОСТ 8.524) и с термометрами типа ТМ-6 (по ГОСТ 112);

P — атмосферное давление, определяемое из соотношения: $P = P_{изм} + \Delta P_ш$, где $P_{изм}$ — давление, измеренное на уровне установки прибора (барометра) с учетом внесения поправки шкалы $\Delta P_ш$, гПа. При расчете берут с округлением до 0,1 гПа;

t_a — температура воздуха (по сухому термометру), °С. При расчете берут с округлением до 0,1 °С;

a_w — коэффициент, учитывающий зависимость от температуры удельной теплоты фазового перехода конденсированной фазы воды в пар и других величин, входящих в выражение для психрометрического коэффициента, $(°С)^{-1}$. При расчете принимают $a_w = 0{,}00115$ $(°С)^{-1}$ (по ГОСТ 4401).

9.2.1.2 Если на резервуаре смоченного термометра лед, то расчет осуществляют по формуле

$$e = E_c\,(t_i') - k_i A P\,(t_a - t_i'), \qquad (12)$$

где $E_c\,(t_i')$ — давление насыщенного водяного пара, содержащегося в воздухе, гПа. Рассчитывают по формуле (14а) с округлением до 0,01 гПа;

t_i' — температура смоченного термометра, когда на резервуаре смоченного термометра лед, °С. При расчете берут с округлением до 0,1 °С;

k_i — коэффициент, учитывающий агрегатное состояние конденсированной фазы воды на резервуаре смоченного термометра: вода в твердом состоянии (лед) — k_i = = 0,8822.

9.2.1.3 Если информация об агрегатном состоянии воды на резервуаре смоченного термометра в данных наблюдений отсутствует при минус 10,0 °С $< t_a \le 0$ °С, то проверяют выполнение условия $t' < t_a$. При этом:

— невыполнение условия означает, что вода на резервуаре смоченного термометра находится в твердом состоянии (лед), и расчет значения e осуществляют по формуле (12). В этом случае, хотя $e > E_c\,(t_i')$, но $d \ge 0$, так как (в соответствии с подразделом 9.6) $d = E_c\,(t_w') - e$;

— если условие выполняется, то расчет значения e осуществляют по формуле

$$e = 0{,}5\,(e_{11} + e_{12}), \qquad (13)$$

где e_{11} и e_{12} — значения e, рассчитанные соответственно по формулам (11) и (12).

9.2.2 Расчет e по температуре воздуха t_a и относительной влажности воздуха f осуществляют по следующей схеме:

— по формуле (14) рассчитывают с округлением до 0,01 гПа значение E_w (t_a), подставив вместо t' значение t_a;

— по значениям f и E_w (t_a) рассчитывают с округлением до 0,01 гПа значение e по формуле $e = 0{,}01 f E_w$ (t_a).

9.2.3 Расчет e по точке росы t_d осуществляют по следующей схеме: по формуле (14) рассчитывают значение E_w (t'_w) с округлением до 0,01 гПа, подставив вместо t'_w значение t_d, которое будет тождественно значению e: E_w (t'_w) $\equiv e$.

9.3 Метод расчета давления насыщенного водяного пара

Давление насыщенного водяного пара E_c (t') рассчитывают с округлением до 0,01 гПа по данным измерений температуры смоченного термометра t':

а) если на резервуаре смоченного термометра вода (как правило, при температуре смоченного термометра $t'_w > 0$ °С), то расчет осуществляют по эмпирической формуле по ГОСТ 8.524

$$E_c\,(t')^{*} = E_w\,(t'_w) = E_0 \exp\left[\alpha_w t'_w / (\beta_w + t'_w)\right], \qquad (14)$$

где E_0 = 6,1121 гПа — давление насыщенного водяного пара при t_a = 0 °С;

α_w = 17,5043 и β_w = 241,2 °С — постоянные для воды;

*См. сноску к таблице 2.

б) если на резервуаре смоченного термометра лед, то расчет осуществляют по эмпирической формуле по ГОСТ 8.524

$$E_c\,(t')^{*} = E_i\,(t_i') = E_0\,\exp\left[\alpha_i\,t_i'\,/\,(\beta_i + t_i')\right], \qquad (14а)$$

где $\alpha_i = 22{,}4893$ и $\beta_i = 272{,}881$ °С — постоянные для льда.

9.4 Методы расчета точки росы и точки льда (инея)

9.4.1 Расчет точки росы t_d и точки льда (инея) t_i по данным измерений температуры воздуха t_a и температуры смоченного термометра t_w' или t_i' осуществляют с округлением до 0,1 °С.

Схемы расчета точки росы и точки льда следующие.

а) схема расчета t_d:

— по формуле (11) рассчитывают e;

— это значение e подставляют в формулу

$$t_d = \beta_w \left(\frac{\alpha_w}{\ln e^{**} - \varepsilon} - 1 \right)^{-1}, \qquad (15)$$

где $\varepsilon = \ln E_0 = 1{,}8103$;

б) схема расчета t_i:

— по формуле (12) или (13) рассчитывают e;

— это значение e подставляют в формулу

$$t_i = \beta_i \left(\frac{\alpha_i}{\ln e^{**} - \varepsilon} - 1 \right)^{-1}. \qquad (15а)$$

---

*См. сноску к таблице 2.

**Здесь e — парциальное давление водяного пара (согласно таблице 2).

9.4.2 Расчет точки росы t_d по данным измерений относительной влажности воздуха f и температуры воздуха t_a осуществляют с округлением до 0,1 °С по формуле по ГОСТ 8.524

$$t_d = \beta_w \frac{\ln(0{,}01f) / \alpha_w + t_a / (\beta_w + t_a)}{1 - [\ln(0{,}01f) / \alpha_w + t_a / (\beta_w + t_a)]}, \qquad (16)$$

в которой значение t_a для расчета берут с округлением до 0,1 °С, а f — до 1 %.

9.5 Методы расчета относительной влажности воздуха

9.5.1 Расчет относительной влажности воздуха f по температуре воздуха t_a и температуре смоченного термометра t' осуществляют с округлением до 1 % по формуле

$$f = 100e / E_w(t_a), \qquad (17)$$

в которой значения e и $E_w(t_a)$ для расчета берут с округлением до 0,01 гПа. Значение e рассчитывают по формулам (11), (12) или (13), $E_w(t_a)$ — по формуле (14), в которой t'_w заменяют на t_a.

9.5.2 Расчет относительной влажности воздуха f по температуре воздуха t_a и точке росы t_d осуществляют с округлением до 1 % по формуле по ГОСТ 8.524

$$f = 100\, T_d^D\, T^{-D} \exp[G(T^{-1} - T_d^{-1})], \qquad (17а)$$

где $T = 273{,}15 + t_a$, К*;
$T_d = 273{,}15 + t_d$, К;
$G = 6888{,}2$ К;
$D = -5{,}3627$.

