

# Руководство по приборам и методам наблюдений

Том V — Обеспечение качества и менеджмент систем наблюдений

Издание 2023 г.

ПОГОДА КЛИМАТ ВОДА



ВСЕМИРНАЯ  
МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКАЯ  
ОРГАНИЗАЦИЯ

ВМО-№ 8



# Руководство по приборам и методам наблюдений

Том V — Обеспечение качества и менеджмент систем наблюдений

Издание 2023 г.



ВСЕМИРНАЯ  
МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКАЯ  
ОРГАНИЗАЦИЯ

ВМО-№ 8

#### РЕДАКТОРСКОЕ ПРИМЕЧАНИЕ

Терминологическая база данных ВМО «МЕТЕОТЕРМ» доступна по адресу: <https://wmo.int/ru/wmo-community/meteoterm>.

Читателям, копирующим гиперссылки, выделяя их в тексте, следует учесть, что могут появиться дополнительные пробелы, непосредственно следующие за <http://>, <https://>, <ftp://>, <mailto:>, а также за наклонными чертами (/), дефисами (-), точками (.) и неразрывными последовательностями символов (букв и цифр). Эти пробелы должны быть удалены из вставленного URL. Правильный URL отображается на экране, если навести курсор на ссылку или нажать на нее, а затем скопировать ее из браузера.

ВМО-№ 8

© Всемирная метеорологическая организация, 2023

Право на опубликование в печатной, электронной или какой-либо иной форме на каком-либо языке сохраняется за ВМО. Небольшие выдержки из публикаций ВМО могут воспроизводиться без разрешения при условии четкого указания источника в полном объеме. Корреспонденцию редакционного характера и запросы в отношении частичного или полного опубликования, воспроизведения или перевода настоящей публикации следует направлять по адресу:

Chair, Publications Board  
World Meteorological Organization (WMO)  
7 bis, avenue de la Paix  
P.O. Box 2300  
CH-1211 Geneva 2, Switzerland

Тел.: +41 (0) 22 730 84 03  
Электронная почта: [publications@wmo.int](mailto:publications@wmo.int)

ISBN 978-92-63-40008\_6

#### ПРИМЕЧАНИЕ

Обозначения, употребляемые в публикациях ВМО, а также изложение материала в настоящей публикации не означают выражения со стороны ВМО какого бы то ни было мнения в отношении правового статуса какой-либо страны, территории, города или района, или их властей, а также в отношении делимитации их границ.

Упоминание отдельных компаний или какой-либо продукции не означает, что они одобрены или рекомендованы ВМО и что им отдается предпочтение перед другими аналогичными, но не упомянутыми или не прорекламированными компаниями или продукцией.

# СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	vii
<b>ГЛАВА 1. МЕНЕДЖМЕНТ КАЧЕСТВА .....</b>	<b>1</b>
1.1 Общие сведения .....	1
1.2 Стандарты серии ISO 9000, ISO/IEC 17025, ISO/IEC 20000 и система менеджмента качества ВМО .....	3
1.2.1 ISO 9000: Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь .....	4
1.2.2 ISO 9001: Системы менеджмента качества. Требования .....	5
1.2.3 ISO 9004: Менеджмент в интересах достижения устойчивого успеха организации. Подход на основе менеджмента качества .....	6
1.2.4 ISO 19011: Руководящие указания по аудиту систем менеджмента .....	7
1.2.5 ISO/IEC 17025: Общие требования к компетенции испытательных и калибровочных лабораторий .....	8
1.2.6 ISO/IEC 20000: Информационная технология: менеджмент услуг .....	8
1.2.7 Структура менеджмента качества ВМО .....	9
1.3 Внедрение менеджмента качества .....	9
1.4 Аккредитация лабораторий .....	11
1.5 Инструментарий менеджмента качества .....	14
1.6 Факторы, влияющие на качество данных .....	14
1.7 Обеспечение качества (контроль качества) .....	18
1.7.1 Приземные данные .....	19
1.7.1.1 Ручные наблюдения и станции с персоналом .....	19
1.7.1.2 Автоматические метеорологические станции .....	20
1.7.2 Аэрологические данные .....	20
1.7.3 Центры данных .....	20
1.7.4 Взаимодействие с полевыми станциями .....	21
1.8 Мониторинг функционирования .....	21
1.9 Однородность данных и метаданные .....	22
1.9.1 Причины неоднородностей данных .....	22
1.9.2 Метаданные .....	23
1.9.3 Элементы базы метаданных .....	23
1.9.4 Рекомендации в отношении системы метаданных .....	24
1.10 Управление сетью .....	25
1.10.1 Инспекции .....	25
Справочная и дополнительная литература .....	28
<b>ГЛАВА 2. ДИСКРЕТНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПЕРЕМЕННЫХ .....</b>	<b>29</b>
2.1 Общие сведения .....	29
2.1.1 Определения .....	30
2.1.2 Репрезентативность во времени и пространстве .....	31
2.1.3 Спектры атмосферных величин .....	31
2.2 Временные ряды, спектры мощности и фильтры .....	32
2.2.1 Анализ временных рядов .....	33
2.2.2 Измерение спектра .....	35
2.2.3 Инерция измерительной системы .....	36
2.2.4 Фильтры .....	39
2.3 Определение характеристик системы .....	42
2.3.1 Прямое измерение отклика .....	42
2.3.2 Определение отклика расчетным путем .....	43
2.3.3 Оценка отклика .....	43
2.4 Дискретные измерения .....	43
2.4.1 Методика проведения дискретных измерений .....	43
2.4.2 Частота показаний при дискретных измерениях .....	45
2.4.3 Частота отсчетов при измерениях и контроль качества .....	47
Справочная и дополнительная литература .....	48

<b>ГЛАВА 3. ОБРАБОТКА ДАННЫХ</b> .....	<b>49</b>
3.1 Общие сведения .....	49
3.1.1 Определения .....	49
3.1.2 Требования к метеорологическим данным .....	49
3.1.3 Процесс обработки данных .....	50
3.2 Дискретизация измерений .....	51
3.3 Применение калибровки .....	52
3.4 Линеаризация .....	53
3.5 Осреднение .....	53
3.6 Взаимосвязанные величины и статистические характеристики .....	54
3.7 Поправки .....	54
3.8 менеджмент качества .....	55
3.9 Составление метаданных .....	55
Справочная и дополнительная литература .....	56
<b>ГЛАВА 4. ИСПЫТАНИЕ, КАЛИБРОВКА И ВЗАИМНОЕ СРАВНЕНИЕ ПРИБОРОВ</b> .....	<b>57</b>
4.1 Общие сведения .....	57
4.1.1 Определения .....	57
4.1.2 Программы испытаний и калибровки .....	58
4.2 Проведение испытаний .....	59
4.2.1 Цель испытаний .....	59
4.2.2 Испытание на воздействие окружающей среды .....	60
4.2.2.1 Определения .....	60
4.2.2.2 Программа испытаний на воздействие окружающей среды .....	61
4.2.3 Испытание на воздействие электрических и электромагнитных помех .....	62
4.2.4 Испытание работоспособности .....	62
4.3 Калибровка .....	63
4.3.1 Цель калибровки .....	63
4.3.2 Эталоны .....	63
4.3.3 Прослеживаемость .....	64
4.3.4 Практика калибровки .....	65
4.4 Взаимные сравнения приборов .....	66
Приложение 4.A. Руководящие принципы по организации межлабораторных сравнений .....	68
Приложение 4.B. Процедуры проведения глобальных и региональных взаимных сравнений приборов ВМО .....	74
Приложение 4.C. Руководящие принципы по организации взаимных сравнений приборов ВМО .....	76
Приложение 4.D. Отчеты о международных сравнениях, проведенных под эгидой Комиссии по приборам и методам наблюдений .....	83
Справочная и дополнительная литература .....	86
<b>ГЛАВА 5. ПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ ПОДГОТОВКА СПЕЦИАЛИСТОВ ПО ПРИБОРАМ</b> ..	<b>87</b>
5.1 Введение .....	87
5.1.1 Общие сведения .....	87
5.1.2 Передача технологии .....	87
5.1.3 Приемлемость для всех пользователей метеорологических приборов .....	88
5.2 Надлежащая подготовка кадров для обеспечения оперативных потребностей ..	88
5.2.1 Теория и практика .....	88
5.2.2 Обеспечение соответствия между квалификацией и выполняемыми задачами .....	89
5.2.3 Классификация персонала ВМО .....	89

5.2.4.	Компетенции ВМО для метеорологических наблюдений, приборного обеспечения, калибровки и управления программами и сетями наблюдений . . . . .	89
5.3	Некоторые общие принципы профессиональной подготовки . . . . .	90
5.3.1	Вопросы политики управления. . . . .	90
5.3.1.1	Общая схема персонала . . . . .	90
5.3.1.2	Сохранение персонала . . . . .	90
5.3.1.3	Развитие кадровых ресурсов . . . . .	90
5.3.1.4	Сбалансированная профессиональная подготовка . . . . .	91
5.3.2	Цели и задачи программ профессиональной подготовки . . . . .	91
5.3.2.1	Для руководителей . . . . .	91
5.3.2.2	Для преподавателей . . . . .	92
5.3.2.3	Для специалистов по приборам . . . . .	92
5.3.3	Обучение и менеджмент качества . . . . .	92
5.3.4	Как люди обучаются . . . . .	93
5.3.4.1	Среда обучения . . . . .	93
5.3.4.2	Важнейшие принципы обучения . . . . .	94
5.3.4.3	Многообразие методов. . . . .	95
5.3.5	Развитие основных компетенций . . . . .	95
5.3.6	Обучение в течение всей жизни . . . . .	95
5.3.6.1	Три этапа профессиональной подготовки . . . . .	95
5.3.6.2	Начальная подготовка. . . . .	96
5.3.6.3	Специальная профессиональная подготовка . . . . .	96
5.3.6.4	Повышение квалификации . . . . .	96
5.4	Процессы профессионального обучения. . . . .	96
5.4.1	Роль преподавателя. . . . .	96
5.4.2	Анализ организационного контекста и управление процессами обучения . . . . .	97
5.4.3	Выявление потребностей, связанных с обучением, и определение конечных результатов обучения . . . . .	97
5.4.4	Определение решения для обучения . . . . .	98
5.4.5	Разработка и развитие учебных мероприятий и ресурсов. . . . .	101
5.4.6	Проведение обучения и организация учебных мероприятий. . . . .	102
5.4.7	Оценка усвоения знаний и определение качества процесса обучения . . . . .	102
5.4.7.1	Оптимизация обучения. . . . .	102
5.4.7.2	Оценка усвоения знаний . . . . .	103
5.4.7.3	Оценка профессионального обучения . . . . .	103
5.4.7.4	Виды оценки . . . . .	104
5.4.7.5	Профессиональная подготовка преподавателей . . . . .	105
5.5	Ресурсы для профессионального обучения. . . . .	105
5.5.1	Учебные заведения для профессиональной подготовки . . . . .	106
5.5.1.1	Национальные учебные заведения для обучения и подготовки кадров . . . . .	106
5.5.1.2	Роль региональных центров ВМО по приборам в подготовке кадров. . . . .	106
5.5.1.3	Роль региональных центров ВМО-МОК по морским приборам (РЦМП) в подготовке кадров. . . . .	107
5.5.2	Ресурсы ВМО для подготовки кадров. . . . .	107
5.5.2.1	Программы ВМО для профессионального обучения и подготовки кадров . . . . .	107
5.5.2.2	Обзор потребностей в подготовке кадров, проводимый ВМО . . . . .	107
5.5.2.3	Публикации ВМО в области образования и подготовки кадров. . . . .	108
5.5.2.4	Ссылки на ресурсы ВМО по образованию и подготовке кадров. . . . .	108
5.5.2.5	Публикации ВМО по приборам и методам наблюдений . . . . .	108
5.5.2.6	Возможности для специального профессионального обучения, спонсируемого ВМО. . . . .	108

	<i>Стр.</i>
5.5.3 Другие возможности для профессиональной подготовки . . . . .	109
5.5.3.1 Техническое профессиональное обучение в других странах . . . . .	109
5.5.3.2 Профессиональное обучение, обеспечиваемое международными учебными заведениями . . . . .	109
5.5.3.3 Профессиональное обучение, обеспечиваемое производителями оборудования . . . . .	109
5.5.3.4 Международные научные программы . . . . .	110
5.5.3.5 Международные взаимные сравнения приборов, спонсируемые ВМО . . . . .	110
5.5.4 Затраты на подготовку кадров, предусматриваемые в бюджете . . . . .	110
5.5.4.1 Экономическая эффективность . . . . .	110
5.5.4.2 Прямые и косвенные затраты . . . . .	111
Приложение 5.A. Система компетенций для персонала, производящего метеорологические наблюдения . . . . .	112
Приложение 5.B. Система компетенций для персонала, устанавливающего и обслуживающего приборы . . . . .	120
Приложение 5.C. Система компетенций для персонала, выполняющего калибровку приборов . . . . .	126
Приложение 5.D. Система компетенций для персонала, управляющего программами и сетями наблюдений . . . . .	133
Справочная и дополнительная литература . . . . .	141

## ПРЕДИСЛОВИЕ

В руководствах ВМО описываются практики и процедуры, которым Членам ВМО предлагается следовать при разработке и осуществлении своих мер, направленных на обеспечение соответствия правилам Технического регламента ВМО.

Одной из давних публикаций в этой серии является *Руководство по приборам и методам наблюдений* (ВМО-№ 8), которое впервые было опубликовано в 1950 году. Настоящее Руководство является авторитетным справочным материалом по всем вопросам, касающимся приборов и методов наблюдений в контексте Интегрированной глобальной системы наблюдений ВМО (ИГСНВ). Единообразные, прослеживаемые и высококачественные данные наблюдений представляют собой важнейший вклад в большинство областей применений ВМО, таких как мониторинг климата, численное прогнозирование погоды, наукастинг и прогнозирование явлений суровой погоды, каждая из которых способствует повышению благополучия обществ по всему миру.

Основная цель Руководства — предоставить руководящие указания в отношении наиболее эффективных практик и процедур для выполнения метеорологических, гидрологических и связанных с окружающей средой измерений и наблюдений для удовлетворения конкретных потребностей в различных областях применений. В нем также содержится информация о возможностях приборов и систем, которые регулярно используются для проведения таких наблюдений. Теоретические основы техники и методов наблюдений изложены в тексте и подкреплены ссылками и списком справочной и дополнительной литературы для получения дополнительной справочной информации и сведений.

Постоянная эволюция и стандартизация практики измерений и наблюдений, а также быстрое развитие новых методов и технологий производства измерений привели к превращению Руководства в значительно более крупный, фундаментальный и важный источник информации. Начиная с издания 2018 года, Руководство разделено на тома, которые могут обновляться и публиковаться независимо друг от друга.

Текущее издание Руководства включает:

- Том I — Измерения метеорологических переменных
- Том II — Измерения криосферных переменных
- Том III — Системы наблюдений
- Том IV — Космические наблюдения
- Том V — Обеспечение качества и менеджмент систем наблюдений.

Настоящее издание тома V, подготовленное в 2023 году, было утверждено на семьдесят шестой сессии (ИС-76) Исполнительного совета ВМО. По сравнению с изданием тома V 2018 года это издание включает обновления к [главе 5](#) — «Профессиональная подготовка специалистов по приборам».

От имени ВМО позвольте выразить мою искреннюю признательность Постоянному комитету по вопросам измерений, приборного оснащения и прослеживаемости Комиссии по наблюдениям, инфраструктуре и информационным системам и, в частности, его Экспертной группе по переходу на современные измерения, а также Редакционному совету, чьи колоссальные усилия сделали возможной публикацию этого нового издания.



(Профессор Селеста Сауло)  
Генеральный секретарь



# ГЛАВА 1. МЕНЕДЖМЕНТ КАЧЕСТВА

## 1.1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Настоящая глава содержит общие сведения и охватывает оперативные метеорологические системы наблюдений любого размера или характера. Хотя руководящие указания, которые даются в ней относительно менеджмента качества, выражены в терминах, которые применяются к крупным сетям станций наблюдений, их можно применять даже к отдельной станции.

### *Менеджмент качества*

Менеджмент качества предусматривает принципы и методологическую основу для операций и координирует деятельность по управлению и контролю в организации в отношении качества. Обеспечение и контроль качества являются частями любой успешной системы менеджмента качества. Обеспечение качества базируется на уверенности в том, что требования в отношении качества будут выполнены, и включает все виды плановой и систематической деятельности, осуществляемой в рамках системы менеджмента качества, направленные на реализацию требований к качеству определенного продукта или услуги. Контроль качества связан с теми компонентами, которые используются для обеспечения выполнения требований к качеству, и включает все оперативные методы и виды деятельности, используемые для выполнения требований в отношении качества. Настоящая глава посвящена вопросам менеджмента качества, связанным с контролем и обеспечением качества и официальной аккредитацией деятельности лабораторий, особенно с точки зрения метеорологических наблюдений за метеорологическими и атмосферными переменными.

Рассматриваются стандарты Международной организации по стандартизации (ИСО) серии 9000 с целью понимания действий, осуществляемых при внедрении системы менеджмента качества в национальной метеорологической и гидрологической службе (НМГС); этот набор стандартов содержит минимум процедур, которые должны быть внедрены в систему менеджмента качества для выполнения требований стандарта ISO 9001. Затем рассматривается общая концепция менеджмента качества в соответствии с руководящими принципами ISO 9004, при этом излагаются мнения пользователей и заинтересованных сторон. Представляется стандарт ИСО/Международной электротехнической комиссии (МЭК) ISO/IEC 17025. Дается описание эффективности аккредитации на основе ISO/IEC 17025 для НМГС и региональных центров по приборам (РЦП), наряду с требованиями, касающимися процедуры аккредитации.

В обсуждение включен стандарт ISO/IEC 20000 для менеджмента услуг в области информационных технологий (ИТ), учитывая, что каждая система наблюдений включает в себя компоненты ИТ.

### *Обеспечение качества и контроль качества*

Данные характеризуются хорошим качеством, когда они удовлетворяют заявленным и предполагаемым потребностям. В других разделах настоящего Руководства приводятся четкие или предлагаемые формулировки требуемой точности, неопределенности, разрешения и репрезентативности, главным образом для синоптических применений метеорологических данных, однако аналогичные требования могут быть заявлены для других применений. Необходимо предполагать, что для любого применения также подразумевается минимальная общая стоимость или четко обозначенное требование. Цель менеджмента качества заключается в обеспечении соответствия данных требованиям (в отношении неопределенности, разрешения, непрерывности, однородности, репрезентативности, своевременности, формата и т. д.) к планируемому

применению при минимальной практически возможной стоимости. Все данные измерений являются несовершенными, однако если их качество известно и может быть продемонстрировано, они могут быть использованы надлежащим образом.

Предоставление метеорологических данных хорошего качества является непростым делом и невозможно без системы менеджмента качества. Самые лучшие системы менеджмента качества действуют непрерывно во всех точках всей наблюдательной системы — от планирования сети и подготовки кадров, установки станции и ее функционирования до передачи и архивирования данных, и предусматривают наличие обратной связи и последующее представление данных во временных масштабах от близкого к реальному времени до ежегодных анализов и как комплексного процесса. Объем ресурсов, необходимых для эффективной системы менеджмента качества, является частью стоимости эксплуатации системы или сети наблюдений и составляет, как правило, несколько процентов от общей стоимости. Без этих расходов данные необходимо считать данными неизвестного качества, а их полезность — неясной.

Эффективная система менеджмента качества — это система, которая управляет связями между подготовкой к сбору данных, обеспечением достоверности данных и их распространением пользователям, с тем чтобы пользователи получали требуемое количество измерительной информации. Для многих метеорологических величин существует ряд циклов подготовки, сбора и обеспечения качества, начиная от полевых измерений, до конечного распределения пользователям. Важно, чтобы все эти циклы были идентифицированы и была сведена к минимуму возможность отхода от требуемого количества. Многие из этих циклов будут настолько тесно связаны, что они могут восприниматься как единый цикл. Большинство проблем возникает, когда имеются разные циклы, и когда их считают независимыми друг от друга.

После получения данных в результате процесса измерений они остаются данными этого процесса. Другие последующие процессы могут проверять соответствие их значения требуемому количественному параметру, использовать эти данные в процессе корректировки для получения требуемого качества или не принимать эти данные. В то же время, ни один из этих последующих процессов не вносит изменений в данные, полученные в процессе измерений. Контроль качества — это процесс, в рамках которого предпринимается усилие, направленное на обеспечение того, чтобы процессы, ведущие к распределению данных, были правильными, а также чтобы свести к минимуму возможность неприятия или корректировки итоговых данных.

Обеспечение качества включает четкий контроль факторов, которые непосредственно влияют на собранные и обработанные данные, перед их распределением пользователям. В том, что касается наблюдений или измерений, это оборудование, установка, процедуры измерений, техническое обслуживание, инспекция, калибровка, разработка алгоритма, избыточность измерений, прикладное исследование и подготовка кадров. С точки зрения передачи данных контроль качества — это процесс, разработанный для обеспечения того, чтобы для данных, направляемых в базу данных пользователей, были созданы протоколы в целях гарантии получения пользователями только удовлетворительных данных.

*Контроль качества* является наиболее хорошо известным компонентом систем менеджмента качества и неизменной минимальной составляющей любой системы. Он включает все процедуры, которые осуществляются для обеспечения достоверности данных, и для того, чтобы полученные данные имели требуемое качество, а также включает изучение данных на станциях и в центрах данных для проверки того, что эти данные соответствуют целям системы менеджмента качества, и для обнаружения ошибок, с тем чтобы подобные данные могли быть либо помечены в качестве недостоверных, исправленных, либо исключены в случае наличия серьезных ошибок. Система менеджмента качества должна включать процедуры обратной связи с процессом измерения и контроля его качества для предотвращения повторения ошибок. Обеспечение качества может применяться в режиме реального времени к данным

измерений и может быть составным элементом процедуры контроля для системы менеджмента качества, однако, по большей части, оно характеризуется тенденцией осуществления не в реальном времени.

Контроль качества в режиме реального времени обычно осуществляется на станции и в центрах метеорологического анализа. Последующий контроль качества может продолжаться в аналитических центрах с целью составления базы обработанных данных, а также в климатических центрах или банках данных с целью архивации. Во всех случаях результаты контроля должны сообщаться администрациям сетей наблюдений для принятия последующих мер.

Общим компонентом контроля качества является мониторинг качества или мониторинг функционирования — деятельность не в реальном времени, в ходе которой проводится изучение функционирования сети или системы наблюдений с целью выявления тенденций и систематических недостатков. Как правило, он осуществляется службой, которая управляет сетью или системой и несет за нее ответственность, и которая может предписывать изменения в оборудовании или процедурах. Обычно за это отвечает администратор сети, действующий совместно, в случае необходимости, с другими специалистами.

Современные подходы к контролю качества подчеркивают преимущества комплексной системы обеспечения качества, в которой предусмотрены процедуры непрерывного взаимодействия между всеми сторонами системы наблюдений, включая высшее руководство и других лиц, таких как разработчики приборов и преподаватели, которые могут рассматриваться как второстепенные относительно оперативных проблем качества сбора данных. Официальные процедуры, предписанные ИСО в отношении менеджмента и обеспечения качества, и другие подробные процедуры, используемые в сфере производства и коммерции, также применимы к метеорологическим данным.

## 1.2 **СТАНДАРТЫ СЕРИИ ISO 9000, ISO/IEC 17025, ISO/IEC 20000 И СИСТЕМА МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА ВМО**

В настоящей главе дается объяснение соответствующих стандартов ИСО и того, каким образом они взаимосвязаны.