9.6 Метод расчета дефицита насыщения

Расчет осуществляют с округлением до 0,01 гПа по формуле

$$d = E_w\,(t_a) - e, \qquad (18)$$

где $E_w\,(t_a)$ рассчитывают по формуле (14) с заменой t' на t_a, а e — в соответствии с подразделом 9.2 — в зависимости от состава измеряемых величин.

10 Первичная обработка результатов измерений параметров обледенения судна

Обледенение судна описывается двумя параметами:

— толщиной отложения льда H_t в срок наблюдения t, целые сантиметры;

— характеристикой обледенения R_s, отражающей скорость нарастания (таяния) отложения льда в сантиметрах за единицу времени (за час).

Расчет значений H_t и R_s осуществляют по формулам

$$H_t = \left(\sum_{i=1}^{i=n} H_i \right) / (10n); \qquad (19)$$

---

*К — обозначение единицы измерения температуры по абсолютной термометрической шкале Кельвина.

$$R_s = (H_t - H_{t-\Delta t}) / \Delta t, \qquad (20)$$

где H_t рассчитывают с округлением до 1 см;

H_i — толщина отложения льда в i-й точке измерения (в соответствии с [3, 6] $n \geq 3$), мм;

$H_{t-\Delta t}$ — толщина отложения льда за предыдущий срок наблюдения $t - \Delta t$, см;

Δt — промежуток времени (предшествующий сроку наблюдения t), за который определяют характеристику обледенения, ч.

В соответствии с [3, 6], $\Delta t = 6$ ч, если $R_s < 0{,}7$ см/ч, и $\Delta t = 1$ ч, если $R_s \geq 0{,}7$ см/ч.

11 Первичная обработка результатов визуальных наблюдений за гидрометеорологическими величинами

В соответствии с [2, 3, 6], производят визуальные наблюдения и оценивают:

— ветровые волны и зыбь;

— гидрометеорологические явления, погоду в срок наблюдения и прошедшую погоду, характеристики облачности;

— метеорологическую дальность видимости.

Первичная обработка результатов наблюдений и оценок в этом случае сводится к их кодированию в соответствии с требованиями действующего на момент наблюдений кода КН-01 [4].

12 Первичная обработка результатов измерений составляющих радиационного баланса

12.1 Основное выражение для расчета составляющих радиационного баланса

Как правило, все СРБ, кроме коротковолнового альбедо $A_к$ (альбедо не измеряют, а рассчитывают в соответствии с подразделом 12.3), измеряют в единицах промежуточных величин, выражая их в делениях шкал измерительных приборов. Методы обработки предполагают перевод результатов измерений из таких единиц в общепринятые единицы измеряемой величины.

Общее выражение для преобразования результата измерений (мгновенного значения) любой СРБ и представления его в общепринятых единицах величины имеет вид

$$X_i = \frac{\alpha b C_j (N_i - N_{0_i})}{K_{t_a}}, \qquad (21)$$

где X_i — значение СРБ в i-й момент времени, при этом $X_i = S_i, Q_i, D_i, R_{к_i}, B_i, B_{к_i}, B_{д_i}$ (соответственно прямая, суммарная, рассеянная и отраженная коротковолновая солнечная радиация, радиационный баланс подстилающей поверхности, коротковолновая и длинноволновая составляющие радиационного баланса (по ОСТ 52.04.10)), кВт/м^2;

α — цена деления шкалы измерительного прибора (диаграммного бланка), Y/дел. (Y — наименование единицы промежуточной величины, измеряемой соответствующим прибором, например милливольты). Значение α приводится в свидетельстве о поверке измерительного прибора;

b — коэффициент перевода цены деления шкалы α измерительного прибора в милливольты на деление (мВ/дел.), если в поверочном свидетельстве размерность α приводится не в мВ/дел. Если α выражено в мВ/дел., тогда $b = 1$;

C_j — корректирующий параметр, зависящий от типа ПАП (j — тип ПАП) и измерительных приборов (например, азимутальная поправка к показаниям пиранометра): при расчетах обычно типу прибора присваивают конкретный номер, например $j = 1, 2,\ldots,J$.

N_i — показание измерительного прибора, деления его шкалы (показание вольтметра, потенциометра, ордината диаграммного бланка и т. д.) в i-й момент времени;

N_{0_i} — значение места нуля измерительного прибора в делениях его шкалы в i-й момент времени;

K_{t_a} — коэффициент преобразования (чувствительность) ПАП (актинометрический, радиационный, радиометрический датчик). Индекс t_a означает, что коэффициент, как правило, зависит от температуры воздуха. Эта зависимость приводится в свидетельстве о поверке ПАП. В системе Росгидромета K_{t_a} принято выражать в мВ · м^2/кВт (по ОСТ 52.04.10) при температуре воздуха $t = 20$ °С (K_{20}).

С учетом этого значение K_{t_a} в свидетельстве о поверке ПАП может быть приведено в виде постоянного числа для температуры 20 °С (K_{20}) или в виде функции от температуры воздуха t_a. Если в свидетельстве о поверке такая функция отсутствует, то приведение коэффициента K_{20} к температуре воздуха t_a, при которой производится измерение СРБ, осуществляют по формуле

$$K_{t_a} = K_{20}\,[1 - C_{t_a}\,(t_a - 20)], \qquad (22)$$

где C_{t_a} — температурный коэффициент ПАП, который для актинометра типа М-3 равен 0,0008, для пиранометра типа М-80М равен 0,0011, а для балансомера типа М-10 равен 0.

Как правило, выражение (22) используют для приведения коэффициента K_{20} к температуре воздуха t_a при расчетах мгновенных значений и часовых сумм прямой солнечной радиации S.

Расчет мгновенных значений СРБ осуществляют с округлением до 0,01 кВт/м^2.

12.2 Метод расчета прямой солнечной радиации на горизонтальную поверхность

Предлагаемый метод расчета используют при определении значений B. Расчет прямой солнечной радиации на горизонтальную поверхность S' (кВт/м^2) осуществляют с округлением до 0,01 кВт/м^2 по формуле

$$S' = S \sin h_\odot, \qquad (23)$$

где $h_\odot$ — высота Солнца, градусы угловые (...°) или радианы (рад). Рассчитывают по формуле (34); значение $\sin h_\odot$ определяют с округлением до 0,001.

12.3 Метод расчета коротковолнового альбедо

Альбедо выражают в процентах и его расчет осуществляют с округлением до 1 % по формуле

$$A_к = 100\, R_к / Q, \qquad (24)$$

где Q и $R_к$ — соответственно суммарная и отраженная коротковолновая солнечная радиация, измеренная с точностью до 0,01 кВт/м^2.

12.4 Методы расчета часовых сумм составляющих радиационного баланса

12.4.1 Часовые суммы СРБ (МДж/м^2) (по ОСТ 52.04.10) измеряют или рассчитывают с округлением до 0,01 МДж/м^2; в формулах (25) и (26) K_{t_a} выражено в мВ · м^2/Вт.

12.4.2 При снятии показаний приборов с дискретностью $\Delta t = 1$ с расчет часовых сумм СРБ $\sum_{ч_n} X$ (МДж/м^2) осуществляют по формуле

$$\sum\nolimits_{ч_n} X = 10^{-6}\, \alpha b \sum_{i=1}^{3600} (N_i - N_{0_i})\, K_{t_a}^{-1}, \qquad (25)$$

где X — одна из СРБ ($X = S, Q, D, R_к, B, B_д, B_к$), для которой рассчитывают часовые суммы;

n — номер часа, начиная с которого рассчитывают часовую сумму (n = 0, 1, 2,..,23 ч по местному среднему солнечному времени $t_м$, рассчитываемому по формуле (31));

1 и 3600 — крайние номера секунд в часе.

12.4.3 Если показания приборов фиксируют с шагом $\Delta t \neq 1$ с, расчет $\sum_{ч_n} X$ осуществляют по формуле

$$\sum\nolimits_{ч_n} X = 10^{-6}\, \alpha b \sum_{i=1}^{J} (N_i - N_{0_i})\, \Delta t K_{t_a}^{-1}, \qquad (26)$$

где J — количество отсчетов за 1 ч: $J = 3600/\Delta t$;

Δt — дискретность снятия показаний, с.

12.4.4 Метод расчета часовых сумм СРБ (МДж/м^2) по среднечасовым значениям отсчетов по измерительному прибору $N_{\text{ср}}$, места нуля $N^*_{0_{\text{ср}}}$ и $K^*_{t_{a_{\text{ср}}}}$ (чувствительности ПАП), как правило, применяют в ситуациях, когда вручную обрабатывают диаграммные бланки с непрерывной регистрацией СРБ. Расчет $\sum_{\text{ч}_n} X$ в таких ситуациях осуществляют:

а) если $N_{\text{ср}}$ и $N_{0_{\text{ср}}}$ выражены в делениях измерительного прибора, α — в мВ/дел., и значения $K_{t_{a_{\text{ср}}}}$ — в мВ · м^2/Вт, по формуле

$$\sum_{\text{ч}_n} X = 0{,}0036\,\alpha\,(N_{\text{ср}} - N_{0_{\text{ср}}})\,K^{-1}_{t_{a_{\text{ср}}}}; \qquad (27)$$

б) если $N_{\text{ср}}$ и $N_{0_{\text{ср}}}$ выражены в делениях измерительного прибора, α — в мВ/дел., $K_{t_{a_{\text{ср}}}}$ — в мВ · м^2/кВт, по формуле

$$\sum_{\text{ч}_n} X = 3{,}6\,\alpha\,(N_{\text{ср}} - N_{0_{\text{ср}}})\,K^{-1}_{t_{a_{\text{ср}}}}. \qquad (28)$$

12.5 Методы расчета радиационного баланса подстилающей поверхности по измерениям его коротковолновой и длинноволновой составляющих

В зависимости от наличия данных измерений указанных величин для расчета B используют разные методы:

---

*Поскольку чувствительность отдельных ПАП зависит от температуры воздуха, предусмотрен вариант расчета часовых сумм по среднечасовым значениям $K_{t_{a_{\text{ср}}}}$ ПАП. Это же замечание касается и места нуля измерительного прибора.

а) при наличии данных измерений Q, $R_к$ и $B_д$ расчет осуществляют по формуле

$$B = Q - R_к - B_д; \qquad (29)$$

б) при наличии данных измерений S, D, $R_к$ и $B_д$ расчет осуществляют по формуле

$$B = S \sin h_\odot + D - R_к - B_д; \qquad (30)$$

При расчетах значений B по формулам (29), (30) все составляющие должны быть выражены в кВт/м^2 с округлением до 0,01 кВт/м^2.

12.6 Метод пересчета составляющих радиационного баланса, представленных в разных единицах измеряемой величины

В ранее изданных справочниках, таблицах, монографиях и научных статьях СРБ и их суммы могут быть выражены в единицах, отличающихся от использованных в настоящих методических указаниях. Перевод единиц СРБ в единицы величин, использованные в настоящих методических указаниях, и наоборот, следует осуществлять по соотношениям наставления [11]:

1 Вт = 1 Дж/с;
1 кВт/м^2 = 1000 Вт/м^2;
1 кВт/м^2 = 0,1 Вт/см^2;
1 МДж/м^2 = 100 Дж/см^2;
1 кал/(см^2 · мин) = 0,698 кВт/м^2;
1 кал/см^2 = 0,0419 МДж/м^2;
1 ккал/см^2 = 41,9 МДж/м^2;
1 кал/см^2 = 4,19 Дж/см^2.

13 Методы расчета астрономических величин

13.1 Методы расчета местных среднего, истинного солнечного времени и уравнения времени

Местное среднее солнечное время $t_м$ (ч и мин) связано с временем t_{UTC}* (ч и мин) ($t_{UTC} \equiv t_{гр}$ — гринвичское время [5]) соотношением

$$t_м = t_{UTC} + \lambda / 15, \qquad (31)$$

где λ — долгота пункта наблюдения, градусы и минуты угловые (соответственно ...° и ...′).

Истинное солнечное время $t_{и.с.в.}$ связано с местным средним солнечным соотношением

$$\begin{aligned} t_{и.с.в.} &= t_м + \tau \quad \text{при } t_м \le 24 \text{ ч} \quad \text{или} \\ t_{и.с.в.} &= t_м - 24 + \tau \quad \text{при } t_м > 24 \text{ ч}^{**}, \end{aligned} \qquad (32)$$

где τ — уравнение времени, мин. Значение τ рассчитывают по формуле

$$\tau = 0{,}0172 + 0{,}4281 \cos\theta_0 - 7{,}3515 \sin\theta_0 - 3{,}3495 \cos 2\theta_0 - 9{,}3619 \sin 2\theta_0 . \qquad (33)$$

---

*UTC (universal time coordinated) — Международная шкала координированного времени, ГОСТ 8.567 (эквивалентно среднему гринвичскому времени (СГВ)).

**При расчете $t_м$ на ЭВМ бывают ситуации, когда рассчитанное значение $t_м > 24$ ч.

Здесь $\theta_0 = 2\pi d_n / 365$ рад ($\pi = 3{,}1415$) или $\theta_0 = 360 d_n / 365^\circ$; d_n — номер дня от начала года, изменяющийся от 1 (1 января) до 365 (31 декабря) для обычного года и до 366 для високосного года.