Системами контроля качества ИСО можно воспользоваться путем сертификации или аккредитации, для чего обычно требуется внешний аудит внедренной системы менеджмента качества. Сертификация подразумевает, что система и процедуры, используемые в организации, внедрены и используются, как об этом было заявлено. Аккредитация подразумевает, что система и процедуры, используемые в данной организации, внедрены, используются, как об этом было заявлено, и технически способны достигнуть требуемого результата. Оценка технической компетенции является обязательным требованием аккредитации, но не сертификации. ISO 9001 — это стандарт, на основе которого организация может пройти сертификацию, в то время как аккредитация, в соответствии со стандартом ISO/IEC 17025, обычно требуется для лабораторий и регулярных наблюдений.

Стандарт ISO 9000 был разработан для оказания помощи организациям всех типов и размеров при введении в действие и использовании при эксплуатации систем менеджмента качества. Стандарт ISO 9000 описывает основные характеристики систем менеджмента качества и дает определение соответствующих терминов (например, требование, удовлетворенность потребителя). Иллюстрация основной концепции приводится на рисунке 1.1. Стандарт ISO 9001 определяет требования к системе менеджмента качества, которая может быть сертифицирована в соответствии с этим стандартом. Стандарт ISO 9004 дает руководящие указания относительно постоянного совершенствования системы менеджмента качества с целью достижения полноценной

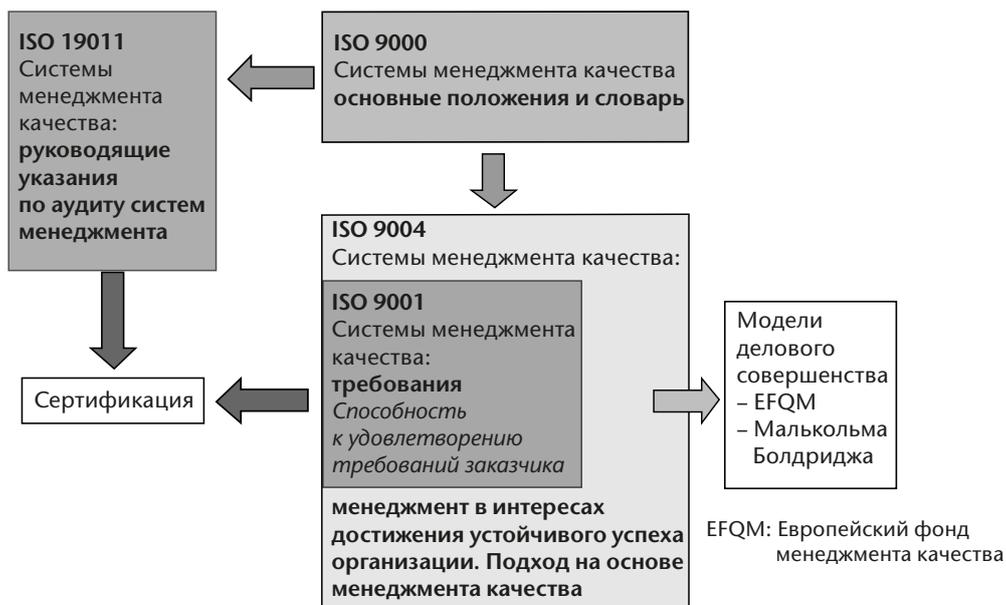


Рисунок 1.1. Основная концепция системы стандартов ISO 9000 и их взаимозависимость

системы менеджмента качества. Стандарт ISO 19011 предусматривает руководящие принципы аудита системы менеджмента качества. Все эти стандарты более подробно описаны в соответствующих документах Структуры менеджмента качества ВМО.

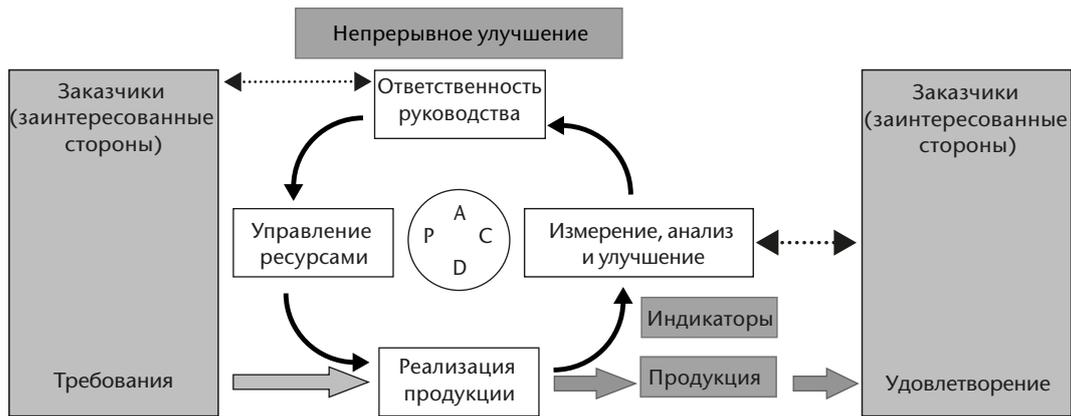
### 1.2.1 **ISO 9000: Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь**

Следующие восемь принципов менеджмента качества являются косвенной основой для успешного руководства НМГС любого масштаба и постоянного повышения эффективности их работы:

- a) ориентация на потребителя;
- b) лидерство руководителя;
- c) вовлечение работников;
- d) процессный подход;
- e) системный подход к менеджменту;
- f) постоянное совершенствование;
- g) принятие решений, основанное на фактах;
- h) взаимовыгодные отношения с поставщиками.

Все эти принципы должны быть документированы и осуществляться на практике для соблюдения требований стандартов ISO 9000 и 9001 в целях прохождения сертификации. Основной темой этих стандартов является процессный подход, который можно просто описать как деятельность, при которой используются ресурсы для преобразования исходных компонентов в конечную продукцию.

Простая модель системы менеджмента качества, основанная на принципе процессного подхода, показана на рисунке 1.2. Основная идея состоит в том, что данный механизм будет способствовать постоянному совершенствованию системы и удовлетворенности



P = планирование, D = осуществление, C = проверка, A = действие

Рисунок 1.2. Цикл управления PDCA (также называемый циклом Деминга)

потребителей посредством измерения процессных индексов (например, время расчета модели глобальных численных прогнозов погоды (ЧПП), удовлетворенность потребителей, время реагирования и т. д.), оценки результатов, принятия административных решений для улучшенного менеджмента ресурсов и получения более полезной продукции.

### 1.2.2 ISO 9001: Системы менеджмента качества. Требования

Этим стандартом предусматриваются основные требования в отношении системы менеджмента качества, включая процессы совершенствования и работу с претензиями, а также осуществление анализа системы управления. Эти процессы обычно включаются в руководство по качеству. Главное внимание в стандарте ISO 9001 сосредоточено на ответственности руководства, а не на технической деятельности.

Для прохождения сертификации в рамках ISO 9001 организация (НМГС) должна определить и документировать следующие шесть процессов:

- а) контроль документов;
- б) контроль записей;
- в) контроль не отвечающей требованиям продукции;
- г) корректирующие действия;
- д) предупреждающие действия;
- е) внутренний аудит.

Кроме того, в наличии должно быть руководство по качеству, в котором излагается политика (например, целью является достижение регионального лидерства в области прогнозирования погоды) и цели организации (например, совершенствование прогнозирования погоды: снижение вероятности ошибочных предупреждений), и дается описание процессных структур и их взаимодействия. Должны быть сформулированы заявления, касающиеся следующего:

- а) менеджмент;
- б) внутренняя связь;



**Рисунок 1.3. Пирамида документов по системе менеджмента качества**

- c) постоянное совершенствование;
- d) системный контроль (например, посредством анализов системы управления).

Исключения могут быть сделаны, например, в отношении развития (если в организации не осуществляется никакой деятельности в области развития).

Пирамида документации системы менеджмента качества показана на рисунке 1.3. Описания процессов показывают реальную деятельность в организации, такую как процедура сбора данных в сетях наблюдений за погодой и климатом. Они сообщают информацию о разных процессных мерах и об организационных структурах, осуществляющих эти меры, в целях сотрудничества и совместного использования информации. В документации должно проводиться различие между периодическими и непериодическими процессами. Примерами периодических процессов является сбор данных или распространение прогнозов. Примеры непериодических процессов включают установку измерительного оборудования, которая начинается с требования, пользователя или компонентов (например, с распоряжения о создании сети измерений).

И наконец, в инструкциях ISO 9001 содержится подробная информация об этапах процесса, которые должны упоминаться в описании процессов (например, с начального инструктажа по автоматическим метеорологическим станциям (АМС). Формуляры и контрольные списки являются полезными средствами для уменьшения вероятности того, что о требуемых задачах будет забыто.

### 1.2.3 **ISO 9004: Менеджмент в интересах достижения устойчивого успеха организации. Подход на основе менеджмента качества**

В ISO 9004 сформулированы рекомендации по разработке и внедрению системы менеджмента качества для достижения отличных результатов в предпринимательской деятельности. Основным аспектом является переход с позиции потребителей на позицию заинтересованных сторон. Благодаря рекомендациям ISO 9004 могут быть разработаны различные модели, например Модель делового совершенства Европейского фонда менеджмента качества (EFQM)<sup>1</sup> или Премия качества имени Малькольма Болдриджа<sup>2</sup>. Обе модели делового совершенства должным образом сформулированы и признаются во всех странах мира.

<sup>1</sup> См. веб-сайт EFQM по адресу: <http://www.efqm.org>.

<sup>2</sup> См. веб-сайт NIST по адресу: <http://www.nist.gov/baldrige/>.

Модель делового совершенства EFQM предусматривает следующие девять критериев, которые оцениваются группой экспертов-оценщиков:

- a) лидерство;
- b) работники;
- c) политика и стратегия;
- d) партнерство и ресурсы;
- e) процессы;
- f) результаты работников;
- g) результаты потребителей;
- h) результаты общества;
- i) ключевые результаты работы.

Модель премии Малькольма Болдриджа содержит семь критериев аналогичных Модели делового совершенства EFQM, а именно:

- a) лидерство;
- b) долгосрочное планирование;
- c) ориентация на потребителей и рынок;
- d) менеджмент измерений, анализа и информации;
- e) ориентация на людские ресурсы;
- f) управление процессами;
- g) результаты.

Для этого стандарта не существует никакой процедуры сертификации, однако внешняя оценка предусматривает возможность проведения сравнений с другими организациями в соответствии с применяемой моделью совершенства (см. также рисунок 1.1).

#### 1.2.4 **ISO 19011: Руководящие указания по аудиту систем менеджмента**

Этот стандарт является руководством для аудита систем менеджмента и не имеет никакого регламентирующего характера. Ниже дается подробное описание мер по осуществлению аудита организаций:

- a) принципы аудита (этичное поведение, справедливое представление, необходимое профессиональное поведение, независимость, основанный на доказательствах подход);
- b) планирование аудита (разработка и осуществление программы аудита);
- c) аудиторская работа (начало аудита, подготовка и проведение аудита на месте, подготовка аудиторского отчета);
- d) профессиональная подготовка и обучение аудиторов (компетенция, знания, навыки работы с людьми).

Методика проведения аудитов зависит от задач и рамок аудита, которые определяются руководством или заказчиком аудита. Главной задачей первого аудита является проверка соответствия системы менеджмента качества требованиям ISO 9001. При последующих аудитах приоритетное внимание уделяется взаимодействию и интерфейсам процессов.

Критериями аудита являются документация системы менеджмента качества, процессные описания, руководство по качеству и уникальные отдельные нормативы.

В планировании аудита, опубликованном организацией, необходимо конкретно указывать соответствующие департаменты организации, критерии аудита, а также цели, место, дату и время аудита, для обеспечения четкого предназначения аудитов.

### 1.2.5 **ISO/IEC 17025: Общие требования к компетенции испытательных и калибровочных лабораторий**

Этот набор требований применим к организациям, включая лаборатории и испытательные полигоны, которые желают провести внешнюю аккредитацию их компетенции в области процедур измерений и тестирования.

Стандарт ISO/IEC 17025 согласует свои требования в отношении менеджмента с требованиями, предусмотренными ISO 9001. Этот стандарт подразделяется на две основные части: требования в отношении менеджмента и технические требования. Соответственно система менеджмента качества должна следовать требованиям стандарта ISO 9001, которые включают описанные процессы, руководство по менеджменту, в котором предусматривается связь между процессами, целями и заявлениями о политике, и то, что эти аспекты должны проходить регулярный аудит. Все лабораторные процедуры должны быть утверждены, верифицированы и легализованы соответствующим образом, с тем чтобы соответствовать требованиям. Кроме того, должны быть определены должностные функции представителя менеджмента качества (менеджера по качеству) и руководителя лаборатории.

Существенным компонентом технических требований является подготовка анализов неопределенности для каждой из процедур измерений, включая соответствие документально оформленной и проверенной прослеживаемости к международным метрологическим стандартам.

### 1.2.6 **ISO/IEC 20000: Информационная технология: менеджмент услуг**

Национальные метеорологические и гидрологические службы пользуются ИТ-оборудованием для получения данных от сетей измерений, чтобы использовать их в моделях глобального/локального ЧПП и обеспечить прогнозистов выходной продукцией моделей. Рекомендации этого стандарта являются полезными для предоставления надежных ИТ-услуг. Новый стандарт ISO/IEC 20000 содержит краткое описание предыдущего английского стандарта BS-15000 и рекомендаций Библиотеки инфраструктуры информационных технологий (БИИТ). Разбивка требований следует структуре БИИТ.

Элементы БИИТ подразделяются на предоставление услуг и поддержку обслуживания при следующих процессах:

*Предоставление услуг:*

- a) менеджмент уровня услуг;
- b) финансовый менеджмент;
- c) менеджмент непрерывности ИТ-услуг;

- d) менеджмент наличия услуг;
- e) менеджмент потенциала.

*Поддержка обслуживания:*

- a) менеджмент изменений;
- b) менеджмент инцидентов;
- c) менеджмент проблем;
- d) менеджмент релизов;
- e) менеджмент конфигураций.

Менеджмент безопасности является общим для обеих областей.

Все это требует, чтобы:

- a) процессы были адаптированы к организационной структуре НМГС;
- b) особое внимание уделялось оказанию поддержки пользователей.

Особое внимание уделялось процессу менеджмента изменений, который может включать менеджмент релизов и конфигураций. Менеджмент инцидентов и проблем обычно осуществляется посредством создания информационно-справочной службы для пользователей.

### 1.2.7 Структура менеджмента качества ВМО

Структура менеджмента качества ВМО дает базовые рекомендации, которые были основаны на опыте НМГС. Необходимые условия для успешной сертификации, согласно ISO 9001, объясняются в публикациях ВМО (WMO, 2005a; 2005b).

Система менеджмента качества является руководством для НМГС, особенно для НМГС с незначительным опытом в официальной системе менеджмента качества. В последующем разделе дается лишь краткое описание внедрения системы менеджмента качества, при этом отмечается, что ВМО не может осуществлять какую-либо сертификацию согласно ISO 9001.

### 1.3 ВНЕДРЕНИЕ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА

Внедрение успешного менеджмента качества в значительной мере зависит от сотрудничества старшего руководства. Старшее руководство НМГС должно быть привержено системе менеджмента качества и поддерживать проектную группу. Необходимые условия для успешной сертификации кратко изложены, а термины стандартов ISO 9001 объясняются в ISO 20000.

Руководство высшего уровня определяет политику и задачи в области качества (включая приверженность менеджменту качества), а персонал должен пройти профессиональную подготовку для того, чтобы понимать суть процесса менеджмента качества (см. 1.2.2). Самым важным условием является создание проектной группы для управления переходом к официальной системе менеджмента качества, включая определение и анализ процессов, используемых данной организацией.

В целях оказания помощи проектной группе персонала, отвечающему за определение процесса, могут быть даны краткие инструкции. Обычно эти инструкции включают следующее:

- a) документирование (запись) того, чем занимается каждая группа;
- b) указание существующей документации;
- c) указание свидетельств или показателей того, что сделано;
- d) определение того, что может быть сделано для постоянного совершенствования процессов.

Учитывая тот факт, что в документации конкретно указывается то, что делает организация, важно, чтобы основные процессы отражали функции структуры НМГС. Это может быть частью названных процессов (см. рисунок 1.4), например:

- a) прогнозирование погоды (включая гидрометеорологические, агрометеорологические, биометеорологические аспекты человека) и метеорологические предупреждения;

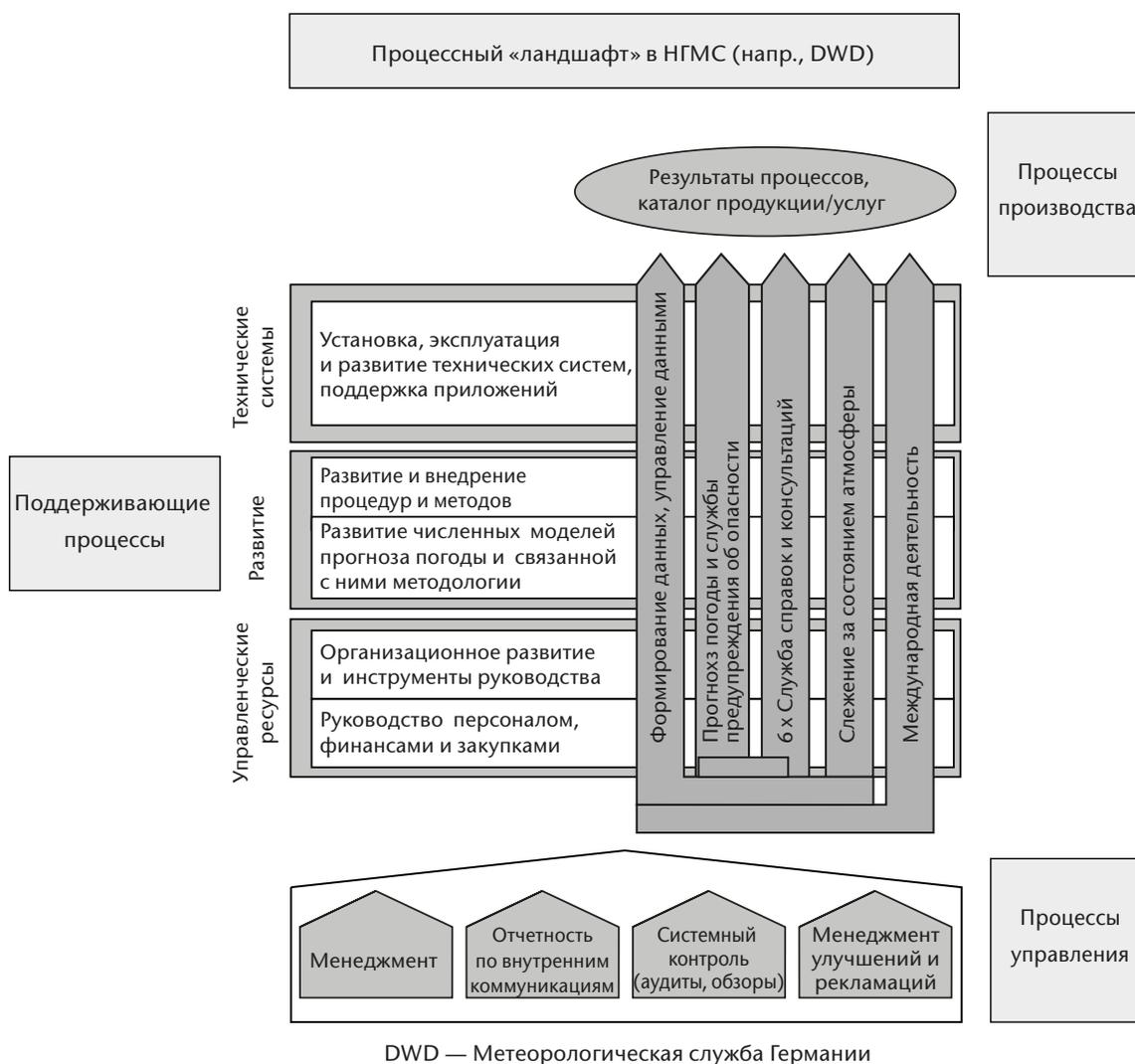


Рисунок 1.4. Процессный «ландшафт» НМГС (пример: Deutscher Wetterdienst (Метеорологическая служба Германии); WMO 2005a)

- b) консультационные услуги (включая климат и окружающую среду);
- c) формирование данных (полученных в результате измерений и от наблюдательных сетей);
- d) международные вопросы;
- e) исследования и разработки (глобальное моделирование, модели ограниченной территории, приборное обеспечение);
- f) техническая инфраструктура (компьютеризация и связь, инженерное обеспечение, менеджмент данных и ИТ-обеспечение);
- g) административные процессы (закупки, финансовый и кадровый менеджмент, организация, административные офисы и недвижимое имущество, менеджмент информации, централизованное планирование и контроль и юридические вопросы).

Даже если эти процессы будут соответствовать индивидуальным потребностям НМГС и обеспечивать их подпроцессами, обычно должны существовать правила устранения инцидентов (например, сбои системы, несчастные случаи с персоналом).

В организации должны быть введены в действие процессы с четко определенными задачами в области качества, и весь персонал должен пройти учебную подготовку для понимания этих процессов, включая использование процедур и контрольных списков и измерение показателей процесса.

Перед подачей заявки на сертификацию должен быть проведен анализ системы менеджмента качества посредством осуществления внутренних аудитов в отделах и подразделениях организации, с тем чтобы проверить соответствие системы менеджмента качества в том виде, в котором это было заявлено и осуществлено. Эти документированные анализы могут быть выполнены специализированными и подготовленными аудиторами. Требования и рекомендации, касающиеся этих анализов, содержатся в ISO 19011 (см. 1.2.4).

Анализ системы менеджмента качества будет включать следующее:

- a) результаты аудита;
- b) обратную связь с потребителями;
- c) эффективность процессов на основе показателей работы;
- d) статус предупреждающих и корректирующих мер;
- e) действия, предпринятые по результатам предыдущих анализов менеджмента;
- f) изменения в системе менеджмента качества (политика организации);
- g) рекомендации по совершенствованию.

#### 1.4 АККРЕДИТАЦИЯ ЛАБОРАТОРИЙ

Аккредитация требует дополнительных процессов и документации, и, что наиболее важно, доказательств того, что персонал лаборатории прошел учебную подготовку и освоил процессы и методы, которые подлежат аккредитации.

Документация должна охватывать следующие аспекты:

- a) наставление по менеджменту для данной лаборатории;
- b) описания процессов, упомянутых в 1.2;
- c) документация всех процессов и методов;
- d) рабочие инструкции для всех отдельных этапов процессов и методов;
- e) наставления по оборудованию (включая сертификаты калибровки);
- f) руководства по техническому обслуживанию.

Поскольку процедуры и методы меняются, вероятно, более часто, чем аспекты аккредитации, касающиеся менеджмента, эти методы обычно не включаются в руководство по менеджменту. Тем не менее, делается специальная ссылка на процедуры и методы, используемые в руководстве по менеджменту.

Поскольку после внедрения системы менеджмента качества вряд ли будут охвачены все аспекты аккредитации, рекомендуется провести предварительный аудит и согласовать его с сертифицирующим ведомством. Во время этих предварительных аудитов обычными будут следующие действия сертифицирующего ведомства:

- a) оценка персонала и необходимых помещений и полевых площадок;
- b) оценка соответствия системы менеджмента;
- c) проверка документации;
- d) валидация рамок аккредитации.

Процедура аккредитации включает оценки, проводимые группой экспертов (не состоящих в штате организации), в состав которой входит представитель сертифицирующего ведомства. Группа экспертов по оценке будет уделять главное внимание двум следующим основным областям:

- a) документации;
- b) проверке технических средств, включенных в рамки аккредитации (например, лаборатории, специальных полевых площадок).