13.2 Метод расчета высоты Солнца

Расчет высоты Солнца $h_\odot$ в конкретной точке Мирового океана для любого момента истинного солнечного времени $t_{и.с.в.}$ конкретного дня N месяца M $\{h_\odot [t_{и.с.в.} (NM)]\}$ осуществляют с округлением до 0,1° или 0,001 рад по формуле

$$h_\odot [t_{и.с.в.} (NM) = \arcsin [\sin \varphi_{t_{и.с.в.}(NM)} \sin \delta_{NM} + \cos \varphi_{t_{и.с.в.}} \cos \delta_{NM} \cos \Omega_k], \quad (34)$$

где $\varphi_{t_{и.с.в.}(NM)}$ — широта пункта наблюдения в момент времени $t_{и.с.в.}$ N-го дня M-го месяца, ...°. Для расчетов используют с округлением до 0,1°;

δ_{NM} — склонение Солнца в местный полдень N-го дня M-го месяца, ...°. Для расчетов используют с округлением до 0,1°;

Ω_k — часовой угол Солнца в радианах или градусах, отсчитываемый от времени наступления истинного полдня ($t_{и.с.в.} = 12$ ч) в пункте наблюдения, т. е. при $t_{и.с.в.} = 12$ ч значение $\Omega_k = 0$.

При расчете Ω_k следует помнить, что промежутку времени $\Delta t = 1$ ч соответствует значение $\Delta\Omega'_k = 0{,}262$ рад $\equiv \equiv 15^\circ$ ($\Delta\Omega_k = 15^\circ$).

С учетом сказанного:

— при выражении часового угла Солнца в радианах: $\Omega_k = 0{,}262\,(t_{\text{и.с.в.}} - 12)$,

— при выражении часового угла Солнца в градусах: $\Omega_k = 15{,}0\,(t_{\text{и.с.в.}} - 12)$.

Примечание — Выбор единиц для Ω_k при расчетах высоты Солнца $h_\odot$ по формуле (34) зависит от выбора единиц измерения φ и δ (градусы или радианы).

13.3 Метод расчета склонения Солнца

Склонение Солнца δ (в радианах) может быть определено из следующего приближения, согласно руководству [5]:

$$\delta \cong 0{,}006918 - 0{,}399912\cos\theta_0 + 0{,}070257\sin\theta_0 - 0{,}006758\cos 2\theta_0 + 0{,}000908\sin 2\theta_0 . \qquad (35)$$

Максимальная ошибка расчета δ по формуле (35) составляет 35″.

14 Методы расчета оптических величин вертикального столба атмосферы

14.1 Перечень оптических величин вертикального столба атмосферы, определяемых по данным измерений прямой солнечной радиации и данным аэрологического зондирования атмосферы

В соответствии с [2], по данным измерений на судне прямой солнечной радиации и данным аэрологического

зондирования атмосферы можно рассчитывать следующие оптические величины вертикального столба атмосферы над океаном:

— коэффициент прозрачности атмосферы P_2 (метод расчета представлен в подразделе 14.2);

— натуральный коэффициент ослабления прямой солнечной радиации аэрозолем μ'_a (метод расчета представлен в подразделе 14.3).

Исходными данными для расчета перечисленных оптических величин являются:

— результаты измерений прямой солнечной радиации $S_{изм}$ в момент времени $t_{и.с.в.}$ с округлением до 0,01 кВт/м^2;

— координаты пункта измерений S: широта φ ($t_{и.с.в.}$) и долгота λ ($t_{и.с.в.}$), используемые в расчетах с округлением до 0,1° или 0,001 рад;

— высота Солнца $h_\odot$ в момент времени $t_{и.с.в.}$ (метод расчета представлен в подразделе 13.2);

— склонение Солнца δ (метод расчета представлен в подразделе 13.3),

— данные аэрологического зондирования атмосферы для расчета общего влагосодержания вертикального столба атмосферы W (расчет осуществляют по методу, представленному в подразделе 14.4); если информация о данных аэрологического зондирования атмосферы отсутствует, значение W может быть получено из других источников, например по эмпирическим соотношениям, представленным в приложении Г [12].

14.2 Метод расчета коэффициента прозрачности атмосферы

Коэффициент прозрачности атмосферы P_2 — безразмерная величина. Его рассчитывают с округлением до 0,001 по данным измерений прямой солнечной радиации S на перпендикулярную поверхность, измеренной в условиях открытого диска Солнца [2]).

Расчет P_2 осуществляют по формуле из наставления [11]

$$P_2 = (S\rho / 1{,}367)^C, \qquad (36)$$

где S — измеренная прямая солнечная радиация, кВт/м^2;

ρ — поправочный множитель для приведения значений S к среднему расстоянию между Солнцем и Землей, который рассчитывают по формуле из руководства [5]

$$\rho = 1 / (1{,}00011 + 0{,}034222 \cos\theta_0 + 0{,}00128 \sin\theta_0 + 0{,}000719 \cos 2\theta_0 + 0{,}000077 \sin 2\theta_0), \qquad (37)$$

где $\theta_0 = 2\pi d_n / 365$ рад или $\theta_0 = 360 d_n / 365^\circ$;

d_n — номер дня от начала года, изменяющийся от 1 (1 января) до 365 (31 декабря) для обычного года и до 366 для високосного года;

C — поправочный множитель для приведения значений $S\rho$ к высоте Солнца $h_\odot = 30^\circ$, который рассчитывают по формуле

$$C = (\sin h_\odot + 0{,}205) / 1{,}41. \qquad (38)$$

14.3 Метод расчета натурального коэффициента ослабления прямой солнечной радиации аэрозолем над океаном

Натуральный коэффициент ослабления прямой солнечной радиации аэрозолем μ'_a рассчитывают с округлением до 0,01 по формуле из методических указаний [7]

$$\mu'_a(t_{м_i}) = \left\{ \ln [S_{0_{\Delta\lambda_1}} T(h_{\odot м_i}) + S_{0_{\Delta\lambda_2}} P(m_{м_i}, W_{пр})] - \right.$$

$$\left. - \ln S(t_{м_i}) \right\} m_{м_i}^{-1}, \qquad (39)$$

где $S_{0_{\Delta\lambda_1}} = 0{,}696$ кВт/м^2 и $S_{0_{\Delta\lambda_2}} = 0{,}574$ кВт/м^2 — подозонные солнечные постоянные для спектральных интервалов $\Delta\lambda_1 = 0{,}3...0{,}8$ мкм и $\Delta\lambda_2 = 0{,}8...4{,}5$ мкм соответственно;

$T(h_{\odot м_i})$ — интегральная функция пропускания солнечной радиации для рэлеевского рассеяния в зависимости от высоты Солнца $h_\odot$ в i-й момент времени $t_м$. Ее определяют по таблице 3 с округлением до 0,001;

$P(m_{м_i}, W_{пр})$ — интегральная функция пропускания для водяного пара, которую определяют по таблице 4 с округлением до 0,01: $m_{м_i}$ — оптическая масса атмосферы при $h_{\odot м_i}$ ($m_{м_i} = 1 / \sin h_{\odot м_i}$), $W_{пр}$ — общее приведенное влагосодержание вертикального столба атмосферы (г/см^2), которое рассчитывают по методу согласно подразделу 14.4 с округлением до 0,01 г/см^2;

$S(t_{м_i})$ — измеренная прямая солнечная радиация на перпендикулярную поверхность в i-й момент времени $t_м$, кВт/м^2. Для расчетов берут с округлением до 0,01 кВт/м^2.