Оценка документации охватывает верификацию следующих документов:

- a) руководство по менеджменту (или наставление по лаборатории);
- b) инструкции по процедуре;
- c) рабочие инструкции;
- d) инструкции по тестированию;
- e) руководство по оборудованию;
- f) руководство по техническому обслуживанию;
- g) анализы неопределенности конкретных количественных величин, результатов тестирования и калибровок;

- h) подтверждающие документы (например, о том, что персонал прошел учебную подготовку и что количественные величины поддаются прослеживанию);
- i) досье (например, переписка с потребителями, выданные сертификаты калибровки).

Группа внешних экспертов может затребовать дополнительные документы, поскольку проверяются все аспекты стандарта ISO/IEC 17025 и причем более подробно по сравнению с сертификацией согласно ISO 9001.

Помимо инспекции методов измерения и соответствующего оборудования оценка технических средств в рамках аккредитации будет включать следующее:

- a) оценка персонала (включая учебную подготовку и уровни ответственности);
- b) оценка инфраструктуры, которая обеспечивает эти методы (например, здания, доступ).

Кроме того, во время оценки проверяется также соответствие следующих элементов поставленных руководством целей аккредитации:

- a) организационная структура;
- b) квалификация персонала;
- c) адекватность технических средств;
- d) ориентация на потребителей.

Помимо этого, в ходе оценки проверяются представленные лабораторией доказательства следующего:

- a) техническая компетенция (выбор и использование измерительной системы);
- b) калибровка измерительного оборудования;
- c) техническое обслуживание измерительного оборудования;
- d) верификация и валидация методов.

#### *Преимущества и недостатки аккредитации*

Посредством первоначальной аккредитации, проведенной независимым сертифицирующим ведомством, НМГС доказывают соответствие своей компетенции в области методов метеорологических измерений и тестирования признанному стандарту. После проведения аккредитации осуществляется текущий периодический внешний аудит, который дает дополнительное доказательство того, что стандарты соблюдались, но, что является более важным, он помогает организации обеспечить соблюдение своих собственных внутренних требований к качеству.

Аккредитация в соответствующих рамках также обеспечивает коммерческие возможности для калибровки, верификации и оценки измерительных устройств.

Существенными являются выгоды от аккредитации для организаций, в которых не существует системы менеджмента качества. Во-первых, она документально оформляет систему организации, и благодаря этому может быть использован процесс анализа для того, чтобы сделать данную организацию более результативной и эффективной. Например, один из компонентов аккредитации, согласно ISO/IEC 17025 требует

проведения анализов погрешностей для каждой калибровки и проверочного испытания; подобные количественные анализы дают информацию о том, где может быть получена самая большая выгода при минимальных ресурсах.

Аккредитация или сертификация в рамках любой признанной системы качества требует регистрации и периодических аудитов внешними экспертами и сертифицирующим ведомством. Они влекут дополнительные расходы для организации и зависят от рамок аккредитации и сертификации.

Запрос о проведении аккредитации до внедрения эффективной системы менеджмента качества приведет к повышенному использованию ресурсов и отвлечению существующих ресурсов вместо их использования для создания системы менеджмента качества; кроме того, будут также иметь место дополнительные периодические затраты на проведение аудитов.

### 1.5 ИНСТРУМЕНТАРИЙ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА

Существует несколько хорошо известных инструментов для содействия процессам системы менеджмента качества и ее постоянного усовершенствования. В качестве введения ниже дается описание трех примеров этих инструментов: сбалансированная система показателей; анализ режимов отказов и их последствий; и система «Шесть сигм».

Сбалансированная система показателей (Kaplan и Norton, 1996) имеет как минимум четыре центральных элемента: финансы, потребители, процессы и служащие. Часто добавляется широкая общественность, поскольку общественные интересы всегда должны приниматься во внимание.

Каждая организация и компонент этой организации представляют ключевые показатели эффективности работы по каждому из центральных элементов, которые, в свою очередь, связаны с миссией организации (или с целью, видением или задачами) и ее стратегией (или рабочей задачей и видением).

Анализ режимов отказов и их последствий — это метод изучения возможных причин, дефектов и вероятности их появления. Этот метод может быть использован для анализа производственных процессов и нормативно-технической документации продукции. Цель процесса оптимизации заключается в снижении приоритетного порядка рисков.

Метод «Шесть сигм» был разработан коммуникационной отраслью и использует контроль статистических процессов для совершенствования продукции. Его целью является снижение процессных отказов до показателя ниже установленной величины.

### 1.6 ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА КАЧЕСТВО ДАННЫХ

Жизненный цикл приборов, применяемых в полевых условиях, включает различные этапы, такие как планирование в соответствии с требованиями пользователя, отбор и установка оборудования, эксплуатация, калибровка, техническое обслуживание и подготовка специалистов. Для получения данных достаточного или предписанного качества необходимо принять соответствующие меры на каждом из этих этапов. В настоящем разделе кратко описаны факторы, влияющие на качество данных, и делается ссылка на более полную информацию, имеющуюся в других главах настоящего Руководства и прочих наставлениях и руководствах ВМО.

**Требования пользователей.** Качество измерительной системы можно оценить путем сравнения требований пользователей и способности системы удовлетворить их. Соответствие требований пользователей к качеству данных и характеристик приборов необходимо рассматривать не только на этапе разработки и планирования проекта, но также на протяжении всей эксплуатации, а приборное оснащение должно планироваться таким образом, чтобы оптимизировать соотношения затраты/выгоды и затраты/эксплуатационные характеристики. Это предусматривает разделение ответственности по согласованию технических и финансовых факторов между пользователями, экспертами по приборам и экспертами по материально-техническому снабжению. В частности, эксперты по приборам должны изучить требования к качеству данных со стороны пользователей, с тем чтобы иметь возможность предложить спецификации, отвечающие современным техническим требованиям. Этот важный этап разработки называется анализом стоимости. Если им пренебречь, как это часто делается, то может оказаться, что требования к стоимости или качеству, либо и то и другое, не будут удовлетворяться, возможно, в нужной степени, и проект потерпит неудачу, а усилия будут потрачены впустую.

**Функциональные и технические спецификации.** Воплощение высказанных требований в функциональные, а затем в технические спецификации является очень важной и сложной задачей. Оно предусматривает наличие обширных знаний о требованиях пользователей, о технологиях метеорологических измерений, о методах наблюдений, о регламентах ВМО, и соответствующих условиях эксплуатации, а также о технических/административных инфраструктурах. Поскольку эти спецификации будут определять общее функционирование планируемой измерительной системы, их воздействие на качество данных имеет большое значение.

**Выбор приборов.** Приборы должны тщательно отбираться с учетом требуемых величин погрешности, диапазона и разрешения (определения см. в [томе I](#), глава 1), условий климата и окружающей среды, в которых предполагается их использование, условий эксплуатации, а также имеющейся технической инфраструктуры для подготовки специалистов, установки и технического обслуживания. Неправильный выбор приборов может привести к низкому качеству данных, вызывая многие трудности, прежде чем оно будет выявлено. Примером может служить неполная спецификация, ведущая к чрезмерному износу приборов или дрейфу их характеристик. Для метеорологических целей, как правило, должны применяться только высококачественные приборы. Следует сделать ссылку на соответствующую информацию, содержащуюся в различных главах настоящего Руководства. Дополнительную информацию о характеристиках различных приборов можно почерпнуть из отчетов о международных сравнениях приборов ВМО и трудов Комиссии по приборам и методам наблюдений (КПМН) ВМО и других международных конференций по приборам и методам наблюдений.

**Испытания на соответствие техническим условиям.** Перед установкой и сдачей в эксплуатацию необходимо убедиться в соответствии приборов исходным техническим условиям. Технические характеристики приборов и их чувствительность к воздействующим факторам должны публиковаться заводами-изготовителями, а в некоторых случаях подтверждаться органами, проводящими калибровку. Однако взаимные сравнения приборов ВМО показывают, что показатели приборов могут ухудшаться под воздействием факторов, влияющих на их качество, что может проявиться еще на этапах производства и транспортировки. Ошибки калибровки сложно или невозможно обнаружить, когда соответствующие эталоны, а также испытательное и калибровочное оборудование являются труднодоступными. Важный компонент хорошего менеджмента — проведение соответствующих испытаний в эксплуатационных условиях еще до того, как приборы будут использованы для оперативных целей. Такие испытания могут проводиться как для того, чтобы определить рабочие характеристики данной модели, так и для контроля действительного качества каждого прибора.

При закупке оборудования следует поставить перед поставщиком вопрос о внедрении в его организации сертифицированных процедур обеспечения качества

согласно требованиям НМГС, уменьшая тем самым необходимость испытания на соответствие техническим условиям получающей стороной. Повышенная цена при закупке оборудования может быть оправдана последующим уменьшением расходов на внутренние испытания или оперативное обслуживание либо гарантированным качеством при последующей эксплуатации в полевых условиях.

**Совместимость.** Проблемы совместимости данных могут возникать в тех случаях, когда приборы с различными техническими характеристиками используются для проведения однотипных измерений. Это может произойти, например, при переходе с ручных измерений на автоматизированные, добавлении новых приборов с другими постоянными времени, использовании иной защиты датчиков, применении иных алгоритмов обработки данных и т. д. Влияние на совместимость и однородность данных должно быть тщательно изучено посредством длительных взаимных сравнений. Следует сделать ссылку на различные отчеты ВМО о международных взаимных сравнениях приборов.

**Размещение и установка.** Плотность метеорологических станций зависит от временного и пространственного масштабов наблюдаемых метеорологических процессов и явлений и, как правило, определяется пользователем или устанавливается регламентными документами ВМО. Существуют экспериментальные доказательства, показывающие, что неправильное размещение и установка могут вызвать серьезные ухудшения точности или репрезентативности измерений. Общие критерии размещения и установки приведены в [томе I](#), глава 1, а детальная информация относительно конкретных приборов дается в различных главах [тома I](#). Следует сделать дополнительную ссылку на регламентные документы ВМО (2015). Следует также обращать внимание на внешние факторы, которые могут стать причиной ошибок, такие как пыль, загрязнение, иней, соль, высокая экстремальная температура окружающей среды или вандализм.

**Инструментальные ошибки.** Правильный отбор приборов является необходимым, но не достаточным условием для получения данных хорошего качества. Ни один из методов измерений не идеален, и все приборы являются источником различных систематических или случайных погрешностей. Их влияние на качество данных должно быть сокращено до приемлемого уровня путем соответствующих профилактических и корректирующих мер. Эти ошибки и погрешности зависят от типа наблюдения; они рассматриваются в соответствующих главах настоящего Руководства (см. [том I](#)).

**Сбор данных.** Качество данных зависит не только от качества приборов и их правильного размещения и установки, но также от аппаратуры и методов, используемых для их получения и преобразования в репрезентативные данные. Следует проводить различие между автоматизированными измерениями и наблюдениями, проводимыми человеком. В зависимости от технических характеристик датчика, в особенности от его постоянной времени, должны применяться соответствующие процедуры дискретизации и осреднения. Нежелательные источники внешних электрических помех и шума могут ухудшить качество выходного сигнала датчика, и их следует исключать путем соответствующего формирования сигнала датчика перед вводом в систему сбора данных. Следует сделать ссылку на дискретизацию и фильтрацию, о которых говорится в [томе III](#), главах 1 и 2. В случае снятия показаний прибора вручную ошибки могут быть обусловлены конструкцией, размещением или разрешением прибора либо недостаточной подготовкой наблюдателя. При визуальных или субъективных наблюдениях ошибки могут возникать ввиду неопытности наблюдателя, неправильно интерпретирующего метеорологические явления.

**Обработка данных.** Ошибки могут также вноситься при преобразовании или при процедурах расчета, применяемых для преобразования измеренных данных в метеорологические данные уровня II или уровня III. Примерами этого являются расчеты влажности на основании измеренных значений относительной влажности

или точки росы и приведение давления к среднему уровню моря. Ошибки также возникают при кодировании или декодировании метеорологических сообщений, в особенности, если это делается наблюдателем.

**Контроль качества в режиме реального времени.** Качество данных зависит от процедур контроля качества в режиме реального времени, применяемых при сборе и обработке данных и при подготовке сообщений, с целью исключения основных источников ошибок и погрешностей. Эти процедуры являются специфическими для каждого типа измерений, но, как правило, включают общие проверки на достоверность значений, скорость изменений, а также сравнения с результатами других измерений (например, точка росы не может превышать температуру). Специальным проверкам подвергаются результаты наблюдений и метеорологические сообщения, вводимые вручную. В АМС имеется специальное встроенное испытательное оборудование, которое позволяет обнаружить конкретные аппаратные ошибки. Применение этих процедур является наиболее важным, поскольку некоторые ошибки и погрешности, вносимые в процессе измерения, нельзя исключить позднее. Общий обзор используемых ручных и автоматизированных методов содержится в других разделах настоящей главы, а также в [томе III](#), глава 1, и в публикациях ВМО (1993а, 2010, 2015, 2017а).

**Мониторинг функционирования.** Поскольку процедуры контроля качества в режиме реального времени имеют свои ограничения и некоторые погрешности, вызванные долговременным дрейфом датчиков, и ошибки в передаче данных могут остаться незамеченными, то требуется мониторинг функционирования на уровне сети, проводимый центрами метеорологического анализа и администраторами сети. Этот мониторинг описан в [1.8](#). Информацию также можно почерпнуть из [тома III](#), глава 1, и из публикации ВМО (2010). Важно установить эффективные процедуры связи между лицами, отвечающими за мониторинг, за техническое обслуживание и за калибровку с тем, чтобы способствовать быстрому реагированию на сообщения от системы мониторинга ошибок или отказов.

**Испытания и калибровка.** В ходе эксплуатации технические и инструментальные характеристики метеорологических приборов изменяются в силу ряда причин, таких как старение аппаратных компонентов, ухудшение обслуживания и установки и т. д. Это может вызвать долгопериодные дрейфы или внезапные изменения в калибровке. Следовательно, для получения надежных данных необходимо проводить регулярную инспекцию и калибровку (поверку) приборов. Это требует наличия эталонов и соответствующей калибровочной и испытательной техники. Это также требует эффективного плана калибровки, поверки и метрологического обслуживания. За общей информацией об аспектах испытаний и калибровки следует обратиться к данному тому, [глава 4](#), и к соответствующим главам [тома I](#), посвященным отдельным приборам.

**Техническое обслуживание.** Техническое обслуживание может носить корректирующий (когда выходят из строя некоторые части), профилактический (например, чистка или смазка) или адаптивный (в ответ на изменившиеся требования или моральный износ) характер. На качество данных, полученных с помощью прибора, оказывает значительное влияние качество его технического обслуживания, которое, в свою очередь, зависит, главным образом, от квалификации обслуживающего персонала и концепции технического обслуживания. Возможности, персонал и оборудование организации или подразделения, отвечающего за техническое обслуживание, должны быть адекватны обслуживаемым приборам и сетям. Необходимо принимать во внимание несколько факторов, таких как план технического обслуживания, который включает корректирующее, профилактическое и адаптивное обслуживание, логистический менеджмент и ремонтные, испытательные и вспомогательные технические средства. Необходимо отметить, что стоимость технического обслуживания оборудования может значительно превысить стоимость его закупки (см. [том III](#), глава 1).

**Подготовка кадров и образование.** Качество данных зависит также от квалификации технического персонала, отвечающего за испытания, калибровку и техническое обслуживание приборов, а также наблюдателей, производящих наблюдения. Программы подготовки кадров и образования должны быть составлены в соответствии с рациональным планом, направленным на удовлетворение нужд пользователей и, особенно, требований к техническому обслуживанию и калибровке (поверке), описанных выше, и должны быть адаптированы к специфике системы; это особенно важно для АМС. В условия закупки системы должно входить обязательство завода-изготовителя предоставить всеобъемлющую эксплуатационно-техническую документацию и организовать учебные курсы для техников и операторов (см. данный том, [глава 5](#)) в НМГС.

**Метаданные.** Хорошо продуманная система обеспечения качества предусматривает наличие детальной информации о самой наблюдательной системе и, в частности, обо всех изменениях, происходящих в ходе ее эксплуатации. Такая информация о данных, известная как метаданные, позволяет оператору наблюдательной системы предпринять самые необходимые профилактические, корректирующие и адаптивные меры для поддержания или повышения качества данных. Требования к метаданным рассматриваются далее в [1.9](#). Дополнительную информацию о метаданных см. в [томе I](#), глава 1 (приложение 1.F), и публикации ВМО (2019b).

## 1.7 ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА (КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА)

В *Наставлении по Глобальной системе наблюдений* (ВМО, 2015) предписывается применять ко всем метеорологическим данным, подлежащим международному обмену, определенные процедуры контроля качества. Проходить такой контроль качества должны все данные уровня I и уровня II и процедуры преобразования из одного уровня в другой. В публикации ВМО (2017a) центрам обработки метеорологических данных предписывается применять процедуры контроля качества в отношении большинства типов метеорологических сводок, обмен которыми осуществляется на международном уровне, с целью их проверки на наличие ошибок кодирования, внутреннюю совместимость, совместимость во времени и в пространстве и соответствие физическим и климатологическим ограничениям, и там же определяется минимальная частота и сроки проведения контроля качества.

Общие руководящие указания по процедурам контроля качества содержатся в публикации ВМО (2010). В ней подчеркивается важность контроля качества на уровне станции, поскольку некоторые возникающие здесь ошибки нельзя впоследствии исправить, а также отмечаются большие преимущества автоматизации. В публикации ВМО (1993a) содержится довольно подробное описание процедур, которые могут использоваться центрами численного анализа, сведения о климатологических ограничениях, типах проверок на внутреннюю совместимость, сравнениях данных с данными соседних станций и с анализами и прогнозами, а также кратко комментируются вероятности исключения доброкачественных данных и принятия ошибочных данных с известными статистическими распределениями ошибок.

Контроль качества, как, в частности, конкретно определено в [1.1](#), осуществляется в режиме реального или близкого к реальному времени применительно к сбору и обработке данных. На практике ответственность за контроль качества возлагается на различные точки в цепи жизни данных. Они могут быть на станции, если сбор данных осуществляется непосредственно и вручную, или в различных центрах, в которых проводится обработка данных.

Процедуры обеспечения качества должны внедряться и переоцениваться на этапах разработки новых датчиков или наблюдательных систем (см. рисунок 1.5).



НМС: национальная метеорологическая служба  
 ОК: обеспечение качества  
 КК: контроль качества

Рисунок 1.5. Процесс формирования данных наблюдений

1.7.1 **Приземные данные**

1.7.1.1 **Ручные наблюдения и станции с персоналом**

В обязанности наблюдателя или дежурного сотрудника на станции входит обеспечение контроля качества данных, отправляемых со станции, и ему должны быть предоставлены установленные процедуры для выполнения этой обязанности.. Эта специфическая функция дополняет другие функции технического обслуживания и ведения записей и включает следующее:

- a) проверки на внутреннюю совместимость полных синоптических или других комплексных наблюдений: на практике опытный наблюдатель выполняет их в ходе

обычной работы, но, тем не менее, они должны быть безусловным требованием. Примерами являются зависимости между температурой, точкой росы и суточными экстремальными значениями, а также между дождем, облачностью и погодой;

- b) климатологические проверки: они служат целям согласованности. Наблюдатель знает нормальные сезонные амплитуды переменных на станции либо располагает соответствующими картами или таблицами и он не должен допускать, чтобы необычные значения проходили непроверенными;
- c) временные проверки: их следует проводить, чтобы обеспечить реальность изменений, произошедших со времени предыдущего наблюдения, особенно когда наблюдения проводились различными наблюдателями;
- d) проверки арифметических операций и операций с использованием таблиц;
- e) проверки всех сообщений и других записей по исходным данным.

### 1.7.1.2 **Автоматические метеорологические станции**

На АМС некоторые из вышеуказанных проверок должны выполняться программным обеспечением наряду с техническими поверками функционирования системы. Эти вопросы рассматриваются в [томе III](#), глава 1.

### 1.7.2 **Аэрологические данные**

Процедуры контроля качества аэрологических данных по существу аналогичны процедурам, используемым для приземных данных. Необходимо выполнять проверки данных на их внутреннюю совместимость (например, градиенты и сдвиги), на климатологическую и временную совместимость, а также на совместимость с данными обычных приземных наблюдений. При радиозондировании крайне важно, чтобы базовая калибровка подвергалась тщательной и специальной проверке. Данные, содержащиеся в сообщении, также должны быть сверены с данными наблюдений.

Автоматизация контроля качества на станции особенно полезна в случае аэрологических данных.

### 1.7.3 **Центры данных**

Данные должны проверяться в режиме реального времени или как можно ближе к нему в первой и последующих точках, где они принимаются или используются. Весьма рекомендуется проводить одинаковые срочные проверки всех данных, даже тех, которые не используются в режиме реального времени, поскольку при задержках контроля качества имеется тенденция к потере эффективности. При наличии автоматизации ее, разумеется, следует использовать, но определенные процедуры контроля качества возможны и без компьютеров или только при частичном использовании вычислительной техники. Принцип состоит в том, что каждое сообщение должно проверяться предпочтительно на каждом этапе всей цепи получения данных.

Проверки, уже проведенные на уровне станции, обычно повторяются в центрах данных, возможно, в расширенной форме с использованием автоматизации. Однако центры данных обычно имеют доступ к другим данным сети, что делает возможным проведение пространственной проверки путем сравнения с результатами наблюдений соседних станций либо с полями результатов анализа или прогноза. Этот метод весьма эффективен и является составной частью деятельности центра данных.

Если обнаруживаются ошибки, то данные должны быть исключены или исправлены путем отправки назад к источнику либо в самом центре данных посредством логических

умозаключений. Последняя из этих альтернатив, очевидно, может внести дополнительные ошибки, но она, тем не менее, обоснована в ряде обстоятельств; скорректированные таким образом данные должны быть помечены в базе данных и к их использованию следует относиться с осторожностью.

В процессе контроля качества формируются данные подтвержденного качества, которые затем могут быть использованы для деятельности в режиме реального времени и для банка данных. Однако побочным продуктом этого процесса должен быть сбор информации об обнаруженных ошибках. При хорошей организации работы в первой точке обработки данных или в последующих точках устанавливается система немедленной обратной связи с источником данных в случаях обнаружения ошибок и ведения соответствующей регистрации для использования администратором сети с целью мониторинга функционирования сети, как описано ниже. Эту функцию наилучшим образом можно осуществить на региональном уровне, где имеется непосредственный доступ к полевым станциям.

Подробные процедуры, описанные в публикации ВМО (1993a), являются руководством для контроля качества данных, подлежащих международному обмену, согласно рекомендациям ВМО (2017a).

#### 1.7.4 **Взаимодействие с полевыми станциями**

Для поддержания определенного качества данных абсолютно необходимо проследить источники, из которых поступают ошибки, принимая соответствующие корректирующие меры. Для данных, полученных со станций с персоналом, это весьма эффективно делается в близком к реальному времени не только потому, что данные можно исправить, но и потому, что, определив причину ошибки, можно предотвратить ее повторение.

Эффективной практикой работы в центре данных или другом оперативном центре является назначение лица, ответственного за поддержание связи практически в реальном масштабе времени и эффективных рабочих контактов с полевыми метеостанциями в тех случаях, когда обнаруживаются ошибки в данных.

### 1.8 **МОНИТОРИНГ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ**

Управление сетью или станцией значительно улучшается, если ведется непрерывная регистрация функционирования, как правило, по ежедневному и месячному графику. Цель мониторинга функционирования состоит в том, чтобы постоянно следить за качеством работы метеорологических станций и каждой системы наблюдений, таких как сеть измерения давления или радиозондовая сеть.

Мониторинг функционирования предполагает несколько следующих аспектов:

- a) уведомления из центров данных должны использоваться для регистрации числа и типов ошибок, обнаруженных при осуществлении процедур контроля качества;
- b) данные с каждой станции должны включаться в синоптические и временные разрезы. Такие разрезы должны использоваться для определения систематических расхождений с данными соседних станций как по пространственным полям, так и по сравнимым временным рядам. Полезно получать статистику разности и разброса средних значений. Для этих целей эффективны графические методы;
- c) от полевых станций должны поступать сообщения об отказах оборудования или других аспектах функционирования.

Сообщения такого рода весьма эффективны для выявления систематических недостатков в функционировании и определения корректирующих мер. Они эффективно

демонстрируют влияние на данные многих факторов, таких как изменения установки или калибровки, ухудшение работы оборудования, изменения качества расходных материалов или необходимость в переподготовке персонала. Они особенно важны для поддержания доверия к автоматическому оборудованию.

Результаты мониторинга функционирования должны использоваться для обратной связи с полевыми станциями, что важно для поддержания заинтересованности персонала. Эти результаты также показывают, когда необходимо предпринять меры по ремонту или модернизации полевого оборудования.

Мониторинг функционирования является трудоемкой задачей, на решение которой администратор сети должен выделить достаточные ресурсы. В публикации ВМО (WMO, 1988) описывается система мониторинга данных с сети АМС небольшой специальной группой сотрудников, проводящей мониторинг выходных данных в реальном времени и консультирующей администраторов сети и пользователей данных. Miller и Morone (1993) описывают систему с аналогичными функциями близком к реальному времени с использованием мезомасштабной численной модели для пространственных и временных проверок данных.

## 1.9 **ОДНОРОДНОСТЬ ДАННЫХ И МЕТАДААННЫЕ**

В прошлом сети наблюдений создавались, главным образом, в поддержку деятельности по прогнозированию погоды. Оперативный контроль качества был сосредоточен в основном на определении грубых ошибок, но редко включал в себя проверки на однородность данных и непрерывность временных рядов. Рост интереса к вопросам изменения климата под влиянием, прежде всего, повышенного содержания парниковых газов изменил это положение. Проверки на однородность данных выявили, что многие из очевидных изменений климата можно объяснить неоднородностями во временных рядах, вызванными лишь оперативными изменениями в системах наблюдений. В этом разделе мы попытаемся кратко описать причины этого и предложим некоторые рекомендации относительно необходимой информации о данных, а именно метаданных, которая должна предоставляться для изучения однородности данных и исследований изменения климата.

### 1.9.1 **Причины неоднородностей данных**

Неоднородности, вызванные изменениями в системе наблюдений, проявляются в виде резких разрывов непрерывности, постепенных изменений или изменений характера изменчивости. Резкие разрывы непрерывности обусловлены, главным образом, изменениями в приборном оснащении, изменениями в размещении и установке станций и их перемещением, изменениями в расчетах средних значений величин, процедурах приведения данных и применением новых поправок калибровки. Неоднородности, проявляющиеся в виде эффекта постепенного изменения в сторону увеличения, могут объясняться изменением окружения станции, урбанизацией и постепенными изменениями характеристик приборов. Изменения характера изменчивости вызываются нарушениями нормальной работы приборов. Кроме того, неоднородности возникают в силу изменений времени наблюдений, недостаточности регулярных инспекций, технического обслуживания и калибровки, а также неудовлетворительности процедур наблюдений. На уровне сети неоднородности могут быть обусловлены несовместимостью данных. Очевидно, что все факторы, влияющие на качество данных, также могут вызывать неоднородности в данных.

Серьезность этой проблемы иллюстрируется историческим обзором изменений радиозондов (WMO, 1993b), который является хорошим примером тщательной работы, которая необходима для устранения проблемы.

Изменения в рядах данных приземной температуры при замене станций с персоналом на АМС и изменения в аэрологических данных при смене типов радиозондов являются особо весомыми причинами появления неоднородностей данных. Эти две причины теперь общепризнаны, и в принципе их можно предвидеть и устранить, а мониторинг функционирования может быть использован для подтверждения эффективности таких исправлений или даже для определения источников некорректности.

### 1.9.2 **Метаданные**

Неоднородностей данных следует по мере возможности избегать путем соответствующих процедур обеспечения качества, касающихся контроля качества. Однако этого не всегда можно добиться, поскольку некоторые причины неоднородностей, такие как замена датчиков, могут представлять собой реальные усовершенствования в измерительной аппаратуре. Важно иметь информацию о наличии, типе и особенно о времени появления всех неоднородностей. После получения такой информации климатологи могут задействовать соответствующие статистические программы для согласования предыдущих данных с новыми данными в однородных базах данных с высокой степенью уверенности. Информация такого рода обычно содержится в сведениях о данных, известных как метаданные, также называемых историей станции. Без такой информации многие из вышеупомянутых неоднородностей невозможно определить и исправить. Метаданные можно рассматривать как расширенную версию административного описания станции, содержащей всю возможную информацию о первоначальном размещении, типе и времени изменений, которые происходили в течение жизненного цикла системы наблюдений. Поскольку важным аспектом систем передачи качественных данных являются компьютерные системы управления данными, желательно, чтобы метаданные содержались в компьютерной базе данных, составление, обновление и использование которой обеспечивается компьютером.

### 1.9.3 **Элементы базы метаданных**

База метаданных содержит первоначальную информацию о размещении станции наряду с обновлениями этих данных по мере того, как происходят изменения. Основные элементы включают следующее:

- a) информация о сети:
  - i) орган, эксплуатирующий сеть, а также тип и назначение сети;
- b) информация о станции:
  - i) административная информация;
  - ii) местоположение: географические координаты, высота над уровнем моря<sup>3</sup>;
  - iii) описания удаленного и близлежащего окружения и препятствий<sup>3</sup>;
  - iv) план размещения приборов<sup>3</sup>;
  - v) технические средства: передача данных, энергопитание, кабельные соединения;
  - vi) климатологическое описание;
- c) информация об отдельных приборах:
  - i) тип: завод-изготовитель, модель, серийный номер, принципы действия;
  - ii) рабочие характеристики;

- iii) данные и время калибровки;
- iv) размещение и установка: местоположение, устройства защиты, высота над землей<sup>3</sup>;
- v) программа измерений или наблюдений;
- vi) сроки наблюдений;
- vii) наблюдатель;
- viii) получение данных: дискретность, осреднение;
- ix) методы и алгоритмы обработки данных;
- x) профилактическое и корректирующее обслуживание;
- xi) качество данных (в виде отметки сомнительности или неопределенности).

#### 1.9.4 **Рекомендации в отношении системы метаданных**

Для разработки системы метаданных необходима серьезная междисциплинарная организационная структура, а ее функционирование, в особенности скрупулезная и точно датированная регистрация изменений в базе метаданных, требует постоянного внимания.

Полезный обзор требований содержится в публикации ВМО (WMO, 1994) с примерами последствий изменений в практике наблюдений и с объяснением преимуществ хороших метаданных для получения надежных климатологических рядов на основе данных с нарушением непрерывности. Основные функциональные элементы системы поддержания базы метаданных можно обобщить следующим образом:

- a) должны быть установлены стандартные процедуры сбора перекрывающихся друг друга данных измерений в случаях любых значительных изменений в приборном оснащении, практике наблюдений и размещении датчиков;
- b) должны проводиться регулярные оценки проведения калибровки, технического обслуживания и проблем однородности с целью принятия корректирующих мер, когда они необходимы;
- c) необходимо открытое взаимодействие между теми, кто собирает данные, и научными работниками для обеспечения механизмов обратной связи с целью обнаружения проблем с данными, исправления или, по крайней мере, документирования проблем, и совершенствования или пополнения документации для удовлетворения первоначально непредусмотренных требований пользователей (например, рабочих групп);
- d) должна существовать подробная и легко доступная документация о методах, обосновании, испытаниях, допущениях и известных проблемах, связанных с получением массивов данных на основе измерений.

Цель этих четырех рекомендаций заключается в обеспечении пользователей достаточными метаданными, позволяющими оперировать с данными, объединять и обобщать их с минимальными допущениями в отношении качества и однородности.

---

<sup>3</sup> Необходимо включить карты и планы в соответствующих масштабах.

## 1.10 УПРАВЛЕНИЕ СЕТЬЮ

Управление сетью распространяется на все влияющие на качество данных факторы, описанные в 1.6. В частности, управление сетью должно включать меры по исправлению недостатков в работе сети, выявленных посредством процедур контроля качества и мониторинга функционирования.

Сети определены в публикации ВМО (2015), а руководство по управлению сетью в общих чертах изложено в публикации ВМО (2010), включая структуру и функции подразделения управления сетью. Практика управления сетью весьма разнообразна в зависимости от установленных на местах административных положений.

Весьма желательно назначение конкретного лица или подразделения в качестве администратора сети, которому вменяется в обязанность оперативно следить за влиянием различных факторов на качество данных. Другие специалисты, отвечающие за управление и выполнение отдельных задач, должны сотрудничать с администратором сети и нести ответственность за изменение качества данных в результате принятых мер.

Администратор должен постоянно следить за процедурами и результатами, связанными со всеми влияющими на качество факторами, описанными в 1.6, включая следующие соображения:

- a) системы контроля качества, описанные в 1.1, играют важную оперативную роль в любой метеорологической сети, и им должно уделяться приоритетное внимание со стороны пользователей данных и администрации сети;
- b) мониторинг функционирования обычно понимается как функция управления сетью. По его результатам составляются указания о принятии мер по факторам влияния установки, калибровки и технического обслуживания. Он также обеспечивает информацию о влиянии некоторых других факторов;
- c) инспекция полевых метеостанций, описанная ниже, также входит в функции управления сетью;
- d) техническое обслуживание оборудования может входить в непосредственные функции подразделения по управлению сетью. В противном случае должно осуществляться особо эффективное сотрудничество между администратором сети и подразделением, отвечающим за оборудование;
- e) административная структура должна позволять администратору сети принимать или организовывать корректирующие меры, вытекающие из результатов процедур контроля качества, мониторинга функционирования, программы инспекций или любых других факторов, влияющих на качество. Одним из прочих наиболее важных факторов, описанных в настоящем томе, глава 5, является подготовка наблюдателей, и администратор сети должен быть в состоянии оказывать влияние на содержание и проведение курсов и методик их проведения или выполнение предписанных требований к подготовке специалистов.

### 1.10.1 Инспекции

Полевые метеостанции должны регулярно инспектироваться, предпочтительно специально назначенными опытными инспекторами. Цели состоят в том, чтобы ознакомиться с работой наблюдателей, проверить техническое обслуживание и установку оборудования, а также повысить ценность данных путем регистрации истории станции. Одновременно могут быть выполнены различные административные функции, которые особенно важны для станций с персоналом. Одни и те же принципы применяются в отношении станций с персоналом; станций, эксплуатируемых персоналом с неполным

рабочим днем, добровольцами или наблюдателями по контракту и, в определенной степени, для АМС. Требования в отношении инспекций изложены в публикации ВМО (2015), а рекомендации даются в публикации ВМО (2010).

Отчеты об инспекциях входят в качестве составной части в отчеты о мониторинге функционирования.

Весьма желательно иметь систематическую и исчерпывающую процедуру, полностью задокументированную в форме справочников по инспекциям и техническому обслуживанию, которые должны использоваться инспекторами, посещающими станции. Процедуры должны включать подробные сведения о составлении отчетов и принятии последующих мер.

Инспектор должен обратить внимание, в частности, на следующие аспекты функционирования станции:

- a) *Функционирование приборов.* Приборы, требующие калибровки (поверки), должны быть сверены с соответствующим эталоном. В первую очередь, следует обратить внимание на атмосферное давление, поскольку все полевые барометры могут иметь определенный дрейф. Механические и электрические регистрирующие системы должны проверяться в соответствии с установленными процедурами. Более сложное оборудование, такое как АМС и радиолокаторы, нуждаются, разумеется, в различных физических и электрических проверках. Защита анемометров и будки для термометров особенно подвержены повреждениям различного рода, что может привести к изменению данных. Должно быть проверено физическое состояние всего оборудования на предмет грязи, коррозии и т. д.
- b) *Методы наблюдений.* В процедуры наблюдений могут легко вкратиться отклонения от установленной практики, поэтому работа всех наблюдателей должна проверяться постоянно. Важную роль в использовании данных для синоптических и климатологических целей играет однородность регистрации и кодирования методов наблюдений.
- c) *Размещение.* Любые изменения в окружении станции должны быть задокументированы и, если это практически возможно, в соответствующее время скорректированы. Может потребоваться перенос станции на новое место.

Инспекции станций с персоналом также служат цели поддержания интереса и энтузиазма наблюдателей. Инспектор должен быть тактичным, информативным, проявлять энтузиазм и готовность к сотрудничеству.

По каждой инспекции должна быть заполнена заранее подготовленная форма отчетности. Она должна включать проверочный список состояния и установки оборудования, а также квалификации и компетентности наблюдателей. Инспекционная форма может также использоваться для других административных целей, например инвентаризации.

Чрезвычайно важно, чтобы все изменения, обнаруженные в ходе инспекции, постоянно регистрировались и датировались с тем, чтобы велась история станции для последующего использования в исследованиях климата и для других целей.

Оптимальная частота инспекционных визитов не может быть точно установлена даже для одного конкретного типа станций. Она зависит от качества работы наблюдателей и оборудования; темпов, с которыми может ухудшаться работа приборов и экспозиция, и изменений в персонале станции и ее технических средствах. Инспекционный интервал в два года может считаться достаточным для станции с хорошо отлаженной работой,

а интервал в шесть месяцев может в большей мере подходить для автоматических станций. Для некоторых видов станций должны существовать специальные инспекционные требования.

Некоторые виды технического обслуживания оборудования могут проводиться инспектором или группой инспекторов в зависимости от их квалификации. Как правило, должна быть составлена программа технического обслуживания оборудования, как это делается в случае инспекций. Этот вопрос здесь не рассматривается, поскольку требования к таким программам и возможная организация весьма разнообразны.

---

## СПРАВОЧНАЯ И ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Deming, W. E. *Out of the Crisis: Quality, Productivity, and Competitive Position*; Cambridge University Press: Cambridge [Cambridgeshire], 1986.
- International Organization for Standardization (ISO). *Quality management systems – Fundamentals and vocabulary*; ISO 9000:2015; Geneva, 2015. <https://www.iso.org/standard/45481.html>
- International Organization for Standardization (ISO). *Quality management systems – Requirements*; ISO 9001:2015; Geneva, 2015. <https://www.iso.org/standard/62085.html>
- International Organization for Standardization (ISO). *Quality management – Quality of an organization. Guidance to achieve sustained success*; ISO 9004:2018; Geneva, 2018. <https://www.iso.org/standard/70397.html>
- International Organization for Standardization (ISO). *Guidelines for auditing management systems*; ISO 19011:2018; Geneva, 2018. <https://www.iso.org/standard/70017.html>
- International Organization for Standardization (ISO)/International Electrotechnical Commission (IEC). *General requirements for the competence of testing and calibration laboratories*; ISO/IEC 17025:2017; Geneva, 2017. <https://www.iso.org/standard/66912.html>
- International Organization for Standardization (ISO)/International Electrotechnical Commission (IEC). *Information technology – Service management – Part 1: Service management system requirements*; ISO/IEC 20000-1:2018; Geneva, 2018. <https://www.iso.org/standard/70636.html>
- International Organization for Standardization (ISO)/International Electrotechnical Commission (IEC). *Information technology – Service management – Part 2: Guidance on the application of service management systems*; ISO/IEC 20000-2:2019; Geneva, 2019. <https://www.iso.org/standard/72120.html>
- Kaplan, R. S.; Norton, D. P. *The Balanced Scorecard: Translating Strategy into Action*, Harvard Business School Press: Boston, Mass., 1996.
- Miller, P.A.; L.L. Morone. Real time quality control of hourly reports from the automated surface observing system. Preprints of the Eighth Symposium on Meteorological Observations and Instrumentation. *American Meteorological Society* **1993**, 373-378.
- M. Field; J. Nash. Practical experience of the operation of quality evaluation programmes for automated surface observations both on land and over the sea. *Papers Presented at the WMO Technical Conference on Instruments and Methods of Observation (TECO-1988)* (WMO/TDNo. 222), Report No. 33; World Meteorological Organization (WMO): Geneva., 1988.
- World Meteorological Organization (WMO) 1993a. *Guide on the Global Data-Processing System* (WMO-No. 305). Geneva, 1993.
- World Meteorological Organization (WMO) 1993b. D.J. Gaffen. *Historical changes in radiosonde instruments and practices: final report* (WMO/TD-No. 541), Report No. 50; World Meteorological Organization (WMO): Geneva, 1993b.
- K.D. Hadeen; N.B. Guttman. Homogeneity of data and the climate record. *Papers Presented at the WMO Technical Conference on Instruments and Methods of Observation (TECO-94)* (WMO/TD-No. 588), Report No. 57; World Meteorological Organization (WMO): Geneva, 1994.
- World Meteorological Organization (WMO) 2005a. *WMO Quality Management Framework (QMF): first WMO Technical Report* (WMO/TD-No. 1268) (revised edition); Geneva, 2005.
- World Meteorological Organization (WMO) 2005b. *Guidelines on Quality Management Procedures and Practices for Public Weather Services* (WMO/TD-No. 1256) 2005. PWS No. 11; Geneva, 2005.
- Всемирная метеорологическая организация (ВМО) 2010 г. *Руководство по Глобальной системе наблюдений* (ВМО-№ 488). Женева, 2010 г. (обновлено в 2017 г).
- Всемирная метеорологическая организация (ВМО) 2015 г. *Наставление по Глобальной системе наблюдений* (ВМО-№ 544), Том I. Женева, 2015 г. (обновлено в 2017 г).
- Всемирная метеорологическая организация (ВМО) 2017а г. *Наставление по Комплексной системе обработки и прогнозирования ВМО* (ВМО-№ 485). Женева, 2017 г.
- Всемирная метеорологическая организация (ВМО) 2019б г. *Стандарт метаданных ИГСНВ* (ВМО-№ 1192). Женева, 2019 г.
-

## ГЛАВА 2. ДИСКРЕТНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПЕРЕМЕННЫХ

### 2.1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Цель настоящей главы состоит в том, чтобы дать введение в эту сложную тему для неспециалистов, нуждающихся в достаточных знаниях для расширения общего понимания вопросов и получения представления о важности описываемых методик.

Атмосферные переменные, такие как скорость ветра, температура, давление и влажность, являются функциями четырех измерений — двух по горизонтали, одного по вертикали и одного по времени. Они неравномерно варьируют во всех четырех измерениях, и целью изучения дискретных измерений метеорологических переменных является определение практических процедур для получения репрезентативных наблюдений с допустимыми погрешностями в оценках средних значений и изменчивости.

Описание дискретных измерений в горизонтальных координатах включает тему репрезентативности по площади, о чем рассказывается в [томе I](#), глава 1, в других главах, посвященных измерениям конкретных переменных, а также кратко излагается ниже. Эта тема также включает вопросы проектирования сети, что является особым видом исследования, связанного с численным анализом, а также измерений осредненных по площади величин с использованием радиолокаторов и спутников; ни один из этих вопросов в данной главе не рассматривается. Дискретные измерения по вертикали кратко описываются в [томе I](#), главы 12 и 13, и в [томе III](#), глава 5. Поэтому настоящая глава посвящена лишь дискретным измерениям во времени, за исключением некоторых общих замечаний о репрезентативности.

Данная тема может рассматриваться на двух уровнях следующим образом:

- a) на элементарном уровне может обсуждаться основная проблема в метеорологии, которая заключается в получении среднего значения изменяющейся величины, репрезентативного для установленного интервала между отсчетами в данный момент времени, с использованием измерительных систем, имеющих более длительное время отклика по сравнению с периодом флуктуации. На самом простом уровне это приводит к рассмотрению статистических характеристик комплекса измерений и времени отклика приборов и электронных схем;
- b) более конкретно эту проблему можно обозначить, используя теорию анализа временных рядов, концепцию спектра и характеристик фильтров. Эти методы необходимы при решении более сложной проблемы применения относительно быстродействующих приборов для получения удовлетворительных измерений средних значений или спектра быстро изменяющейся величины, например ветра.

В связи с этим представляется целесообразным начать главу с описания временных рядов, спектров и фильтров, которое содержится в [2.2](#) и [2.3](#). Раздел [2.4](#) содержит практические советы по выполнению дискретных измерений. Большая его часть посвящена цифровым методам и автоматической обработке.

Важно отметить, что нам фактически никогда не удастся измерить действительное значение атмосферной переменной. Можно лишь приблизительно его определить, насколько позволит датчик этой переменной. Важность такого различия состоит в том, что датчики не выдают точного аналога измеряемой переменной. Вообще говоря, датчики реагируют медленнее, чем меняется состояние атмосферы, и, кроме того, они вносят шум. Датчики также часто являются причиной других, обычно нежелательных эффектов, таких как дрейф первоначальных результатов калибровки, нелинейность чувствительности,

создание помех для измеряемой величины, чаще предполагаемого выходят из строя и т. д. Однако материал настоящей главы будет ограничен лишь рассмотрением отклика и внесения шума.

Имеется много учебников, содержащих достаточно информации, необходимой для проектирования систем дискретных измерений или изучения выборки данных. Для примера можно привести работы Bendat and Piersol (1986) или Ottes and Enochson (1978). Среди других полезных работ можно отметить работы Pasquill and Smith (1983), Stearns and Hush (1990), Kulhánek (1976), и Jenkins and Watts (1968).

### 2.1.1 Определения

Для целей настоящей главы используются следующие определения:

**Дискретные измерения.** Процесс получения дискретной последовательности измерений какой-либо величины.

**Отсчет.** Единичное измерение, обычно одно из серии отдельных отсчетов, выполняемой системой датчиков. Заметим, что это определение отличается от объяснения, принятого в статистике, т. е. множество чисел или измерений, которое является частью совокупности.

**Наблюдение.** Результат процесса дискретных измерений, который сообщается или регистрируется (часто также называется измерением). В контексте анализа временных рядов результат наблюдения получают на основании ряда отсчетов.

**Измерение, согласно определению ИСО.** «Комплекс операций, имеющих целью определить значение какой-либо величины». В повседневном использовании под этим термином может подразумеваться значение либо отсчета, либо результата наблюдения.

**Время дискретных измерений или период наблюдения.** Продолжительность времени, за которое производится одно наблюдение, в течение которого выполняется ряд отдельных отсчетов.

**Интервал дискретных измерений.** Время между последовательными наблюдениями.

**Функция дискретизации или весовая функция.** В простейшем определении это алгоритм осреднения или фильтрации отдельных отсчетов.

**Частота дискретных измерений.** Частота, с которой выполняются отсчеты.

**Дискретность по времени.** Время между отдельными отсчетами.

**Сглаживание.** Процесс ослабления высокочастотных составляющих спектра без существенного влияния на более низкие частоты. Оно обычно производится для устранения шума (случайных ошибок и флуктуации, не нужных для применения).

**Фильтр.** Цифровой алгоритм, предназначенный для ослабления, усиления или выделения определенных частот. Сглаживание осуществляется с помощью фильтра *низких частот*, и термины *сглаживание* и *фильтрация* в этом смысле часто используются равноценно. Однако существуют также фильтры *высоких частот* и *полосовые* фильтры. Фильтрация может быть свойством прибора, как, например, инерция, или может осуществляться электронными или численными методами.