Таблица 3 — Значения функции $T(h_\odot)$ для разных высот Солнца $h_\odot$

Десятки	Высота Солнца $h_\odot$, ...° Единицы									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
30	0,728	0,733	0,737	0,742	0,747	0,752	0,756	0,761	0,766	0,770
40	0,775	0,778	0,780	0,782	0,785	0,788	0,790	0,732	0,795	0,798
50	0,800	0,802	0,803	0,805	0,806	0,808	0,810	0,811	0,813	0,814
60	0,816	0,817	0,818	0,819	0,820	0,822	0,823	0,824	0,825	0,826
70	0,827	0,828	0,828	0,828	0,829	0,830	0,830	0,830	0,831	0,832
80	0,832	0,832	0,832	0,833	0,833	0,833	0,833	0,833	0,834	0,834
90	0,834									

Таблица 4 — Значения функции $P(m, W_{пр})$ для разных значений произведения $m_{м_i} W_{пр}$

Целые $m_{м_i} W_{пр}$, см	Десятые доли $m_м, W_{пр}$, см*									
	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
0	1,00	0,91	0,88	0,92	0,85	0,84	0,82	0,82	0,82	0,81
1	0,80	0,80	0,80	0,80	0,79	0,79	0,78	0,78	0,78	0,77
2	0,77	0,77	0,77	0,76	0,76	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
3	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,73	0,73	0,73	0,73
4	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,71	0,71	0,71	0,71
5	0,71	0,70	0,70	0,70	0,70	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69
6	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68
7	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67
8	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66
9	0,66	0,66	0,66	0,66	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65

*Значения W и $W_{пр}$ рассчитывают в г/см^2, при этом следует помнить, что слой осажденной воды высотой 1 см эквивалентен 1 г/см^2, т. е. численно W (см) ≡ ≡ W (г/см^2).

14.4 Метод расчета общего и общего приведенного влагосодержания вертикального столба атмосферы по данным аэрологического зондирования

14.4.1 Общее влагосодержание W (г/см^2) вертикального столба атмосферы высотой H = 10 км рассчитывают с округлением до 0,1 г/см^2 по формуле

$$W = 0{,}0001 \sum_{h=0}^{H} [a(h_k)\,\Delta h_J], \qquad (40)$$

а общее приведенное влагосодержание $W_{\text{пр}}$ (г/см^2) — по формуле

$$W_{\text{пр}} = 0{,}0001 \sum_{h=0}^{H} [a(h_k)\,P(h_k)\,\Delta h_J \,/\, P(0)], \qquad (41)$$

где $a(h_k)$ — профиль абсолютной влажности атмосферы, г/м^3. Метод расчета профиля представлен в 14.4.2;

$P(h_k)$ — профиль атмосферного давления (данные аэрологического зондирования атмосферы), гПа;

$P(0)$ — атмосферное давление вблизи водной поверхности (данные аэрологического зондирования атмосферы), гПа;

Δh_J — мощность (толщина) J-го слоя атмосферы между двумя уровнями измерений атмосферного давления, температуры и влажности воздуха, м;

k — порядковый номер уровня измерений аэрологическим зондом;

0,0001 — коэффициент перевода значений W и $W_{пр}$ из граммов на метр квадратный (г/м^2) в граммы на сантиметр квадратный (г/см^2).

14.4.2 В результате аэрологического зондирования атмосферы получают распределение с высотой (профиль) температуры воздуха $t(h_k)$ (°С), относительной влажности воздуха $f(h_k)$ (%) и атмосферного давления $P(h_k)$ (гПа). Профиль абсолютной влажности воздуха в атмосфере $a(h_k)$ рассчитывают по формуле из методических указаний [7]

$$a(h_k) = 2{,}167\, f(h_k)\, E(h_k) / [273{,}2 + t(h_k)], \qquad (42)$$

где $E(h_k)$ — давление насыщенного водяного пара на уровне измерения k, гПа. Его рассчитывают по выражению из ГОСТ 8.524 (см. также формулу (14) в разделе 9 настоящих методических указаний)

$$E(h_k) = E_0 \exp\left\{\alpha t(h_k) / [\beta + t(h_k)]\right\}, \qquad (43)$$

где E_0 = 6,1121 гПа;

α и β — постоянные, которые принимают значения соответственно α_w = 17,5043 и β_w = 241,2 °С для воды во всем диапазоне значений температуры $t(h_k)$, в том числе и отрицательных*.

14.4.3 Метод расчета W и $W_{пр}$ состоит в следующем:

а) рассчитывают общее влагосодержание атмосферы ΔW_J (г/м^2) с округлением до 0,01 г/м^2 в слое мощностью Δh_J по формуле

---

*Это обусловлено тем, что все ПИП влажности (в том числе и радиозондовые) калибруются по отношению к жидкой фазе воды, включая область отрицательных значений температуры.

$$\Delta W_J = 0{,}5\,[a(h_k) + a(h_{k+1})]\,(h_{k+1} - h_k)$$

при $k, J = 1, 2, \ldots, N$; (44)

б) рассчитывают общее приведенное влагосодержание атмосферы $\Delta W_{\text{пр}_J}$ (г/м^2), с округлением до 0,01 г/м^2 в слое мощностью Δh_J (м) по формуле

$$\Delta W_{\text{пр}_J} = \Delta W_J \; P(h_k) \,/\, P(0); \qquad (45)$$

в) рассчитывают общее W и общее приведенное $W_{\text{пр}}$ влагосодержание с округлением до 0,01 г/м^2 по формулам

$$W = \sum_{J=1}^{J=N} \Delta W_J, \qquad (46)$$

$$W_{\text{пр}} = \sum_{J=1}^{J=N} \Delta W_{\text{пр}_J}. \qquad (47)$$

Как следует из [12], расчет ΔW_J от уровня моря до высоты 1 км можно осуществлять с шагом Δh_J = 100 м, а выше 1 км — с шагом Δh_J = 1 км, что практически не отражается на точности расчета W при меньших значениях Δh_J.

14.4.4 В приложении Д приведен тестовый пример расчета W и $W_{\text{пр}}$ в соответствии с 14.4.3.