### 2.1.2 Репрезентативность во времени и пространстве

Дискретные наблюдения производятся с ограниченной скоростью, в течение ограниченных интервалов времени на ограниченной площади. На практике наблюдения должны планироваться достаточно частыми, чтобы быть репрезентативными для неохваченных измерениями интервалов времени и областей пространства, и во многих случаях они считаются таковыми для больших интервалов времени и площадей.

Пользователь данных наблюдений ожидает от них репрезентативности или типичности для района, срока и интервала времени. Таким районом, например, может быть аэропорт или область в радиусе нескольких километров от наблюдателя, легко обозреваемая им. Срок — это время, в которое сделана запись или передано сообщение, а интервал — согласованная величина, часто составляющая 1, 2 или 10 мин.

Для того чтобы добиться репрезентативности наблюдений, датчики размещаются на стандартных высотах и на свободных от препятствий местах, а отсчеты обрабатываются для получения средних значений. В некоторых случаях датчикам, например, трансмиссометрам, свойственно пространственное осреднение, что способствует репрезентативности наблюдений. Другим примером является наблюдение за видимостью, производимое наблюдателем. Однако далее в этой главе мы не будем касаться дискретных измерений в пространстве и сосредоточим внимание на дискретизации во времени при измерениях, выполняемых в какой-либо точке.

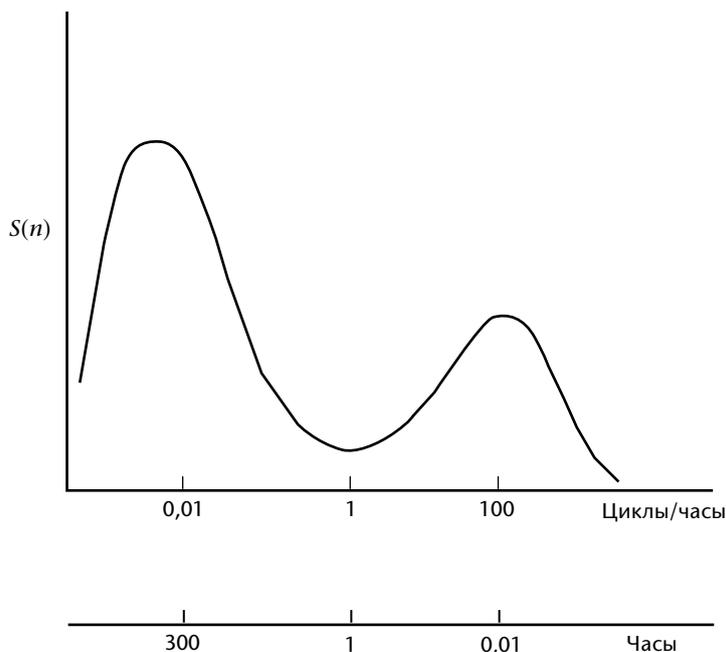
Типичным примером дискретных измерений и осреднения по времени является измерение температуры каждую минуту (отсчет), расчет 10-минутных средних значений (интервал дискретных измерений и функция дискретизации) и передача этих средних значений (наблюдения) в синоптической сводке каждые три часа. Когда эти наблюдения собраны за некоторый период времени с одной и той же станции, они сами становятся отсчетами в новой временной последовательности с трехчасовым промежутком. Собранные по большому количеству станций, эти наблюдения также становятся отсчетами уже в пространственной последовательности. В этом смысле репрезентативные наблюдения являются также репрезентативными отсчетами. В настоящей главе мы обсудим исходные наблюдения.

### 2.1.3 Спектры атмосферных величин

Применяя математическую операцию, известную как преобразование Фурье, для нерегулярной по времени (или по пространству) функции, можно получить ее спектр, являющийся суммой большого количества гармонических колебаний со своей собственной амплитудой, длиной волны (или периодом, или частотой) и фазой. В широком понимании эти длины волн (или частоты) определяют «масштабы» или «масштабы движения» в атмосфере.

Диапазон этих масштабов в атмосфере ограничен. На одном конце спектра горизонтальные масштабы не могут превысить длины окружности Земли, т. е. около 40 000 км. Для метеорологических целей вертикальные масштабы не превышают нескольких десятков километров. Во временном измерении, однако, наибольшие масштабы являются климатологическими и, в принципе, неограниченными, но на практике самый длительный период не превышает длины наших рядов наблюдений. На другом конце спектра вязкая диссипация турбулентной энергии в тепло устанавливает нижнюю границу. Вблизи поверхности земли эта граница имеет длину волны в несколько сантиметров и увеличивается с высотой до нескольких метров в стратосфере. Во временном измерении эти длины волн соответствуют частотам в десятки герц. Правильнее будет сказать, что атмосферные переменные заключены в ограниченной полосе частот.

На рисунке 2.1 схематически представлен спектр метеорологической величины, например ветра, измеренной на конкретной станции. Ордината, часто называемая энергетической или спектральной плотностью, связана с изменчивостью флуктуации



**Рис. 2.1. Типичный спектр колебаний метеорологической величины**

ветра на каждой частоте  $n$ . Спектр на рисунке 2.1 имеет минимум энергетической плотности в мезомасштабе вблизи одного колебания в час, между пиками в синоптическом масштабе — около одного колебания за четыре дня и в микромасштабе — около одного колебания в минуту. Наименьшие длины волн составляют несколько сантиметров, а самые большие частоты — десятки герц.

## 2.2 ВРЕМЕННЫЕ РЯДЫ, СПЕКТРЫ МОЩНОСТИ И ФИЛЬТРЫ

В этом разделе для неспециалистов вводятся понятия анализа временных рядов, которые являются основой для полезного применения в дискретных измерениях. В контексте настоящего Руководства они особенно важны для измерения ветра, но такие же задачи возникают и при измерении температуры, давления и других величин. Они приобрели значение для регулярных метеорологических измерений при внедрении автоматизации измерений, поскольку стали возможными более частые отсчеты. Серьезные ошибки могут возникать в оценках средних, экстремальных значений и всего спектра, если системы неправильно спроектированы.

Измерения спектра являются нерегулярными, но имеют множество применений. Спектр ветра имеет важное значение в строительстве, определении дисперсии, диффузии и динамических характеристик атмосферы. Вместе с тем, описанные здесь понятия используются для количественного анализа спутниковых данных (в горизонтальном пространственном измерении), а также в климатологии и микрометеорологии.

В кратком изложении рассуждение сводится к следующему:

- а) оптимальную частоту отдельных отсчетов можно оценить, исходя из рассмотрения изменчивости измеряемой величины. Оценки средних значений и других статистических характеристик наблюдений будут обладать меньшей неопределенностью с увеличением частоты отсчетов, а именно, при большем количестве отсчетов;

- b) теорема Найквиста устанавливает, что непрерывно изменяющуюся величину можно точно определить с помощью серии дискретных равномерно распределенных отсчетов при условии, что они расположены достаточно близко друг к другу и измерены абсолютно точно;
- c) если частота отдельных отсчетов слишком мала, то колебания на более высоких неизмеряемых частотах (выше частоты Найквиста, определенной в 2.2.1 ниже) скажутся на оценке среднего значения. Они также будут влиять на расчет более низких частот, в результате чего вычисленный спектр окажется неправильным. Это известно как эффект наложения частот. Он может вызвать серьезные ошибки, если его не учитывать при проектировании систем;
- d) наложения частот можно избежать, если отсчеты выполнять более часто или осуществить фильтрацию, что позволит использовать более низкую и более удобную частоту отсчетов;
- e) фильтры могут быть цифровыми или аналоговыми. Датчик с достаточно продолжительным временем отклика действует как фильтр.

Для полного понимания дискретных измерений необходимо располагать знаниями о спектрах мощности, теореме Найквиста, фильтрации и инерционности приборов. Это весьма специальная тема, требующая понимания характеристик используемых датчиков, способов формирования, обработки и регистрации выходных сигналов датчиков, физических свойств измеряемых элементов и цели, для которой анализируются данные. Это, в свою очередь, может потребовать специальных знаний в области физических принципов действия приборов, теории электронных или других систем, используемых для согласования и регистрации, математических, статистических характеристик и метеорологических условий возникновения явлений; все это выходит за рамки настоящей главы.

Однако неспециалист сможет понять принципы полезного применения при измерении средних и экстремальных значений и представить проблемы, связанные с измерениями спектров.

### 2.2.1 Анализ временных рядов

Необходимо рассмотреть сигналы, принадлежащие либо временной, либо частотной области. Основной идеей, лежащей в основе спектрального анализа, является понятие преобразования Фурье. Функцию  $f(t)$ , определенную между  $t = 0$  и  $t = \tau$ , можно разложить на сумму гармонических составляющих:

$$f(t) = \sum_{j=0}^{\infty} [A_j \sin(j\omega t) + B_j \cos(j\omega t)] \quad (2.1)$$

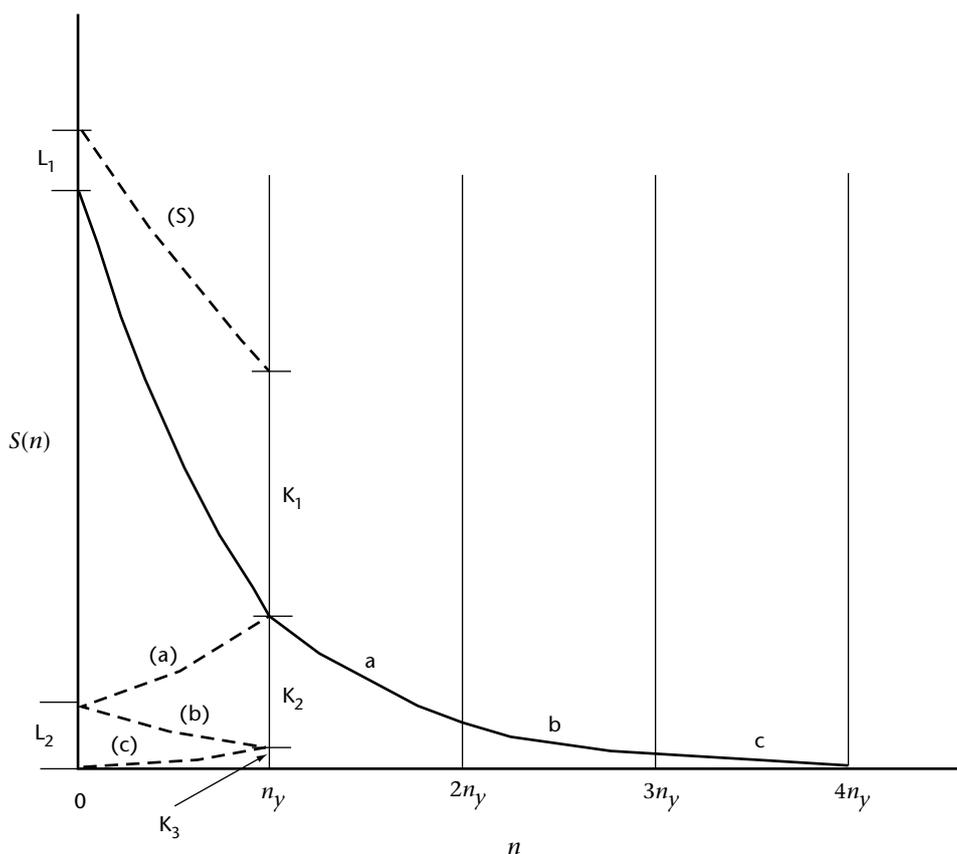
где  $\omega = 2\pi/\tau$ . Правая часть уравнения представляет собой ряд Фурье.  $A_j$  и  $B_j$  — амплитуды составляющих на частотах  $n_j = j\omega$ . Это является основным преобразованием между временной и частотной областью. Коэффициенты Фурье  $A_j$  и  $B_j$  относятся непосредственно к частоте  $j\omega$  и их можно рассматривать как спектральные составляющие для  $f(t)$  на этих частотах. Если известна частотная характеристика прибора, т. е. как он усиливает или ослабляет определенные частоты, а также если известно, каков вклад составляющих на этих частотах в первоначальном сигнале, то можно рассчитать влияние частотной характеристики на выходной сигнал. Вклад составляющей на каждой частоте характеризуется двумя параметрами. Наиболее удобно их выразить в виде амплитуды и фазы частотной составляющей. Таким образом, если уравнение 2.1 записать в иной форме:

$$f(t) = \sum_{j=0}^{\infty} \alpha_j \sin(j\omega t + \phi_j) \quad (2.2)$$

то амплитудой и фазой, определяющими каждую спектральную составляющую, будут  $\alpha_j$  и  $\phi_j$ . Обе могут изменяться при дискретных измерениях и обработке.

До сих пор предполагалось, что функция  $f(t)$  непрерывна во всем ее интервале от  $t = 0$  до  $t = \tau$ . На самом деле в большинстве случаев это не так; метеорологическая переменная измеряется в дискретных точках временного ряда, представляющего собой  $N$  отсчетов, равномерно распределенных с интервалом  $\Delta t$ , в течение определенного периода  $\tau = (N-1)\Delta t$ . Предполагается, что отсчеты производятся мгновенно; это предположение, строго говоря, неверно, поскольку всем измерительным устройствам требуется некоторое время для определения значения, которое они измеряют. В большинстве случаев это время невелико по сравнению с интервалом между отсчетами  $\Delta t$ . Даже если это не так, время отклика измерительной системы может быть учтено при анализе, хотя этот вопрос здесь не рассматривается.

Если проанализировать данные, полученные при отсчетах синусоидальной функции с интервалом времени  $\Delta t$ , то можно видеть, что самая высокая выделяемая частота равна  $1/(2\Delta t)$  и что на самом деле любая более высокочастотная синусоида, присутствующая во временном ряде, представлена в данных как имеющая более низкую частоту. Частота  $1/(2\Delta t)$  называется частотой Найквиста и обозначается здесь как  $n_y$ . Частоту Найквиста иногда называют частотой сгиба. Этот термин вытекает из рассмотрения эффекта наложения частот данных. Схематически это понятие отражено на рисунке 2.2. Когда проводится спектральный анализ временного ряда, то в связи с дискретным



**Рисунок 2.2.** Схематическая иллюстрация сглаживания спектра, вычисленного по данным стационарных временных рядов. Спектр может быть вычислен лишь в диапазоне частот от нуля до частоты Найквиста  $n_y$ . Истинные значения энергии в области более высоких частот показаны в секторах, обозначенных литерами а, б и с. Они заключены внутри сектора от  $n = 0$  до  $n_y$ , как это показано ломаными линиями (а), (б), (с). Вычисленный спектр, представленный пунктирной ломаной линией (S), включает в себя их сумму.

характером данных составляющая оценки на частоте  $n$  также содержит составляющие от более высоких частот, а именно от  $2jn_y \pm n$  ( $j = 1$  to  $\infty$ ). Один из способов наглядного представления этого состоит в том, чтобы рассматривать частотную характеристику как будто бы она сложена подобно гармошке при  $n = 0$  и  $n = n_y$  и т. д. с шагом  $n_y$ . Спектральная оценка на каждой частоте диапазона представляет собой сумму всех составляющих следующих за ней более высоких частот.

Практические следствия эффекта наложения частот описываются в 2.4.2. Это довольно сложная проблема, которая должна учитываться при проектировании измерительных систем. Ее можно решить путем минимизации или сведения до нуля мощности сигнала на частотах выше  $n_y$ . Для достижения этого имеется несколько способов. Во-первых, система может содержать фильтр нижних частот, который ослабляет составляющие на частотах выше  $n_y$ , прежде чем сигнал переводится в цифровую форму. Единственный недостаток этого подхода заключается в том, что время и величина быстрых изменений не будут достоверно зарегистрированы или даже не будут отмечены совсем. Второй подход состоит в том, чтобы иметь достаточно малый  $\Delta t$ , так чтобы компоненты с частотами выше частоты Найквиста были бы незначительными. Это можно выполнить, так как спектры большинства метеорологических переменных очень быстро затухают на очень высоких частотах. Однако этот второй подход не всегда практически осуществим: так, при трехчасовом измерении температуры, если  $\Delta t$  составляет порядка нескольких часов, мелкомасштабные колебания порядка минут или секунд могут иметь относительно большие спектральные ординаты и приводить к сильно выраженному эффекту наложения. В таком случае предпочтителен первый метод.

### 2.2.2 Измерение спектра

Спектральная плотность, по крайней мере по ее оценкам на основании временных рядов, определяется как:

$$S(n_j) = (A_j^2 + B_j^2) / n_y = \alpha_j^2 / n_y \quad (2.3)$$

Следует отметить, что в данном случае фаза не имеет значения.

Спектр изменяющейся величины может измеряться несколькими способами. В электротехнике в прошлом он часто определялся путем пропускания сигнала через полосовые фильтры и измерения выходной мощности. Затем она приводилась к мощности на центральной частоте фильтра.

Имеется несколько способов осуществления численного спектрального анализа временных рядов. Наиболее очевидным является прямое преобразование Фурье для временных рядов. В этом случае, поскольку ряды имеют ограниченную длину, будет существовать только конечное число частотных составляющих в разложении. Если имеется  $N$  членов во временном ряду, то в результате такого анализа будет  $N/2$  частот. Прямые расчеты чрезвычайно трудоемки, поэтому были разработаны другие методы. Первая разработка принадлежала Blackman and Tukey (1958), которые установили связь автокорреляционной функции с оценками различных спектральных функций. (Автокорреляционная функция  $r(t)$  — это коэффициент корреляции, рассчитанный между членами временного ряда, разделенными временным интервалом  $t$ ). Этот метод применялся на маломощной вычислительной технике 1950-х и 1960-х годов, но в настоящее время его повсеместно вытеснило так называемое быстрое преобразование Фурье (БПФ), которое использует преимущество основных свойств цифровых вычислительных машин — значительно ускорять расчеты. Главное ограничение этого метода состоит в том, что временной ряд должен содержать  $2^k$  членов, где  $k$  — целое число. В целом, это не является серьезной проблемой, поскольку в большинстве случаев имеется достаточно данных для соответствующей организации рядов такой длины. С другой стороны, некоторые компьютерные программы БПФ могут использовать произвольное количество членов и добавлять расчетные данные для того, чтобы довести его до  $2^k$ .

Поскольку временной ряд имеет конечную длину ( $N$ -членов), он представляет только отсчет интересующего нас сигнала. Таким образом, коэффициенты Фурье являются лишь оценочными. Для повышения надежности, как правило, осредняют несколько членов с каждой стороны конкретной частоты и присваивают это среднее значению данной частоте. Доверительный интервал оценки при этом сокращается. Согласно эмпирическому правилу, удовлетворительным количеством для практических целей является 30 степеней свободы. Поэтому, поскольку каждая оценка, проводимая с помощью преобразования Фурье, имеет две степени свободы (связанные с коэффициентами синусных и косинусных членов), как правило, осредняется около 15 членов. Отметим, что если используется подход БПФ, то лучшим числом является 16, поскольку оно равно  $2^4$ , и в этом случае имеется точно  $2^k/2^4 (= 2^{k-4})$  спектральных оценок; например, если во временном ряде имеется 1 024 члена (и потому  $k = 10$ ), то будет 512 оценок  $A_s$  и  $B_s$  и 64 ( $= 2^{10-4}$ ) сглаженные оценки.

Вышеуказанные приемы анализа все более широко входят составной частью в метеорологические системы и пригодны не только для анализа данных. Точная форма спектров, встречающихся в метеорологии, может иметь разнообразие очертания. Как представляется, они могут включать составляющие от самых низких частот, отражающих изменение климата, годовые и сезонные составляющие, определяемые синоптическими явлениями с периодами в несколько дней, до суточных или полусуточных составляющих и локальных мезомасштабных явлений и вплоть до турбулентных и молекулярных флуктуаций. Для большинства метеорологических применений, включая синоптический анализ, интерес представляет диапазон периодов от минут до секунд. Спектр на этих частотах, как правило, очень быстро затухает с частотой. За период менее 1 мин, спектр часто принимает значения пропорционально  $n^{-5/3}$ . Таким образом, часто сравнительно мал вклад частот выше 1 Гц.

Одно из важных свойств спектра состоит в том, что:

$$\sum_{j=0}^{\infty} S(n_j) = \sigma^2 \quad (2.4)$$

где  $\sigma^2$  — это дисперсия измеряемой величины. Для анализа часто удобно выразить спектр в непрерывной форме так, чтобы уравнение 2.4 имело вид:

$$\int_0^{\infty} S(n) dn = \sigma^2 \quad (2.5)$$

Из уравнений 2.4 и 2.5 можно видеть, что изменения в спектре, вызываемые, например, измерительной системой, будут влиять на значения  $\sigma^2$  и, следовательно, статистические свойства выходного сигнала по отношению к входному. Это может иметь важное значение при проектировании приборов и анализе данных.

Отметим также, что левая сторона уравнения 2.5 представляет собой площадь под кривой, представленной на рисунке 2.2. Эта площадь и, следовательно, дисперсия не меняется под влиянием наложения частот, если временной ряд является стационарным, т. е. если его спектр не меняется от одного периода времени к другому.

### 2.2.3 Инерция измерительной системы

Датчики, а также электронные схемы, которые могут использоваться вместе с ними, составляют измерительную систему, обладающую определенным временем отклика и фильтрационными характеристиками, влияющими на результаты наблюдений.

Ни одна метеорологическая измерительная система, или любая измерительная система аналогичного характера, не дает абсолютно точного отображения исследуемого процесса. Как правило, не существует простых способов описания отклика системы, хотя имеются некоторые приемлемые ее аппроксимации. Наиболее просто их можно подразделить на звенья первого и второго порядка. Речь идет о порядке дифференциального

уравнения, которое используется для аппроксимации характера отклика. Подробное рассмотрение описанных ниже понятий имеется во многих учебниках физики и в литературе (см. MacCready and Jex, 1964).

В системе первого порядка, такой как простой датчик или простейшая цепь фильтра нижних частот, скорость изменения значений, отмечаемых прибором, прямо пропорциональна разности между значением, регистрируемым прибором, и истинным значением переменной. Таким образом, если истинное значение в момент времени  $t$  равно  $s(t)$ , а значение, измеренное датчиком, равно  $s_0(t)$ , то система описывается дифференциальным уравнением первого порядка:

$$\frac{ds_0(t)}{dt} = \frac{s(t) - s_0(t)}{T_I} \quad (2.6)$$

где  $T_I$  — постоянная, имеющая размерность времени, характеризующая систему. Отклик системы первого порядка на ступенчатую функцию пропорционален  $\exp(-t/T_I)$ , а  $T_I$  — это время, которое требуется системе для достижения 63 % установившегося показания после ступенчатого изменения. Уравнение 2.6 справедливо для многих датчиков, например термометров.

Чашечный анемометр является прибором первого порядка, обладающим особым свойством — непостоянством  $T_I$ . Она изменяется с изменением скорости ветра. Фактически параметр  $s_0 T_I$  называется путем синхронизации, т. к. он является почти постоянным. Как можно видеть в этом случае, уравнение 2.6 более не является простым уравнением первого порядка, поскольку теперь оно нелинейно и, следовательно, имеются серьезные трудности в его решении. Дополнительная проблема состоит в том, что  $T_I$  часто зависит от того, ускоряется или замедляется вращение чашек, т. е. положительна или отрицательна правая часть уравнения. Это объясняется тем, что аэродинамический коэффициент сопротивления для чашки, обращенной к потоку вогнутостью, больше, чем обращенной выпуклостью.