Приложение А

(обязательное)

Общая формула перевода данных измерений из единиц промежуточной величины в единицы измеряемой величины

Общая формула перевода результатов измерений из единиц промежуточной величины в единицы измеряемой величины имеет следующий вид:

$$X_i = b_z\,[(x_i - x_J)\,f\,(m)]\,F\,(n), \qquad \text{(А.1)}$$

где X_i — результат измерения любой гидрометеорологической величины с помощью ПИП или ПАП (в i-й момент времени, $i = i,...,I$) в принятых единицах этой величины;

b_z — знак результата измерения, сохраняющий постоянство с момента времени z;

x_i — результат измерения в единицах промежуточной величины по ПИП или ПАП в i-й момент времени;

x_J — значение места нуля ПИП или ПАП, сохраняющее постоянство в течение J-го интервала времени;

$f\,(m)$ — функция перевода из промежуточных величин в значения измеряемой величины для конкретного ПИП или ПАП, которая зависит от аргумента m;

$F\,(n)$ — функция поправок к результатам измерений величины для конкретного ПИП или ПАП, зависящая от значения измеряемой величины.

Как правило, значения функций $f\,(m)$ и $F\,(n)$ задаются в виде таблиц или в аналитическом виде и приводятся в

свидетельствах о поверке к ПИП, ПАП и измерительным приборам либо к измерительным системам, состоящим из ПИП (ПАП) и измерительного прибора, либо к измерительным каналам автоматических гидрометеорологических станций, состоящим из электрической цепи, на входе которой используется ПИП (ПАП), а на выходе — измерительное устройство.

В случаях, когда измерения производят по приборам непосредственно в единицах измеряемой величины (например, атмосферное давление измеряют в гектопаскалях), формула (А.1) принимает вид

$$X_i = b_z\,(x_i - x_J)\,F\,(n), \qquad (А.2)$$

где значения $F\,(n)$, x_i и x_J берут в единицах измеряемой величины.

Приложение Б

(справочное)

Дополнительные рекомендации к методу расчета направления истинного ветра*

Б.1 В наставлении [3] и в 7.1.2 направление истинного ветра d предлагается рассчитывать по одной и той же формуле (6)

$$d = d_{\text{с}} + d_{\text{к}} \pm d_{\text{ки}}, \qquad \text{(Б.1)}$$

где $d_{\text{с}}$ — компасный курс судна;

$d_{\text{к}}$ — направление кажущегося ветра (в соответствии с 7.1.2);.

$d_{\text{ки}}$ — угол между кажущимся (наблюденным на судне) и истинным ветром (в соответствии с 7.1.2).

Однако в 7.1.2 $d_{\text{ки}}$ предлагается рассчитывать по формуле (7), которая имеет однозначное решение, а в [3] — через $\arcsin[(0{,}5144\ V_{\text{с}} \sin d_{\text{к}}) / V]$, который при определенных значениях $V_{\text{с}}$ и V (скорость перемещения судна и скорость истинного ветра соответственно) не всегда имеет однозначное решение.

Так, если $V_{\text{с}} \sin d_{\text{к}} < V < V_{\text{с}}$, то существуют два решения:

а) $d_{\text{ки}_1} < 90^{\circ}$,

б) $d_{\text{ки}_2} = 180^{\circ} - d_{\text{ки}_1}$. (Б.2)

---

*Метод расчета представлен в наставлении [3].

С учетом сказанного при условии, когда $V_с \sin d_к < V < V_с$, направление истинного ветра рассчитывают по формуле

$$d = d_с + d_к + 180° - d_{ки_1}. \qquad (Б.3)$$

Без учета этого условия расчеты направления истинного ветра d не всегда будут правильными.

Б.2 Иллюстрацией к сказанному является следующий пример.

***Пример** — При $d_с = 260°$, $V_с = 12{,}5$ уз, $d_к = 40°$, $V_к = 2{,}5$ м/с, скорость истинного ветра V, рассчитанная по формуле (5), оказалась равной 4,8 м/с, а направление d, рассчитанное по формуле (Б.1), оказалось равным 0°. Если $d_{ки}$ рассчитывать через* arcsin $[(0{,}5144V_с \times \times \sin d_к) / V]$, *то*

$$d_{ки} = \arcsin [(0{,}5144V_с \sin d_к) / V] = 60°. \qquad (Б.4)$$

Расчеты $d_{ки}$, выполненные по формуле (7) и графическим способом с помощью ветрочета КСМО-1 [3], показали, что $d_{ки} = 120°$.

Расчеты $d_{ки}$, выполненные по формуле (Б.4) с учетом проверки выполнения соотношения $V_с \sin d_к < V < V_с$ показали, что $d_{ки}$ также равно 120°.

Приложение В

(обязательное)

Методы расчета характеристик влажности воздуха при отрицательных значениях температуры воздуха и отсутствии информации об агрегатном состоянии воды на резервуаре смоченного термометра

Приводимые методы расчета характеристик влажности воздуха при указанных условиях основаны на результатах оценок наиболее возможных погрешностей психрометрического метода измерения в рассматриваемых условиях.

Погрешность психрометрического метода увеличивается с уменьшением температуры t_a. Так, в области повышенных значений относительной влажности воздуха f при $t_a = 10$ °С погрешность измерения температуры t' смоченного термометра $\Delta t' = 0{,}1$ °С приводит к погрешности измерения f, равной 1 % ($\Delta f = 1$ %), тогда как при $t_a = -10$ °С та же погрешность $\Delta t' = 0{,}1$ °С эквивалентна $\Delta f = 3$ %. По этой причине указанное значение $t_a = -10$ °С принято за рекомендуемый нижний предел температурного диапазона применения психрометрического метода измерения характеристик влажности воздуха, хотя никаких ограничений физического характера для его использования при более низкой температуре не существует.

К еще большей погрешности приводит отсутствие информации об агрегатном состоянии воды на резервуаре смоченного термометра при отрицательных значениях температуры. Продолжая рассмотрение выше указанного при-

мера, допустим, что $t_a = t' = -10$ °С. Если известно, что вода находится в жидком (переохлажденном) состоянии, то $f =$ $= 100$ %; если она в твердом состоянии (лед), то

$$f = e / E_w (t_a) = E_i (-10) / E_w (-10) = 2{,}60 / 2{,}86 \cong 0{,}91, \quad \text{(В.1)}$$

т. е. 91 %. В случае отсутствия информации об агрегатном состоянии воды на резервуаре смоченного термометра приходится принять гипотезу об одном из альтернативных состояний, и если гипотеза не оправдывается, то возникает погрешность, в приводимом примере составляющая 9 %: $\Delta f = 100 - 91$. Она, как видно, превышает погрешность, обусловленную погрешностью измерения t', в 3 раза.

Способ снижения этой погрешности при отсутствии информации об агрегатном состоянии воды на резервуаре смоченного термометра основан на использовании среднего арифметического из двух возможных крайних значений величины. В рассматриваемом примере парциальное давление водяного пара e, рассчитанное для воды по формуле (11), составляет 2,86 гПа [$e = E_w (t') = E_w (-10) = 2{,}86$ гПа], а для льда, рассчитанное по формуле (12), составляет 2,60 гПа [$e = E_i (t') = E_i (-10) = 2{,}60$ гПа]. При отсутствии информации об агрегатном состоянии воды наилучшей оценкой e будет среднее (виртуальное) из полученных значений: $e = 0{,}5 (2{,}86 + 2{,}60) = 2{,}73$ гПа. Обобщая изложенное, получим формулу (13) раздела 9 настоящих методических указаний. Далее с полученным „виртуальным" значением e следует обращаться, как с реальным. При этом необходимо помнить, что при вычислении относительной влажности f, дефицита насыщения d при отрицательном

значении температуры воздуха t_a давление насыщенного водяного пара E_w (t_a) берут по отношению к воде в жидком состоянии. С учетом этого „виртуальное" значение f в рассматриваемом примере будет равно 95,5 % (f = 2,73 / 2,86), а дефицит насыщения $d = E_w(t_a) - e$ = 2,86 – 2,73 = 0,13 гПа.

Очевидно, что полученная таким образом оценка e никогда не совпадет с фактическим значением, несмотря на то, что она наилучшая в рассматриваемых условиях. Но при этом и погрешность никогда не превзойдет половины той погрешности, которая появляется вследствие произвольного предположения об агрегатном состоянии воды на резервуаре смоченного термометра при отсутствии такой информации. Оцениваемая „половинная" погрешность может иметь как положительный, так и отрицательный знак, и носит случайный характер. В рассматриваемом примере реализуется самая большая по абсолютному значению погрешность: Δf = ± 4,5 % (если фактически на резервуаре жидкая вода, то Δf = 95,5 – 100 = – 4,5%, а если лед, то Δf = 95,5 – 91,0 = + 4,5 %). В середине рабочего поддиапазона отрицательных значений температуры воздуха (от 0 °С до минус 10 °С), т. е. при t_a = –5 °С, наибольшее значение Δf = ± 2,5 %.

Возвращаясь к началу рассмотрения примера, можно видеть, что при температуре воздуха t_a = –10 °С и его относительной влажности f = 91 % (при этом на резервуаре смоченного термометра лед) психрометрическая разность t_a – – t' = 0, т. е. $t_a = t'$ = –10 °С. Физически это означает, что в данных условиях имеет место термодинамическое равновесие между льдом на резервуаре термометра и водяным паром в воздухе, т. е. не происходит ни испарения, ни конденсации.

Очевидно, что если относительная влажность окажется выше указанного равновесного значения, т. е. $f > 91$ %, то будет происходить конденсация водяного пара на ледяной поверхности, что вызовет повышение температуры смоченного термометра вследствие выделения теплоты фазового перехода (пара в лед). Тогда окажется, что $t' > t_a$, т. е. психрометрическая разность $t_a - t'$ приобретет отрицательное значение. Такое превышение t' над t_a достигает наибольшего значения при $f = 100$ % и в данном примере составляет 0,3 °С, т. е. при $f > 91$ % увеличению f на каждые 3 % будет соответствовать в среднем приращение t' на 0,1 °С.

Таким образом, сам факт превышения t' над t_a (или, иначе говоря, отрицательный знак психрометрической разности $t_a - t'$) свидетельствует о твердом агрегатном состоянии воды на резервуаре смоченного термометра. И поскольку конденсация на лед является процессом, обратным испарению, то, естественно, расчет значений e следует выполнять в этом случае по формуле (12). Изложенное выше приводит к выводу о том, что в подобных ситуациях, встречающихся в практике измерений, превышение t' над t_a не следует воспринимать как ошибку, особенно в тех случаях, когда оно не достигает больших значений.

Примечание — Отсутствие компьютерного обеспечения на судне может быть компенсировано заранее рассчитанными значениями e по формуле (13) в разделе 9 настоящих методических указаний, а также t_d, f и d (по соответствующим формулам с подстановкой в них этих значений e) и сведенными в таблицы.

Формат (устройство) таблиц такой же, как и входящих в состав [10] таблиц, рассчитанных отдельно для каждого из двух возможных агрегатных состояний воды на резервуаре смоченного термометра (см. с. 32—36 в [10]), и отличается от них только сигнальной надписью в верхних углах страниц (вместо „вода!" или „лед!" надписано: „агрегатное

состояние неизвестно!"). Отсюда видно, что и правила пользования рассматриваемыми таблицами остаются неизменными.

Такие таблицы являются, следовательно, расширением существующих психрометрических таблиц [10], при очередном издании которых это может быть учтено.

Приложение Г

(справочное)

Оценки общего влагосодержания вертикального столба атмосферы высотой 10 км по данным измерений характеристик влажности воздуха в приводном слое атмосферы

Как следует из раздела 14, для оценки натурального коэффициента ослабления прямой солнечной радиации аэрозолем μ'_a необходима, наряду с другими данными, информация об общем влагосодержании W вертикального столба атмосферы высотой 10 км. Наилучший способ получения такой информации — это расчет W по данным аэрологического зондирования атмосферы. Однако его выполняют с борта единичных судов, в то время как характеристики влажности воздуха в приводном слое могут определяться с борта любого судна, на котором организована и функционирует СГМС.

Учитывая повышенное по сравнению с сушей влагосодержание атмосферы над поверхностью моря и тот факт, что наибольший вклад в общее влагосодержание вертикального столба атмосферы вносит влагосодержание ее приводного слоя, были найдены эмпирические соотношения между W и отдельными характеристиками влажности воздуха приводного слоя атмосферы. С целью выявления наиболее корректного эмпирического соотношения для определения W в трудах ГГО [12] проведено сопоставление значений W, рассчитанных по данным аэрологического зондирования атмосферы, и значений W_i, рассчитанных по эмпирическим соотношениям, представленным в таблице Г.1.

Таблица Г.1 — Сведения об эмпирических соотношениях для расчета значений W_i

Вид эмпирического соотношения	Исследуемая акватория Мирового океана	Единица величины, используемая в приводимых соотношениях			
		W	e	Количество облаков n	Коэффициент g_0
1 $W_1 = 0{,}25\ e - 2{,}16$	Тропическая зона Атлантики	г/см^2	гПа	—	—
2 $W_2 \approx 0{,}15\ e$	Тропическая зона Атлантики	г/см^2	гПа	—	—
3 $W_3 = (1{,}55 + 0{,}046\ n)\ e^{1{,}075}$	Разные акватории океанов	мм	мм рт. ст.	балл	—
4 $W_4 = 1{,}79\ n\ e^{1{,}08}$ (при $n \neq 0$)	Разные акватории океанов	мм	мм рт. ст.	балл	—
5 $W_5 = 0{,}7159\ e + 0{,}3144\ e^2 + 0{,}0002426\ e^3$	Разные акватории океанов	мм	гПа	—	—

Результаты сопоставления показали, что по эмпирическим соотношениям 1—5 можно получать надежные значения W: средние расхождения между общим влагосодержанием вертикального столба атмосферы W, определенным по данным аэрологического зондирования, и рассчитанными по указанным соотношениям значениями W_i составили от 4 % до 12 % от значения W для конкретных условий.