Флюгер представляет собой приближенно систему второго порядка, поскольку ускорение его поворота в положение, совпадающее с истинным направлением ветра, пропорционально отклонению флюгера от этого истинного направления. Это, конечно, соответствует классическому описанию колебательного процесса (например, маятника). Флюгеры обладают естественным и конструктивным демпфированием. Это происходит по причине силы сопротивления, пропорциональной скорости изменения и действующей в противоположном ей направлении. Таким образом, дифференциальное уравнение, описывающее движение флюгера, имеет вид:

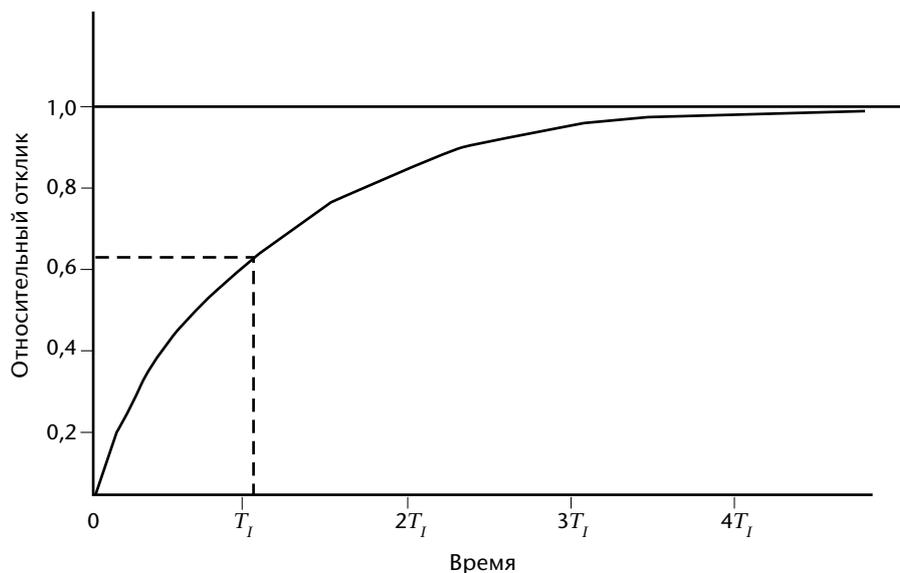
$$\frac{d^2\phi_0(t)}{dt^2} = k_1 [\phi_0(t) - \phi(t)] - k_2 \frac{d\phi_0(t)}{dt} \quad (2.7)$$

где  $\phi$  — истинное направление ветра;  $\phi_0$  — направление ветра по флюгеру;  $k_1$  и  $k_2$  — константы. Решением этого уравнения является затухающее колебание с собственной частотой колебаний флюгера (определяется константой  $k_1$ ). Демпфирование, разумеется, имеет очень важное значение; оно определяется константой  $k_2$ . Если оно слишком мало, то флюгер будет просто колебаться с собственной частотой, а если слишком велико, то флюгер не будет реагировать на изменения в направлении ветра.

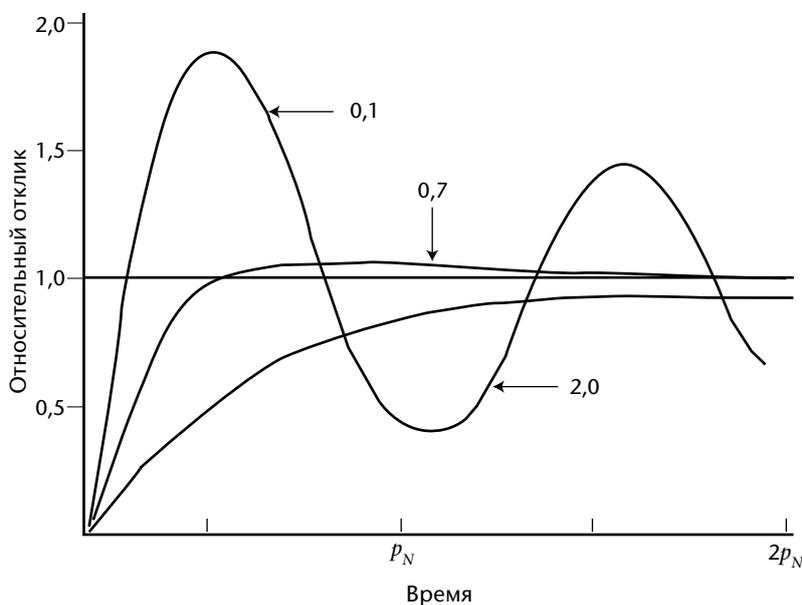
Полезно рассмотреть, как эти две системы реагируют на ступенчатое изменение входного сигнала, поскольку это пример реакции приборов в реальных условиях. Для такого входного сигнала уравнения 2.6 и 2.7 можно решить аналитически. Реакция систем показана на рисунках 2.3 и 2.4. Отметим, что ни в одном из случаев системой не измеряется истинное значение элемента. Кроме того, выбор значений констант  $k_1$  и  $k_2$  может оказать большое влияние на выходной сигнал.

Важным свойством измерительной системы является ее амплитудно-частотная характеристика или передаточная функция  $H(n)$ . Эта функция показывает долю спектра, которая передается системой. Ее можно определить как:

$$S(n)_{out} = H(n)S(n)_{in} \quad (2.8)$$



**Рисунок 2.3. Отклик системы первого порядка на ступенчатую функцию. К моменту времени  $T_1$  в системе достигается 63 % от конечного значения воздействующей величины.**



**Рисунок 2.4. Отклик системы второго порядка на ступенчатую функцию.  $p_N$  — это естественный период, связанный с  $k_1$  в уравнении 2.7, который для флюгера зависит от скорости ветра. Кривые представлены для коэффициентов демпфирования со значениями 0,1 (очень слабое демпфирование), 0,7 (критическое демпфирование, оптимальное для большинства приложений) и 2,0 (сильное демпфирование). Коэффициент демпфирования относится к  $k_2$  в уравнении 2.7.**

где знаки в нижнем индексе относятся к входному и выходному спектрам. Отметим, что согласно соотношению в уравнении 2.5, дисперсия выходного сигнала зависит от  $H(n)$ .  $H(n)$  определяет действие датчика как фильтра, о чем говорится в следующем разделе. Способы ее расчета или измерения описаны в 2.3.

### 2.2.4 Фильтры

В этом разделе обсуждаются свойства фильтров с примерами их возможного влияния на данные.

Фильтрация представляет собой обработку временных рядов (либо непрерывных, либо дискретных, т. е. в виде отсчетов) таким образом, что значение, отнесенное к данному моменту времени, отягощено значениями, которые имели место в другие моменты времени. В большинстве случаев эти моменты времени будут находиться по соседству с данным моментом времени. Например, в дискретном временном ряде из  $N$  отсчетов, пронумерованных от 0 до  $N$ , со значениями  $y_i$ , значение отфильтрованного наблюдения  $\bar{y}_i$  может быть определено по формуле:

$$\bar{y}_i = \sum_{j=-m}^m w_j y_{i+j} \quad (2.9)$$

Здесь в фильтре имеется  $2m + 1$  членов, пронумерованных с помощью фиктивной переменной  $j$  от  $-m$  до  $+m$ , а  $\bar{y}_i$  — расположен в центре при  $j = 0$ . Некоторые данные отбрасываются в начале и конце периода измерения;  $w_j$  в основном известна как весовая функция и обычно:

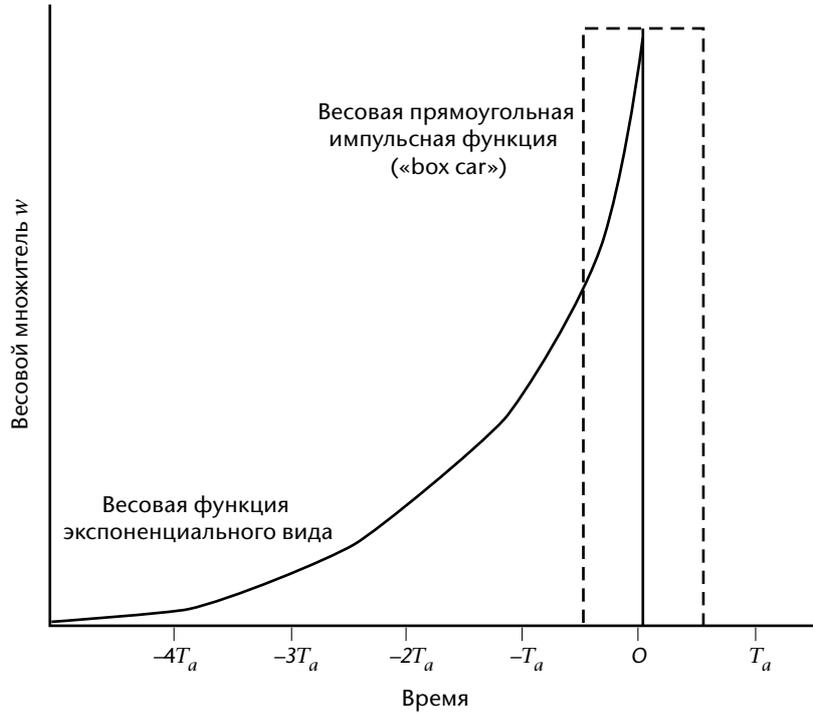
$$\sum_{j=-m}^m w_j = 1 \quad (2.10)$$

так что, по крайней мере, среднее значение отфильтрованного ряда будет таким же, как до фильтрации.

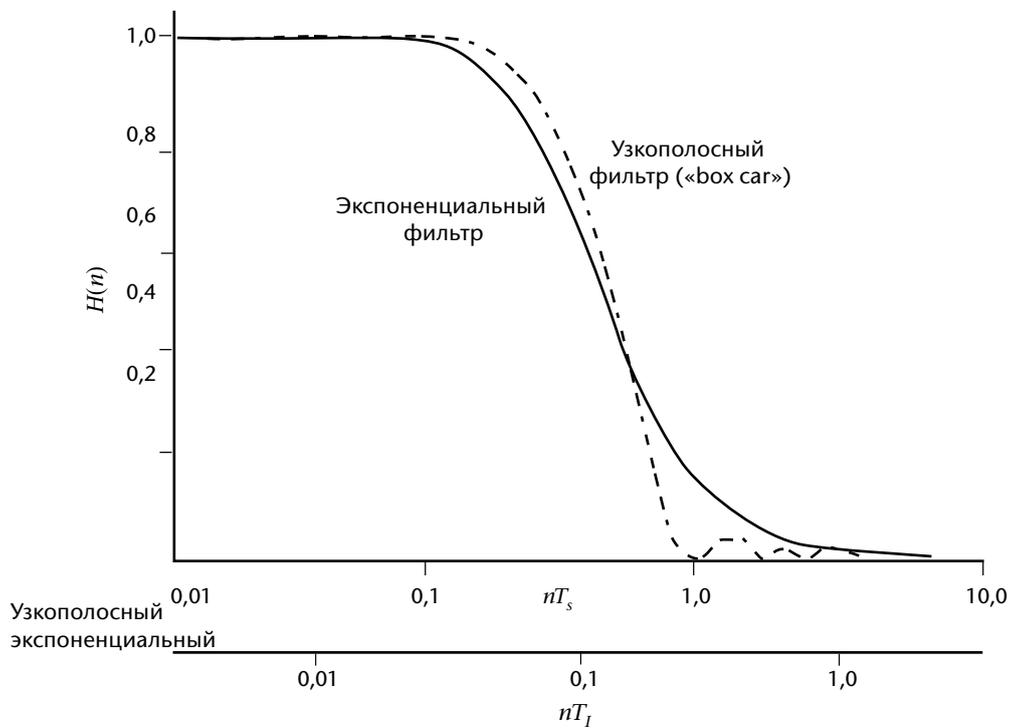
В вышеприведенном примере применяется цифровая фильтрация. Аналогичных эффектов можно достигнуть, используя электронные схемы (например, с помощью резистивно-емкостной цепи) или с помощью характеристик датчика (например, как в случае описанного выше анемометра). Как цифровой, так и аналоговый фильтр характеризуется величиной  $H(n)$ . Если цифровой,  $H(n)$  может быть рассчитана, если аналог, она может быть получена методами, описанными в 2.3.

К примеру, сравним систему первого порядка с временем отклика  $T_r$  и «блок узкополосных» фильтров с периодом  $T_s$  на дискретном временном ряде, полученном с датчика с более быстрым откликом. Весовые функции этих двух фильтров показаны на рисунке 2.5. В первом случае прибор как бы обладает памятью, которая наиболее выражена в настоящий момент, но экспоненциально падает быстрее для более ранних данных. Блок узкополосных фильтров имеет все веса одинакового значения в течение периода  $T_s$ , и равные нулю за его пределами. Амплитудно-частотные характеристики  $H(n)$  для этих двух фильтров показаны на рисунке 2.6.

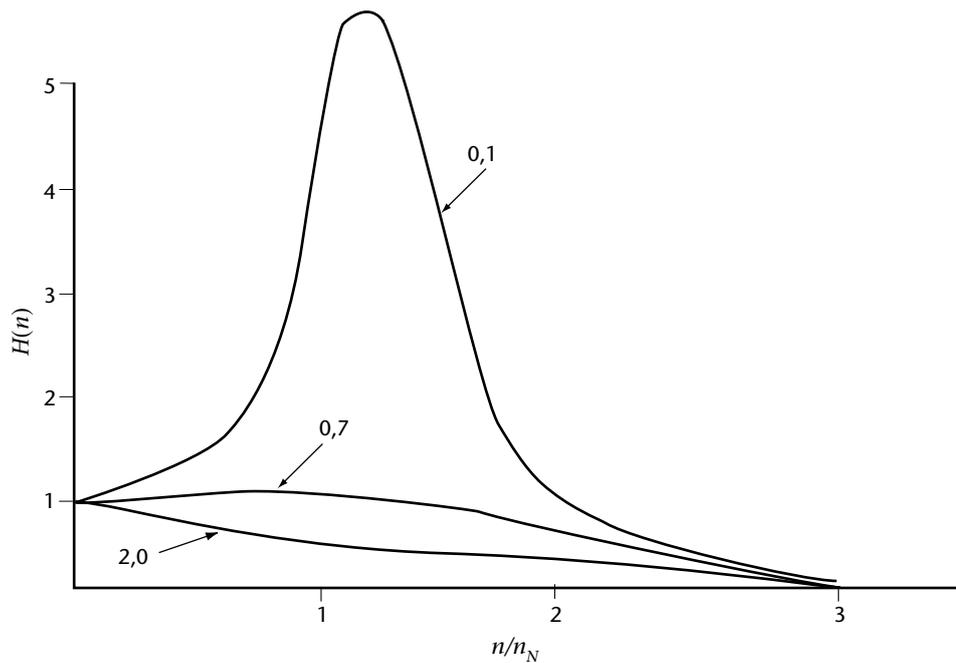
На этом рисунке частоты приведены в разных шкалах, с тем чтобы продемонстрировать аналогичность двух частотных характеристик. Он показывает, что прибор с временем отклика, скажем, в 1 с, оказывает приблизительно такое же влияние на входной сигнал, как блок узкополосных фильтров, действующий в течение 4 с. Однако следует отметить, что блок узкополосных фильтров, который рассчитывается численным образом, работает необычно. Он не удаляет все более высокие частоты, выходящие за частоту Найквиста, и может быть с уверенностью использован только тогда, когда спектр быстро затухает выше  $n_y$ . Отметим, что кривая для блока узкополосных фильтров, показанная на рисунке 2.6, является аналитическим решением для  $w$  как непрерывной функции; если количество отсчетов в фильтре мало, то отсечение становится менее резким, а нежелательные пики на более высоких частотах — более явными.



**Рисунок 2.5.** Весовые множители для весовой функции первого порядка (экспоненциальной) и весовой прямоугольной импульсной функции («box car»). Для «box car»  $T_a$  — это  $T_s$ , т. е. время выборки, и  $w = 1/N$ . Для функции первого порядка  $T_a$  — это  $T_f$ , т. е. постоянная времени фильтра, и  $w(t) = (1/T_f) \exp(-t/T_f)$ .



**Рисунок 2.6.** Частотные функции отклика для весовой функции первого порядка (экспоненциальной) и весовой функции типа «box car». Частота нормирована относительно постоянной времени  $T_s$  для фильтра первого порядка и относительно времени выборки  $T_s$  для фильтра типа «box car».



**Рисунок 2.7.** Частотные функции отклика для системы второго порядка, такой как флюгер. Частота нормирована относительно естественной частоты  $n_N$ , которая зависит от скорости ветра. Кривые построены для коэффициента демпфирования со значениями 0,1 (малодемпфированная), 0,7 (критическое демпфирование, оптимальное для большинства приложений) и 2,0 (сильное демпфирование).

Практические сведения о блоках узкополосных фильтров и экспоненциальной фильтрации, а также сравнение их действия содержатся в работе Acheson (1968).

На рисунке 2.7 приведена функция отклика системы второго порядка, в данном случае флюгера, которая показывает, как демпфирование действует в качестве полосового фильтра.

Можно видеть, что обработка сигналов с помощью систем способна оказать значительное влияние на выходные данные и поэтому должна производиться квалифицированно.

Одним из воздействий фильтров является их способность изменять статистические свойства данных. Этому вопросу мы касались ранее, рассматривая уравнения 2.5 и 2.8. Уравнение 2.5 показывает, как по интегралу спектра по всем частотам определяется дисперсия временного ряда, тогда как из уравнения 2.8 видно, что фильтрация, описываемая передаточной функцией, будет изменять измеряемый спектр. Отметим, что дисперсия не всегда уменьшается при фильтрации. Например, в некоторых случаях для системы второго порядка передаточная функция будет усиливать части спектра и, возможно, увеличивать дисперсию, как показано на рисунке 2.7.

Обратимся еще к одному примеру: для распределения Гаусса дисперсия является полезным параметром. Если бы она уменьшалась при фильтрации, то пользователь данных недооценил бы отклонение от средних значений для явлений с заданными вероятностями или периодами временного ряда.

Конструкция цифрового фильтра также может привести к нежелательным или неожиданным эффектам. Из рисунка 2.6 можно видеть, что частотная характеристика для блока узкополосных фильтров имеет серию максимумов на частотах выше той, на которой она в первый раз достигает нуля. Это будет придавать отфильтрованным данным небольшую периодичность на этих частотах. В данном случае эффект будет минимальным, поскольку максимумы невелики. Однако некоторые конструкции фильтров могут вносить

довольно значительные максимумы. При этом действует эмпирическое правило: чем меньше количество весов, тем сложнее проблема. В некоторых случаях периодичность в данных существует только потому, что они проходили фильтрацию.

Одним из вопросов, связанных с фильтрами, является длительность отсчетного ряда. Это можно проиллюстрировать, отметив, что если ряд имеет длину  $T$ , то составляющих изменчивости данных на частотах ниже  $1/T$  не будет. Можно показать, что конечная длина ряда обладает свойством фильтра верхних частот. Как и фильтры нижних частот, описанные выше, фильтр верхних частот также будет оказывать воздействие на статистические характеристики выходных данных.

### 2.3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМЫ

Характеристики фильтрации для датчика или электронной схемы, или системы, в которую они входят, должны быть известны, чтобы подобрать адекватные частоты отсчетов, образующих временные ряды, создаваемые данной системой. Процедура заключается в экспериментальном определении передаточной функции или амплитудно-частотной характеристики  $H(n)$  в уравнении 2.8.

Передаточная функция может быть получена, по крайней мере, тремя способами: путем прямых измерений, посредством расчетов и с помощью оценок.

#### 2.3.1 Прямое измерение отклика

Отклик можно измерить непосредственно, по крайней мере, двумя способами. При первом к датчику или фильтру применяется известное изменение, например ступенчатая функция, и измеряется его время отклика; затем можно вычислить  $H(n)$ . При втором способе сравниваются выходные сигналы испытываемого датчика и другого, более быстродействующего датчика. Первый способ используется более широко, чем второй.

Простым примером определения отклика датчика на известный входной сигнал является измерение пути синхронизации вращающегося чашечного или пропеллерного анемометра. В этом примере известным входным сигналом является ступенчатая функция. Анемометр помещают в поток воздуха постоянной скорости, удерживая его от вращения, а затем отпускают вращающуюся часть и регистрируют выходной сигнал. Время, которое требуется для увеличения выходного сигнала от 0 до 63 % его окончательной или иначе установившейся скорости в воздушном потоке, является постоянной времени (см. 2.2.3).

Если имеется другой датчик, который реагирует гораздо быстрее, чем тот, чей отклик необходимо определить, то можно с достаточным приближением измерить и сравнить входной и выходной сигналы обоих датчиков. Наиболее удобным устройством для проведения такого сравнения является, по-видимому, современный двухканальный цифровой анализатор спектра. Выходной сигнал быстродействующего датчика вводится в один его канал, а выходной сигнал испытываемого датчика — в другой, и анализатор автоматически отображает передаточную функцию. Она же непосредственно характеризует датчик как фильтр. Если устройство, передаточную функцию которого необходимо определить, является электронной схемой, то сформировать известный или даже истинно случайный входной сигнал гораздо легче, чем искать более быстродействующий датчик. И в этом случае современный двухканальный цифровой анализатор спектра, вероятно, наиболее удобен, хотя могут применяться и другие электронные испытательные приборы.

### 2.3.2 **Определение отклика расчетным путем**

Это метод описан в 2.2.3. Если, например, известны физические характеристики датчика/фильтра, то его отклик на разнообразные входные сигналы можно определить либо аналитически, либо численным решением. Могут быть рассчитаны как отклик на конкретные входные сигналы, например на ступенчатую функцию, так и передаточная функция. Если датчик или схема линейны (т. е. описываются линейными дифференциальными уравнениями), то передаточная функция содержит полное описание амплитуды и фазы отклика как функции частоты, другими словами, как фильтра. Рассматривать отклик как функцию частоты не всегда удобно, но поскольку передаточная функция эквивалентна преобразованию Фурье, то импульсную частотную характеристику, которая представляет отклик как функцию времени, использовать намного легче. Это иллюстрируют рисунки 2.3 и 2.4, которые интерпретируют отклик как функцию времени.

Предпочтение отдается аналитическим решениям, если они достижимы, поскольку они четко показывают зависимость от различных параметров.

### 2.3.3 **Оценка отклика**

Если известны передаточные функции преобразователя и каждой последующей схемы, то передаточной функцией всей системы является их произведение. Если, как в обычном случае, передаточные функции характеризуют фильтры нижних частот, то совокупная передаточная функция описывает фильтр нижних частот, частота среза которого меньше, чем любого из отдельных фильтров.

Если одна из отдельных частот среза гораздо меньше любой другой, то совокупная частота среза будет лишь ненамного меньше.

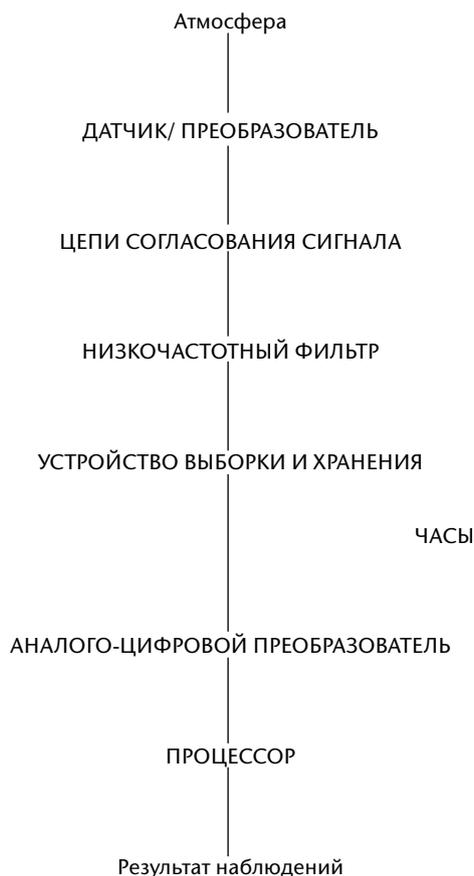
Частота среза фильтра нижних частот приблизительно равна обратному значению его постоянной времени, следовательно, если одно из конкретных значений существенно больше любого другого, то результирующая постоянная времени будет лишь ненамного больше.

## 2.4 **ДИСКРЕТНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ**

### 2.4.1 **Методика проведения дискретных измерений**

На рисунке 2.8 схематически показан типовой датчик и отражена последовательность проведения дискретных измерений. Под воздействием атмосферных условий некоторые характеристики преобразователя изменяются вместе с атмосферной переменной, такой как температура, давление, скорость и направление ветра, и происходит превращение этой переменной в полезный, как правило, электрический сигнал. Схемы формирования сигнала обычно выполняют такие функции, как преобразование выходного сигнала преобразователя в напряжение, усиление, линеаризация, компенсация и сглаживание. Фильтр нижних частот выполняет окончательное преобразование выходного сигнала датчика во входной сигнал схемы установки частоты отсчетов. Эта схема и аналого-цифровой преобразователь выполняют отсчеты, которые поступают в процессор обработки наблюдений.

Следует отметить, что сглаживание, осуществляемое по техническим причинам, на этапе формирования сигнала имеет целью исключить пики и стабилизировать электронные характеристики и выполняется с помощью фильтра нижних частот; это уменьшает время отклика датчика и подавляет высокие частоты, которые могут представлять интерес. Разработчик и пользователь должны хорошо представлять его действие, и частоту среза необходимо установить настолько высокой, насколько это практически осуществимо.



**Рисунок 2.8. Измерительная система**

Так называемые «интеллектуальные датчики», т. е. датчики с микропроцессорами, могут объединять в себе перечисленные функции. Схемы формирования сигнала могут входить не во все датчики или могут быть объединены с другими схемами. В ряде случаев, например с чашечными или пропеллерными анемометрами, проще будет говорить только о датчике, поскольку его трудно отделить от преобразователя. В некоторых случаях, когда частота выходного сигнала преобразователя или датчика изменяется в зависимости от измеряемой атмосферной переменной, схема установки частоты отсчетов и аналого-цифровой преобразователь могут быть заменены счетчиком. Но эти детали не так важны. Важной задачей конструкции является обеспечение того, чтобы последовательность отсчетов адекватно передавала значительные изменения измеряемой атмосферной переменной.

Первое условие, предъявляемое к устройству, схематично представленному на рисунке 2.8, состоит в том, что датчик должен достаточно быстро реагировать на атмосферные изменения, которые необходимо отметить при наблюдении. Если наблюдение должно подвергаться 1-, 2- или 10-минутному осреднению, то это требование не является слишком жестким. С другой стороны, если наблюдение должно характеризовать турбулентность, например максимальный порыв ветра, то датчик нужно выбирать с большой тщательностью.

Второе условие, предъявляемое к устройству, показанному на рисунке 2.8, заключается в том, что схема установки частоты отсчетов и аналого-цифровой преобразователь должны предоставлять достаточно показаний для получения достоверного наблюдения. Точность, предъявляемая к метеорологическим наблюдениям, обычно должна обеспечиваться датчиком, а не электронной измерительной аппаратурой. Однако датчик и частоту отсчетов необходимо согласовывать во избежание наложения частот. Если

интенсивность выполнения показаний ограничена по техническим причинам, то система датчик/фильтр должна быть сконструирована так, чтобы подавлять частоты, которые не могут быть представлены.

Если датчик имеет соответствующую частотную характеристику, то фильтр нижних частот можно отключить, включая его только для страховки, или он может быть подключен для улучшения качества входного сигнала схемы установки частоты показаний. Например, такой фильтр можно включить на конце длинного кабеля для подавления всплесков шума или для дальнейшего сглаживания выходного сигнала датчика. Ясно, что эта схема должна также довольно быстро реагировать для отслеживания атмосферных изменений, представляющих интерес.

#### 2.4.2 Частота показаний при дискретных измерениях

Для большинства метеорологических и климатологических применений требуются наблюдения с интервалами от 30 минут до 24 часов, и каждое наблюдение проводится на протяжении от 1 до 10 минут. В [томе I](#), глава 1, приложение 1.A, содержится недавно принятое заявление о требованиях для этих целей.

Повсеместная практика регулярных наблюдений состоит в том, чтобы снять одно отдельно взятое показание датчика (например, по термометру) и, исходя из его постоянной времени, обеспечить приблизительно правильное время измерения. Это равносильно использованию экспоненциального фильтра (рисунок 2.6). АМС, как правило, используют более быстродействующие датчики, и для получения среднего (блок узкополосных фильтров) или другого средневзвешенного значения выполняются и обрабатываются несколько отдельных показаний.

Практически рекомендованная схема определения частоты показаний при дискретных измерениях заключается в следующем<sup>1</sup>:

- a) показания прибора, которые используются для расчета средних значений, следует снимать через равные временные интервалы, которые:
  - i) не превышают постоянную времени датчика; или
  - ii) не превышают постоянную времени аналогового фильтра нижних частот, подключенного к линейному выходу быстродействующего датчика; или
  - iii) являются достаточными по количеству, чтобы погрешность осреднения показаний прибора снизилась до приемлемого уровня, например, меньшего, чем требуемая точность осреднения;
- b) показания, используемые для оценки экстремальных значений флуктуации, таких как порывы ветра, следует снимать с частотой, по меньшей мере в четыре раза превышающей указанную в пунктах i) и ii).

Для получения средних значений часто предлагается и используется на практике частота отсчетов при дискретных измерениях выше, чем в пунктах i) и ii), например, два отсчета за интервал, равный постоянной времени.

Критерии i) и ii) получены, исходя из частоты Найквиста. Если интервал между показаниями  $\Delta t \leq T_p$ , то частота показаний  $n \geq 1/T_p$  and  $nT_p \geq 1$ . На экспоненциальной кривой на рисунке 2.6 видно, что это исключает более высокие частоты и предотвращает наложение частот. Если  $\Delta t = T_p$ ,  $n_p = 1/2T_p$  и данные будут псевдонимом только спектральной энергии на частотах в  $nT_p = 2$  и за его пределами, то есть, где колебания имеют периоды менее  $0,5T_p$ .

<sup>1</sup> Принята КПМН на ее десятой сессии (1989 г.), рекомендация 3 (КПМН-Х).

Критерии i) и ii) используются для проведения автоматических дискретных измерений. Статистический критерий в iii) больше применим для более низкой частоты показаний прибора при проведении наблюдений вручную. Погрешность среднего значения обратно пропорциональна квадратному корню из количества наблюдений и может быть определена по статистическим характеристикам переменной.

Критерий «b» подчеркивает необходимость в высоких частотах отсчетов или, говоря более точно, малых постоянных времени для измерения порывов ветра. Зарегистрированные порывы ветра сглаживаются благодаря инерционности прибора, и регистрируемый максимум будет осредняться за период в несколько раз больший, чем постоянная времени.

Влияние наложения частот на оценки средних значений можно очень просто показать: рассмотрим, что произойдет, когда частота измеряемого колебания совпадет с частотой отсчетов или будет кратна ей. Полученное среднее значение будет зависеть от интервала отсчетов. Показание прибора, получаемое один раз в день в установленное время, не предоставляет достоверной оценки средней месячной температуры.

Для несколько более сложной иллюстрации наложения частот рассмотрим временной ряд из трехчасовых наблюдений температуры, произведенных стандартным термометром. Если температура, как обычно, изменяется плавно с течением времени, то среднее суточное значение, рассчитанное по восьми показаниям прибора, является практически стабильным. Однако, если имело место мезомасштабное явление (гроза), при котором температура падала на целые градусы за 30 минут, то рассчитанное среднее значение ошибочно. Надежность среднесуточных значений зависит от обычной слабости спектра в мезомасштабных и более высоких частотах. Однако прохождение высокочастотного явления (гроза) приводит к наложению частот данных, что сказывается на расчете средних значений, средних квадратических отклонений и других показателях рассеяния, а также спектра.

Вопрос частоты показаний прибора можно также обсудить с точки зрения рисунка 2.8. Рассуждение в 2.2.1 сводилось к тому, что для измерения спектра частота приборных показаний, которая определяет частоту Найквиста, должна выбираться так, чтобы вклад спектра колебаний на частотах выше частоты Найквиста оказался бы слишком слабым, чтобы ощутимо повлиять на рассчитываемый спектр. Это достигается установкой частоты отсчетов измерений на часах (см. рисунок 2.8), по крайней мере в два раза превышающей наибольшую частоту значимой амплитуды входного сигнала схемы установки частоты отсчетов.

Формулировка «наибольшая частота значимой амплитуды», используемая выше, довольно расплывчата. Найти более точное определение сложно, поскольку сигналы никогда строго не ограничиваются шириной полосы. Однако нетрудно обеспечить, чтобы амплитуда изменений сигнала быстро уменьшалась с увеличением частоты и средняя квадратическая амплитуда флуктуации с частотой, превышающей данную частоту, была бы мала по сравнению либо с шумом квантования аналого-цифрового преобразователя, либо с приемлемой ошибкой или уровнем шума в показаниях прибора, или вносила бы незначительный вклад в общую ошибку или шум в наблюдении.

Раздел 2.3 содержит описание характеристик датчиков и схем, которые можно выбрать либо отрегулировать так, чтобы амплитуда флуктуации сигнала быстро уменьшалась с увеличением частоты. Большинство преобразователей из-за их неспособности реагировать на быстрые (высокочастотные) атмосферные изменения, но способности достоверно отражать медленные (низкочастотные) изменения являются фильтрами низких частот. По определению, фильтры низких частот ограничивают полосу пропускания и, согласно теореме Найквиста, также ограничивают частоту приборных показаний, что необходимо для правильного воспроизведения выходного сигнала фильтра. Например, если в атмосфере происходят реальные изменения с периодом ниже 100 мс, то частота отсчетов, по Найквисту, будет составлять 1 показание за 50 мс, что технически обеспечить довольно сложно. Однако если они наблюдаются с помощью датчика и фильтра,

которые реагируют гораздо медленнее, например с постоянной времени 10 с, то частота отсчетов, по Найквисту, будет составлять 1 показание за 5 с, что гораздо легче, дешевле и предпочтительнее, если не требуются измерения высоких частот.

### 2.4.3 Частота отсчетов при измерениях и контроль качества

Многие методы контроля качества данных для их эффективного использования на АМС зависят от временного постоянства или устойчивости данных. В качестве очень простого примера следует рассмотреть два гипотетических алгоритма контроля качества для измерений давления на АМС. Отсчеты производятся каждые 10 с и одноминутные средние рассчитываются каждую минуту. Предполагается, что атмосферное давление лишь в очень редких случаях меняется со скоростью, превышающей 1 гПа в минуту.

Первый алгоритм исключает среднее значение, если оно отличается от предыдущего более чем на 1 гПа. Это не позволяет качественно использовать имеющиеся данные, так как единичное приборное показание с ошибкой, достигающей 6 гПа, остается незамеченным, и в наблюдение вводится ошибка, составляющая 1 гПа.

Второй алгоритм исключает отсчет, если он отличается от предыдущего более, чем на 1 гПа. В этом случае среднее значение не содержит ошибки, превышающей около 0,16 (1/6) гПа. Действительно, если предположение о том, что атмосферное давление очень редко меняется со скоростью, превышающей 1 гПа в минуту, верно, то можно ужесточить критерий принятия/исключения соседних отсчетов до 0,16 гПа и еще больше сократить ошибку среднего значения.

Смысл этого примера состоит в том, что эффективность процедур контроля качества данных, которые зависят от временного постоянства (корреляции), наиболее высока в отношении данных высокого временного разрешения (частоты приборных показаний). На высокочастотном конце спектра выходного сигнала датчика/фильтра корреляция между соседними показаниями прибора увеличивается с увеличением частоты показаний до достижения частоты Найквиста, после которой никакого дальнейшего увеличения корреляции не происходит.

В нашем предыдущем описании нигде не говорится о том, чтобы не использовать датчик/фильтр с постоянной времени, достигающей периода осреднения, требуемого для наблюдения, и использования единичного показания прибора в качестве наблюдения. Хотя это составляет минимальное требование в отношении цифровых подсистем, тем не менее существует еще одно соображение, которое необходимо учитывать для эффективного контроля качества данных. Наблюдения можно разделить на следующие три категории:

- a) точные (наблюдения с погрешностями, меньшими или равными определенному значению);
- b) неточные (наблюдения с погрешностями, превышающими определенное значение);
- c) отсутствующие.

Существует две причины для контроля качества данных, а именно: свести к минимуму количество неточных наблюдений и свести к минимуму количество отсутствующих наблюдений. Для обеих целей необходимо обеспечить, чтобы результат каждого наблюдения рассчитывался на основании разумно большого количества приборных показаний, прошедших контроль качества. Таким образом, показания, содержащие крупные случайные ошибки, можно изолировать и исключить, и далее производить расчет, результат которого не будет иметь погрешностей, вносимых этими показаниями прибора.

## СПРАВОЧНАЯ И ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Acheson, D. T. An Approximation to Arithmetic Averaging for Meteorological Variables. *Journal of Applied Meteorology and Climatology* **1968**, 7 (4), 548–553. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1968\)007<0548:AATAAF>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1968)007<0548:AATAAF>2.0.CO;2).
- Bendat, J. S. A. A. G. P. *Random Data: Analysis and Measurement Procedure*, 2nd Edition; John Wiley and Sons: New York, 1986.
- Blackman, R. B.; Tukey, J. W. *The Measurement of Power Spectra, from the Point of View of Communications Engineering*; Dover Publications: New York, 1958.
- Jenkins, G. M.; Watts, D. G. *Spectral Analysis and Its Applications*; Holden-Day: San Francisco, 1968.
- Kulhánek, O. *Introduction to Digital Filtering in Geophysics*; Elsevier Science: Amsterdam, 1976.
- MacCready, P. B.; Jex, H. R. Response Characteristics and Meteorological Utilization of Propeller and Vane Wind Sensors. *Journal of Applied Meteorology and Climatology* **1964**, 3 (2), 182–193. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1964\)003<0182:RCAMUO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1964)003<0182:RCAMUO>2.0.CO;2).
- Otnes, R. and E. *Applied Time Series Analysis (Volume 1): Basic Techniques*; John Wiley and Sons: Milton, Qld, Australia, 1978. <https://www.biblio.com/book/applied-time-series-analysis-volume-1/d/1561983295>.
- Pasquill, F.; Smith, F. B. *Atmospheric Diffusion*; E. Horwood: Chichester, 1983.
- Stearns, S. D.; Hush, D. R. *Digital Signal Analysis*; Englewood Cliffs, N.J. : Prentice Hall, 1990.
-

## ГЛАВА 3. ОБРАБОТКА ДАННЫХ

### 3.1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

В данной главе в общем виде рассматриваются процедуры для обработки и/или преобразования данных, получаемых непосредственно с помощью приборов, в данные, используемые потребителями метеорологической информации, особенно для обмена между странами. Официальные правила для обработки данных, которые подлежат международному обмену, рекомендуются ВМО; они изложены в ВМО (2015). В [томе I](#), глава 1, настоящего Руководства содержится несколько соответствующих рекомендаций и определений.

#### 3.1.1 Определения

При обсуждении использования контрольно-измерительных приборов, связанных с измерением атмосферных величин, стало полезным классифицировать данные наблюдений в соответствии с уровнями данных. Эта схема была введена в связи с системой обработки данных для Программы исследований глобальных атмосферных процессов и также определена в ВМО (2015, 2017).

Данные уровня I — это, как правило, показания приборов, выраженные в соответствующих физических единицах и привязанные к географическим координатам. Их необходимо перевести в обычные метеорологические величины (определяемые в [томе I](#), глава 1). Во многих случаях собственно данные уровня I получают путем обработки электрических сигналов, таких как значения напряжения, передаваемых в качестве необработанных данных. Примерами таких данных служат спутниковые данные излучений и давления водяного пара.

К данным, признанным метеорологическими величинами, относятся данные уровня II. Их можно получить непосредственно с помощью приборов (как в случае со многими видами простых приборов) или же рассчитать по данным уровня I. Так, например, датчик не может измерить видимость, которая представляет величину уровня II; вместо этого датчики измеряют коэффициент ослабления, который является величиной, относящейся к уровню I.

К данным уровня III относятся данные, содержащиеся в комплектах внутренне согласующихся данных, обычно в форме узловых точек сетки. Они не рассматриваются в настоящем Руководстве.

Данные, которыми обмениваются на международном уровне, — это данные уровня II или уровня III.

#### 3.1.2 Требования к метеорологическим данным

Станции наблюдений во всем мире обычно осуществляют регулярные наблюдения в стандартных форматах, пригодных для обмена высококачественной информацией, получаемой с помощью единых методов наблюдений, несмотря на различие типов приборов, используемых во всем мире или даже в отдельных государствах. Для достижения такого положения в течение многих лет затрачивались значительные ресурсы на стандартизацию содержания данных, их качества и формата представления. По мере того, как автоматизированные наблюдения за атмосферой становятся все более преобладающими, сохранение этой стандартизации и разработка дополнительных стандартов для перевода необработанных данных в данные уровня I, а также необработанных данных и данных уровня I в данные уровня II приобретают все более важное значение.

### 3.1.3 Процесс обработки данных

Задача датчика состоит в измерении атмосферной величины и переводе ее в количественном виде в полезный сигнал. Однако датчики могут обладать дополнительными реакциями на окружающую среду, как, например, температурная зависимость калибровочных характеристик, и их выходные сигналы подвержены различного рода ошибкам, таким как систематическое отклонение и шум. После надлежащей выборки данных с помощью системы приема данных выходной сигнал следует масштабировать и линеаризовать в соответствии с общей калибровкой системы и затем отфильтровать или осреднить. На этом этапе, или даже раньше, он переходит в категорию необработанных данных. Затем данные следует перевести в значения измерений физических величин, регистрируемые датчиком, которые соответствуют данным уровня I или же уровня II, если дальнейшие преобразования не требуются. Для некоторых применений необходимо получать дополнительные параметры. На различных этапах в процессе обработки данные могут быть скорректированы с учетом внешних воздействий, таких как экспозиция, и подвергаться контролю качества.

Поэтому данные, получаемые с обычных метеостанций и АМС, следует подвергать многим операциям, прежде чем они станут пригодными для использования. Весь этот процесс известен как обработка данных и состоит из осуществления ряда операций, включая некоторые или все из нижеперечисленных:

- a) преобразование атмосферных величин;
- b) формирование выходных сигналов датчика;
- c) получение и выборка данных;
- d) применение информации о калибровке;
- e) линеаризация выходных сигналов датчика;
- f) определение статистических характеристик, таких как среднее значение;
- g) получение соответствующих переменных;
- h) введение поправок;
- i) проверка качества данных;
- j) регистрация и хранение данных;
- k) составление метаданных;
- l) форматирование сообщений;
- m) проверка содержания сообщений;
- n) передача сообщений.

Порядок, в котором осуществляются эти операции, является лишь приблизительно последовательным. Разумеется, первые и последние из вышеперечисленных операций всегда должны выполняться первыми и последними. Линеаризация может осуществляться непосредственно или внутри датчика, однако она должна предшествовать определению среднего значения. На различных уровнях процесса предварительной обработки данных может проводиться специальный контроль качества и введение поправок. В зависимости от назначения станции могут работать в упрощенном режиме без осуществления всех этих операций.

В контексте настоящего Руководства важные операции в процессе обработки данных состоят в выборе надлежащих процедур измерений, применении информации о калибровке, линеаризации, когда она требуется, фильтрации и/или осреднении, в расчете соответствующих величин, введении поправок, контроле качества и в составлении метаданных. Все эти вопросы рассматриваются в данной главе. Более подробная информация по менеджменту качества приводится в настоящем томе, [глава 1](#), а в отношении методов измерения, фильтрации и осреднения — в настоящем томе, [глава 2](#).

После того, как данные обработаны, их необходимо предоставлять посредством кодирования, передачи и приема, отображения и архивации, что является темами других наставлений и руководств ВМО. Система наблюдений является неполной, если она не соединена с другими системами, которые обеспечивают доставку данных потребителям. Качество данных определяется как наиболее слабое звено. На каждой стадии необходимо применять контроль качества.

Большинство существующих методов и стандартизированных методик обработки данных персоналом могут также использоваться АМС, которые, однако, требуют особых подходов. В АМС входят различные датчики, стандартные расчеты для получения элементов сообщений и сам формат сообщения. Не все датчики легко совмещаются с автоматизированным оборудованием. Аналитические выражения для расчетов, представленным в виде таблиц, необходимо восстанавливать или создавать. Правила для кодирования сообщений должны быть выражены на языках компьютера с уровнями точности, завершенности и ясности, не требующимися в указаниях на обычном языке, подготавливаемых для наблюдателей. Более того, некоторые обязанности наблюдателя, такие как определение типов облаков, в настоящее время не могут быть автоматизированы с использованием существующих методик или их модификаций.

Вопросы получения данных и программного обеспечения обработки данных для АМС довольно подробно рассмотрены в [томе III](#), глава 1, в достаточной степени в общем виде для любых применений электрических датчиков в метеорологии. Некоторые общие рассуждения и конкретные примеры построения алгоритмов для синоптических АМС приведены в публикации ВМО (WMO, 1987).

При обработке метеорологических данных обычно осуществляется одна корректная процедура, алгоритм или подход, при этом может быть много аппроксимаций, от удовлетворительных до малоприменимых по своей эффективности. Опыт убедительно показывает, что подобный подход обычно наиболее эффективен в перспективном плане. Он является непосредственным, требует минимального уровня квалификации и, будучи однажды применен, не нуждается в дальнейшем обслуживании. Поэтому последующие параграфы в основном ограничены одним корректным приближением к рассматриваемой проблеме при наличии существующих точных решений.

### 3.2 **ДИСКРЕТИЗАЦИЯ ИЗМЕРЕНИЙ**

Полное рассмотрение вопроса дискретизации измерений см. в настоящем томе, [глава 2](#). Ниже следует краткое изложение основных выводов.

Необходимо признать, что из-за постоянно существующей турбулентности атмосферные величины быстро и неоднородно изменяются, и выходные сигналы датчика не в полной мере воспроизводят значения атмосферных величин вследствие их несовершенных динамических характеристик, таких как ограниченная способность реагировать на быстрые изменения. Как правило, для датчиков требуется оборудование, чтобы увеличить или сохранить их выходные сигналы и/или перевести одну форму сигнала в другую, например, сопротивление в напряжение. Используемые для этого схемы могут также сглаживать процесс или отфильтровывать низкие частоты сигнала. Имеется

предельная частота, выше которой не происходит значительных изменений, поскольку таких изменений не существует в атмосфере и/или датчик или схема улучшения сигнала удаляют их.

Важным конструктивным соображением является вопрос о том, как часто следует измерять выходные сигналы датчика. Определенный ответ состоит в следующем: с равномерной скоростью, по меньшей мере, в два раза чаще, чем предельная частота выходного сигнала датчика. Однако обычно удовлетворяется более простое и равнозначное правило: интервалы измерения не должны превышать наибольших постоянных времени всех приборов и схем, предшествующих системе получения данных. Если частота измерения меньше удвоенной предельной частоты, то непременно возникают ошибки в данных и во всех производных величинах и статистических характеристиках. Несмотря на то, что такие увеличения интервалов измерений могут быть приемлемы в отдельных случаях, в других они не допустимы. Надлежащие измерения всегда обеспечивают минимальную дисперсию.

Для надежной конструкции может потребоваться включение низкочастотного фильтра с постоянной времени, примерно равной интервалу измерения в системе получения данных. Это также является профилактической мерой, чтобы свести к минимуму влияние шума, особенно помехи в 50 или 60 Гц от источников питания по кабелям, соединяющим датчики с процессорами, и за счет утечки через источники питания.