Поскольку для оценки натурального коэффициента ослабления прямой солнечной радиации аэрозолем над океаном в соответствии с подразделом 14.3 рекомендуется использовать общее приведенное влагосодержание атмосферы $W_{пр}$, то его можно оценивать по соотношению

$$W_{пр} = 0{,}69\ W + 0{,}27,$$

в котором значение W (г/см^2) рассчитывают по любому соотношению из таблицы Г.1.

Следует помнить, что 1 см осажденной воды соответствует 1 г/см^2, поэтому значения W, рассчитанные в миллиметрах, необходимо перевести в граммы на сантиметр квадратный по соотношению: W [г/см^2] = 0,1 W [мм].

Приложение Д

(обязательное)

Тестовый пример расчета общего и общего приведенного влагосодержания вертикального столба атмосферы

Д.1 Исходные данные для расчета W и $W_{пр}$, являющиеся данными аэрологического зондирования атмосферы с борта НИС „Муссон" 2 августа 1985 г. в одной из точек Северной Атлантики, с результатами расчета представлены в таблице Д.1.

Д.2 Переводим $\sum \Delta W \equiv W$ и $\sum \Delta W_{пр} \equiv W_{пр}$ из граммов на метр квадратный в граммы на сантиметр квадратный по формулам

$$W = 0{,}0001 \sum_{J=1}^{14} \Delta W_J = 0{,}0001 \cdot 29726 = 2{,}97 \text{ г/см}^2; \quad (Д.1)$$

$$W_{пр} = 0{,}0001 \sum_{J=1}^{14} \Delta W_{пр_J} = 0{,}0001 \cdot 26129 = 2{,}61 \text{ г/см}^2. \quad (Д.2)$$

Таблица Д.1

i	J	Исходные данные				Результаты расчета				
		h км	$t\,(h_i)$ °С	$f\,(h_i)$ %	$P\,(h_i)$ гПа	$E\,(h_i)$ гПа	$e\,(h_i)$ гПа	$a\,(h_i)$ г/м^3	ΔW г/м^2	$\Delta W_{пр.J}$ г/м^2
1	—	0	20,2	85	1000,0	23,25	19,76	14,59	—	—
2	1	0,1	20,1	85	999,4	23,11	19,64	14,51	1455	1454
3	2	0,2	20,0	84	999,0	22,96	19,29	14,27	1439	1438
4	3	0,3	19,8	82	998,0	22,68	18,60	13,75	1401	1398
5	4	0,4	19,0	80	990,0	21,60	17,28	12,82	1328	1318
6	5	0,5	18,5	75	984,0	20,94	15,71	11,67	1224	1204
7	6	0,7	17,9	75	978,0	20,18	15,13	11,26	2293	2256
8	7	0,9	15,0	78	965,0	16,81	13,11	9,86	2112	2066
9	8	1,0	14,8	73	900,0	16,60	12,12	9,12	949	916
10	9	2,0	10,0	65	810,0	12,15	7,90	6,04	7585	6827
11	10	3,0	2,0	50	750,0	7,04	3,52	2,77	4405	3668
12	11	4,0	−4,0	42	680,0	4,56	1,92	1,54	2160	1620
13	12	6,0	−16,0	42	430,0	1,79	0,75	0,63	2170	1476
14	13	9,0	−30,0	25	50,0	0,52	0,13	0,12	1125	484
15	14	10,0	−35,0	15	20,0	0,32	0,05	0,04	80	4
								Сумма $\sum$	29726	26129

Библиография

[1] Методические указания по производству метеорологических и актинометрических наблюдений на научно-исследовательских судах. Ч. III. Требования для подготовки данных для ввода в ЭВМ. — Л.: Ртп. ГГО, 1986

[2] РД 52.04.316—92 Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Гидрометеорологические наблюдения на морских станциях. Вып. 9, ч. II. Гидрометеорологические наблюдения на судовых станциях, производимые штатными наблюдателями. Кн. 1. Общие методические требования к организации и обеспечению гидрометеорологических и актинометрических наблюдений на судах

[3] РД 52.04.585—97 Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Гидрометеорологические наблюдения на морских станциях. Вып. 9, ч. III. Гидрометеорологические наблюдения, производимые штурманским составом на морских судах

[4] РД 52.27.133—89 Международный код FM 12-1X SYNOP и 13-1X SHIP для передачи данных приземных гидрометеорологических наблюдений с наземных и морских станций

[5] Руководство по метеорологическим приборам и методам наблюдений. — Женева: ВМО, 1983. — N 8

[6] РД 52.04.316—92 Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Гидрометеорологические наблюдения на морских станциях. Вып. 9, ч. II. Гидрометеорологические наблюдения на судовых станциях, производимые штатными наблюдателями. Кн. 2. Методики выполнения гидрометеорологических наблюдений на судах

[7] РД 52.04.129—87 Методические указания. Измерение аэрозольной мутности атмосферы по данным интегрального коротковолнового излучения в условиях НИС

[8] Р 52.04.605—99 Рекомендации. Оценка работ судовых гидрометеорологических станций

[9] РД 52.04.614—2000 Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 3, ч. II. Обработка материалов метеорологических наблюдений

[10] Психрометрические таблицы. — 2-е изд. — Л.: Гидрометеоиздат, 1981

[11] РД 52.04.562—98 Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 5. Актинометрические наблюдения. Ч. 1. Актинометрические наблюдения на станциях

[12] Кессель В. Н. Оценка оптической толщины аэрозольного ослабления радиации атмосферой по данным измерений прямой солнечной радиации и влажности воздуха с борта судна // Труды ГГО. — 1987. — Вып. 507

УДК (551.501.)

Ключевые слова: судовые наблюдения, гидрометеорологические наблюдения, метеорологические наблюдения, первичная обработка результатов наблюдений, программное обеспечение, методы обработки гидрометеорологических наблюдений, методы расчета гидрометеорологических величин, методы расчета актинометрических величин, методы расчета характеристик влажности воздуха, методы расчета астрономических величин, обработка результатов наблюдений за обледенением судна, архивация судовых гидрометеорологических наблюдений.

Лист регистрации изменений

Номер изменения	Номер страницы				Номер документа	Подпись	Дата	
	измененной	замененной	новой	аннулированной			внесения изменения	введения изменения

Руководящий документ

РД 52.04.651—2003

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Первичная обработка результатов судовых измерений метеорологических, актинометрических и оптических величин

Редактор *О. М. Федотова*. Технический редактор *Н. Ф. Грачева*.
Корректор *Г. А. Горбунова*.

ЛР № 020228 от 10.11.96 г.

Подписано в печать 05.07.2004. Формат 60×84 1/16. Бумага офсетная. Печать офсетная. Печ. л. 4,25. Усл. печ. л. 3,95. Уч.-изд. л. 2,64. Тираж 210 экз. Индекс 304/04.

–

ат. 199397, Санкт-Петербург, ул. Беринга, д. 38.

gost.e-ecolog.ru