### 3.3 ПРИМЕНЕНИЕ КАЛИБРОВКИ

Регламентными документами ВМО (2015) предписывается, чтобы станции были оборудованы надлежащим образом откалиброванными приборами и неукоснительно соблюдались адекватные методы наблюдений и измерений для обеспечения точности измерений, достаточной для удовлетворения требований метеорологических дисциплин. Преобразование необработанных данных, получаемых с помощью приборов, в соответствующие метеорологические параметры достигается посредством применения операций калибровки. Надлежащее использование процедур калибровки и любых других систематических поправок является наиболее важным моментом для получения данных, удовлетворяющих заданным требованиям точности.

Определение операций калибровки должно основываться на калибровке всех компонентов цепи измерений. В принципе, на практике для некоторых метеорологических величин, таких как давление, калибровка полевых приборов должна быть выполнена посредством сравнения с международным эталонным прибором с помощью непрерывной цепи сравнений между полевым прибором и несколькими или всеми из серий эталонных приборов, таких как переносной эталон, рабочий эталон, вторичный эталон и национальный эталон (см. [том I](#), глава 1, в отношении определений).

В каждой из соответствующих глав [тома I](#) содержится описание процедур калибровки и систематических поправок, касающихся каждой из основных метеорологических переменных.

Полевые приборы должны быть откалиброваны экспертом с учетом соответствующих изменений в операциях калибровки. Недостаточно полагаться на данные калибровки, предоставляемые вместе с оборудованием. Оборудование для калибровки поставщика часто содержит неизвестную зависимость по отношению к национальному эталону и в любом случае следует ожидать изменения калибровки во время транспортировки, хранения и использования приборов. Изменения в калибровке должны отражаться в файлах метаданных станции.

### 3.4 ЛИНЕАРИЗАЦИЯ

Если выходные сигналы датчика не строго пропорциональны измеряемой величине, следует линеаризовать сигнал с использованием калибровки прибора. Это необходимо осуществить перед фильтрованием или осреднением сигнала. Последовательность операций «осреднить, затем линеаризовать» приводит к результатам, отличающимся от результатов последовательности «линеаризовать, затем осреднить», когда сигнал не является постоянным в течение периода осреднения.

Нелинейность может возникать следующими тремя путями (WMO, 1987):

- a) многие датчики изначально нелинейны, т. е. их выходной сигнал не пропорционален измеряемой атмосферной переменной. Простым примером является термистор;
- b) несмотря на то, что в датчик можно включить линейные преобразователи, измеряемые переменные могут не быть линейно связаны с интересующей атмосферной переменной. Так, например, фотодетектор и преобразователь угла передачи облакомера с вращающимся лучом являются линейными устройствами, однако выходной сигнал облакомера (интенсивность отраженного светового сигнала как функция угла) нелинейно связан с высотой облаков;
- c) преобразование данных из уровня I в уровень II может не быть линейным. Например, коэффициент ослабления, а не видимость или коэффициент пропускания, является подходящей переменной для осреднения, чтобы получить значения осредненной видимости.

В первом из этих случаев часто используется полиномиальная функция калибровки. Тогда весьма желательно иметь стандартные датчики с единичными коэффициентами калибровки, чтобы избежать проблем, возникающих при смене датчиков в поле. В двух других случаях обычно подходящей является аналитическая функция, которая описывает режим работы датчика.

### 3.5 ОСРЕДНЕНИЕ

Естественная мелкомасштабная изменчивость атмосферы вызывает необходимость проведения сглаживания или осреднения в целях получения репрезентативных наблюдений и обеспечения совместимости данных от различных приборов. Для международного обмена и многих оперативных применений требуется, чтобы передаваемое измерение было репрезентативным за предыдущие 2 или 10 минут для ветра и, в основном, от 1 до 10 минут для других величин. Практика использования одномоментных измерений возникает, в частности, в результате того, что некоторые обычные метеорологические датчики имеют постоянную времени порядка 1 минуты и одно показание теоретически является одномоментным средним или сглаженным значением. Если постоянная времени прибора значительно меньше, то необходимо делать отсчеты и фильтровать или осреднять их. Это — тема настоящего тома, [глава 2](#). Для получения представления о требованиях к периодам осреднения, типичным для оперативных метеорологических измерительных систем, см. [том I](#), глава 1, (приложение 1.A).

Обычно используются два типа осреднения или сглаживания: арифметический и экспоненциальный. Арифметическое осреднение соответствует осреднению в обычном смысле и легко выполняется расчетным путем; это блок узкополосных фильтров, описанный в настоящем томе, глава 2. Экспоненциальное осреднение — это выходной сигнал элементарного низкочастотного фильтра, представляющий простейшую реакцию датчика на атмосферные изменения, и его более удобно осуществить в аналоговой схеме, чем арифметическое осреднение. В случаях, когда постоянная времени простого фильтра

приблизительно равна половине времени измерения, по которому рассчитывается среднее, значения арифметического и экспоненциального сглаживания практически близки (см. настоящий том, [глава 2](#), а также работу Acheson (1968)).

Выходные сигналы быстродействующих датчиков быстро изменяются, что приводит к необходимости более высокой частоты дискретных измерений для оптимального (минимум неопределенности) осреднения. Для уменьшения требуемой частоты дискретных измерений и для обеспечения в этом случае оптимального цифрового осреднения можно линейаризовать выходной сигнал датчика (когда это необходимо), экспоненциально сгладить его с использованием аналоговой схемы с постоянной времени  $t_c$ , а затем произвести отсчеты в цифровом виде с интервалами  $t_c$ .

Для специальных применений используется много других видов сложных фильтров с цифровым выходом.

Осреднение нелинейных величин создает определенные трудности в тех случаях, когда они изменяются в течение периода осреднения, поэтому важно выбирать соответствующую линейную переменную для расчета среднего значения. В таблице, представленной в [3.6](#), перечислены некоторые конкретные примеры элементов синоптического наблюдения, регистрируемых в качестве средних, с соответствующей линейной переменной, которую следует использовать.

### 3.6 **ВЗАИМОСВЯЗАННЫЕ ВЕЛИЧИНЫ И СТАТИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ**

В зависимости от целей наблюдения, кроме осредненных данных, должны определяться также экстремальные и другие переменные, которые репрезентативны для конкретных периодов времени. Примером являются измерения порыва ветра, для которых требуется более высокая частота отсчетов.

По осредненным данным следует также определять другие величины, такие как среднее давление на уровне моря, видимость и точка росы. На обслуживаемых персоналом станциях обычного типа используют таблицы перевода. В соответствии с обычной практикой принято встраивать таблицы в АМС и предусматривать процедуры интерполяции или включать основные формулы или их аппроксимации. В отношении применения преобразования данных см. различные главы [тома I](#), а также [том III](#), глава 1, по применению АМС.

#### **Величины, для которых необходимо преобразовывать данные при расчете средних значений**

<i>Регистрируемая величина</i>	<i>Осредняемая величина</i>
Скорость и направление ветра	Декартовы компоненты
Точка росы	Абсолютная влажность
Видимость	Коэффициент ослабления

### 3.7 **ПОПРАВКИ**

При измерении многих метеорологических величин вводятся поправки либо к необработанным данным, либо к данным уровня I или уровня II, чтобы откорректировать различные влияния. Такие поправки описываются в главах по различным метеорологическим элементам в [томе I](#). Поправки к необработанным данным, на аддитивную и мультипликативную составляющие ошибки, или на температуру, силу тяжести и другие получают при калибровке и по характеристикам прибора. К другим

типам поправок или коррекций, применяемым к необработанным данным или к данным более высокого уровня, относятся сглаживание, подобное тому, которое применяется к измерениям высоты облаков и к аэрологическим профилям, и коррекции на экспозицию, например такие, которые иногда применяют к наблюдениям за температурой, ветром и осадками. В некоторых случаях алгоритмы для таких типов поправок основаны на исследованиях, еще не полностью завершенных; таким образом, несмотря на то что они, несомненно, улучшают точность данных, в дальнейшем сохраняется возможность получения различных алгоритмов. В таком случае может возникнуть необходимость в восстановлении первичных неоткорректированных данных. Поэтому рекомендуется детально описывать алгоритмы.

### 3.8 МЕНЕДЖМЕНТ КАЧЕСТВА

Вопрос о менеджменте качества обсуждается в настоящем томе, [глава 1](#). Официальные требования излагаются в публикации ВМО (2015), а общие процедуры рассматриваются в ВМО (2010).

Процедуры контроля качества следует осуществлять на каждом этапе преобразования необработанных выходных сигналов датчиков в метеорологические величины. Сюда относятся операции, связанные с получением данных, а также с приведением их к данным уровня II.

В процессе получения данных контроль качества должен быть нацелен на уменьшение как систематических, так и случайных погрешностей измерений, и исключения ошибок в результате отклонения от технических стандартов, ошибок при неправильной установке приборов и субъективных ошибок наблюдателя.

Контроль качества во время обработки и преобразования данных должен быть направлен на устранение ошибок, возникающих в результате используемых методов преобразования или используемых процедур расчетов. В целях улучшения качества получаемых данных при высокой частоте отсчетов, которые могут вырабатывать увеличенный шум, используются методы фильтрации и сглаживания. Они описаны ранее в этой главе, а также в настоящем томе, [глава 2](#).

### 3.9 СОСТАВЛЕНИЕ МЕТАДАННЫХ

Метаданные рассматриваются в [томе I](#), глава 1; в настоящем томе, [глава 1](#), а также в других главах, касающихся различных метеорологических величин. Метаданные следует сохранять для того, чтобы:

- a) можно было восстановить первичные данные для возобновления работы в случае необходимости (например, с различным фильтрованием или коррекциями);
- b) пользователь мог легко оценить качество данных, а также условия, при которых они были получены (такие как экспозиция);
- c) потенциальные пользователи могли узнать о существовании данных.

Поэтому необходимо записывать все процедуры, используемые в вышеописанных операциях обработки данных, характерные для каждого типа данных и отдельно для каждой станции и типа наблюдений.

---

## СПРАВОЧНАЯ И ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Acheson, D. T. An Approximation to Arithmetic Averaging for Meteorological Variables. *Journal of Applied Meteorology and Climatology* **1968**, 7 (4), 548–553. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1968\)007<0548:AATAAF>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1968)007<0548:AATAAF>2.0.CO;2).
- D.T. Acheson. *Some general considerations and specific examples in the design of algorithms for synoptic automatic weather stations* (WMO/TD-No. 230), Report No. 19; World Meteorological Organization (WMO): Geneva, 1987.
- World Meteorological Organization (WMO) 2010. *Guide to the Global Observing System* (WMO-No. 488), Geneva, 2010 (updated in 2017).
- World Meteorological Organization (WMO) 2015. *Manual on the Global Observing System* (WMO-No. 544), Volume I. Geneva. 2015 (updated in 2017).
- World Meteorological Organization (WMO) 2017. *Manual on the Global Data-processing and Forecasting System* (WMO-No. 485), Geneva, 2017.
-

## ГЛАВА 4. ИСПЫТАНИЕ, КАЛИБРОВКА И ВЗАИМНОЕ СРАВНЕНИЕ ПРИБОРОВ

### 4.1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Одной из целей ВМО, сформулированных в статье 2 (с) Конвенции ВМО, является «содействие стандартизации метеорологических и сопутствующих геофизических наблюдений и обеспечение однородности публикуемых данных наблюдений и статистики» (ВМО, 2015). С этой целью разработаны комплекты стандартных процедур и рекомендованных правил, суть которых изложена в настоящем Руководстве.

Достоверные данные наблюдений могут быть получены только тогда, когда в отношении приборов и сети применяется комплексная программа обеспечения качества. Калибровка и проведение испытаний являются неотъемлемой частью программы обеспечения качества. В программу также входят такие элементы, как четкое определение требований, специальный отбор приборов на основе этих требований, критерии выбора площадки наблюдений, техническое обслуживание и материально-техническое обеспечение. Все эти элементы должны приниматься во внимание при разработке планов калибровки, поверки и испытаний. В международном масштабе расширение программ обеспечения качества за счет включения взаимных сравнений приборов имеет большое значение для получения совместимых комплектов данных.

Ввиду важности стандартизации на межгосударственном уровне региональные ассоциации ВМО учредили РЦП<sup>1</sup> с целью организации и оказания содействия в деятельности по стандартизации и калибровке. Подобным образом, по рекомендации Совместной технической комиссии ВМО/МОК по океанографии и морской метеорологии (СКОММ), была сформирована сеть региональных центров по морским приборам (РЦМП)<sup>2</sup> для обеспечения выполнения тех же функций в отношении измерений, проводимых по морской метеорологии и сопутствующей программе океанографических наблюдений.

Существуют национальные и международные стандарты и руководства для многих аспектов проведения испытаний и оценки приборов, и их следует использовать, когда это необходимо. На некоторые из них делаются ссылки в этой главе.

#### 4.1.1 Определения

Определения терминов в метрологии даются в публикации *Международный словарь по метрологии — Основные и общие понятия и соответствующие термины (VIM)* Объединенным комитетом по руководствам в метрологии (ОКРМ) (JCGM, 2012). Многие из них приводятся в **томе I**, глава 1, а некоторые повторяются здесь для удобства. Определения ОКРМ настоятельно рекомендованы для использования в метеорологии, хотя в метеорологической практике некоторая наиболее широко используемая терминология может от них отличаться. Указанный документ ОКРМ выпущен совместно с Международным бюро мер и весов, МЭК, Международной федерацией клинической химии и лабораторной медицины, Международным сотрудничеством по аккредитации лабораторий, ИСО, Международным союзом чистой и прикладной химии, Международным союзом чистой и прикладной физики и Международной организацией законодательной метрологии.

<sup>1</sup> См. **том I**, глава 1, приложение 1.С. Для получения наиболее актуальной информации об РЦП, их круге ведения, месторасположении и возможностях см.: [https://community.wmo.int/en/activity-areas/imop/Regional\\_Instrument\\_Centres](https://community.wmo.int/en/activity-areas/imop/Regional_Instrument_Centres).

<sup>2</sup> См. **том III**, глава 4, приложение 4.А.

Терминология VIM отличается от общепринятой в некоторых аспектах, в частности:

**Точность (измерения).** Качественная характеристика, касающаяся степени близости измеренного значения к истинному значению измеряемой величины. Точность измерения иногда понимается, как близость между значениями величины, приписываемыми измеряемой величине. Можно говорить о приборе или об измерении, имеющем высокую точность, но количественная мера точности выражается в терминах неопределенности.

**Неопределенность.** Неотрицательный параметр, характеризующий рассеяние значений величины, приписываемых измеряемой величине на основании используемой информации.

**Погрешность измерения.** Измеренная величина за вычетом ее опорного значения (отклонение имеет другой знак); она включает в себя случайные и систематические погрешности (термин смещение обычно используется в отношении систематической погрешности).

**Воспроизводимость.** Степень близости между показаниями или измеренными величинами, полученными на тех же или подобных объектах при одной и той же совокупности условий, включающих такую же процедуру измерения, таких же операторов, ту же систему измерений, те же эксплуатационные условия и то же место, и повторными измерениями в течение короткого периода времени.

**Повторяемость.** Степень близости между показаниями или измеренными количественными величинами, полученными на тех же или подобных объектах при одной и той же совокупности условий, включающих разные места, операторов и системы измерений, и повторные измерения.

#### 4.1.2 Программы испытаний и калибровки

Прежде чем использовать для метеорологических целей результаты атмосферных измерений, сделанных с помощью конкретного прибора, необходимо ответить на ряд следующих вопросов:

- a) Какова точность прибора или измерительной системы?
- b) Какова изменчивость измерений на сети, имеющей такие измерительные системы или приборы?
- c) Каково будет изменение или смещение данных, предоставляемых прибором или измерительной системой, если их местонахождение будет изменено?
- d) Каково будет изменение или смещение данных, если будет произведена замена на другой прибор или измерительную систему, измеряющие одну и ту же метеорологическую величину?

Для того чтобы ответить на эти вопросы и обеспечить достоверность и согласованность измерений, производимых метеорологическим прибором или измерительной системой, необходимо провести его калибровку (поверку), лабораторные испытания и испытания работоспособности.

Следует разработать и стандартизировать программы калибровки (поверки) и испытаний, основанные на ожидаемой климатической изменчивости, воздействии окружающей среды и электромагнитных помех, в которых, как ожидается, эти измерительные системы и приборы будут работать. Например, рассматриваемые факторы могут включать в себя ожидаемый диапазон температуры, влажности и скорости ветра; будут ли прибор или измерительная система функционировать в морских условиях или в районах с пыльными или песчаными бурями; ожидаемые изменения электрического напряжения или фазы

и скачки напряжения в линиях электропередач; ожидаемые средние и максимальные электромагнитные помехи. Метеорологические службы могут заказывать проведение калибровки (поверки) и испытаний у частных лабораторий и компаний или создавать свои организации для предоставления таких услуг.

Самое важное, чтобы в любой программе испытаний, по крайней мере, два однотипных прибора или измерительных системы прошли каждый вид испытания. Это позволяет определить ожидаемую изменчивость показаний прибора или измерительной системы, а также облегчает выявление проблем.

## 4.2 ПРОВЕДЕНИЕ ИСПЫТАНИЙ

### 4.2.1 Цель испытаний

Испытание приборов и измерительных систем проводится с целью сбора информации об их точности измерений в конкретных условиях работы. Как правило, изготовители проводят испытания своих приборов и измерительных систем, и в некоторых случаях указанные в спецификации рабочие характеристики приводятся на основе результатов таких испытаний. Однако для пользователя — метеорологической службы — чрезвычайно важно разработать и выполнить собственную программу испытаний или иметь доступ к организации, проводящей независимые испытания.

Проведение испытаний можно разделить на: испытание на воздействие окружающей среды, испытание на воздействие электрических и электромагнитных помех и испытание работоспособности. Программа испытаний может состоять из одного или нескольких таких элементов.

Обычно программа испытаний составляется с целью обеспечения проверки прибора или измерительной системы на соответствие заявленной точности измерений, требованиям технического обслуживания и среднего времени наработки на отказ во всех ожидаемых условиях работы, хранения и транспортировки. Программы испытаний составляются также для того, чтобы собрать информацию об ожидаемой изменчивости показаний аналогичных приборов на сети, о функциональной сходимости показаний и сравнимости данных измерений, произведенных различными приборами или системами.

Знания как о функциональной повторяемости, так и сопоставимости результатов измерений имеют большое значение для целей климатологии, где единая база данных многолетних наблюдений, как правило, содержит информацию, получаемую с приборов и измерительных систем, которые на протяжении времени используют различные приборы и/или технологии для измерения одной и той же метеорологической переменной. На самом деле для практических применений хорошая сопоставимость работы приборов является по существу более важным атрибутом, чем точная абсолютная калибровка. Эта информация собирается при испытаниях работоспособности датчика.

Даже в тех случаях, когда прибор или измерительная система поставляются с отчетом о проведенной калибровке, необходимо провести испытание на воздействие окружающей среды и, возможно, дополнительную калибровку (поверку). Примером является система измерения температуры, в которой датчиком обычно служит терморезистор. Как правило, несколько терморезисторов калибруются изготовителем в температурной ванне, и предоставляемые в спецификации рабочие характеристики основаны на результатах этой калибровки. Однако система измерения температуры, которая выдает значения температуры, также включает в себя источник энергии и электронную схему, которые также могут подвергаться влиянию температуры. Поэтому во время калибровки важно задействовать электронную схему и датчик как единую измерительную систему во всем диапазоне температур. При хорошей организации работы проводится также замена датчика на резистор с известным температурным коэффициентом, который выдает

известные значения температуры, а электронная схема функционирует во всем диапазоне температур, представляющим интерес, для обеспечения должной температурной компенсации электронной схемы измерительной системы.

Пользователи должны также иметь программу испытаний случайно отобранных серийных приборов и измерительных систем, даже если их элементы были испытаны перед сборкой, поскольку даже относительно небольшие изменения в использованных материалах, конфигурации или процессе изготовления могут повлиять на рабочие характеристики приборов и измерительных систем.

Международная организация стандартизации разработала стандарты (ISO, 1999, 2013), которые содержат описания программ и процедур для проведения выборочных проверок большого числа приборов.

#### 4.2.2 **Испытание на воздействие окружающей среды**

##### 4.2.2.1 **Определения**

Для качественного описания прибора или измерительной системы, который должен подвергнуться эксплуатационным испытаниям, применяются следующие определения:

**Условия эксплуатации.** Условия или сочетание условий, которые встречаются или ожидаются в течение срока выполнения прибором его стандартных рабочих функций в полном соответствии с его рабочими характеристиками.

**Условия устойчивости.** Такие условия или сочетание условий за пределами обычных условий эксплуатации, которые способен выдержать прибор. Такие условия могут иметь лишь небольшую вероятность возникновения в течение срока службы прибора. Предполагается, что прибор не должен выполнять свои оперативные функции при наличии таких условий. Однако прибор должен быть в состоянии выдержать эти условия и вернуться к нормальной работе при возвращении к обычным условиям эксплуатации.

**Внешняя среда.** Условия или сочетание условий, которые встречаются или ожидаются в течение срока выполнения прибором его стандартных рабочих функций в незащищенных и неконтролируемых природных условиях.

**Среда в помещении.** Условия или сочетание условий, которые встречаются или ожидаются в течение срока, когда прибор выполняет свои стандартные рабочие функции внутри замкнутой конструкции. Во внимание принимаются условия как неконтролируемой среды в помещении, так и искусственно контролируемой среды в помещении.

**Условия транспортировки.** Условия или сочетание условий, которые встречаются или ожидаются на этапе транспортировки в течение срока службы прибора. Принимаются во внимание условия при основных способах транспортировки: автомобильным транспортом, по железной дороге, на судне и самолетом, а также полный диапазон внешних условий, встречающихся до и во время транспортировки и на этапе разгрузки. Как правило, прибор подвергается воздействию условий транспортировки, находясь в упакованном виде в грузовом контейнере.

**Условия хранения.** Условия или сочетание условий, которые встречаются или ожидаются в то время, когда прибор не действует и находится на хранении. Принимаются во внимание все типы складирования: от открытого складирования, когда прибор хранится незащищенным в условиях внешней среды, до защищенного хранения внутри помещения. Как правило, прибор подвергается воздействию такого рода условий хранения, находясь в упакованном виде в грузовом контейнере.

Международная электротехническая комиссия также имеет более подробный набор стандартов (IEC, 2002), по сравнению с упомянутым выше стандартом, для классификации условий окружающей среды. Они определяют диапазоны метеорологических, физических и биологических внешних факторов, в которых может оказаться прибор при транспортировке, хранении, установке и использовании, что полезно для подготовки спецификации на оборудование и для планирования испытаний.

#### 4.2.2.2 **Программа испытаний на воздействие окружающей среды**

Испытания на воздействие окружающей среды в лаборатории позволяют быстро испытать прибор в широком диапазоне условий и могут ускорить определенное воздействие, например, морской среды с её насыщенным солью воздухом. Преимущество испытаний на воздействие окружающей среды перед полевыми испытаниями состоит в том, что в хорошо оборудованной лаборатории многие испытания могут быть ускорены, и приборы можно испытать в широком диапазоне условий, характерных для климатических регионов. Испытание на воздействие окружающей среды в лаборатории очень важно, поскольку позволяет предвидеть потенциальные проблемы и обеспечить готовность для перехода к полевым испытаниям, но оно не может заменить полевых испытаний.

Программа испытаний на воздействие окружающей среды обычно планируется с учетом набора следующих условий: высокая температура, низкая температура, воздействие резкого изменения температуры, цикл изменения температуры, влажность, ветер, дождь, переохлажденный дождь, пыль, солнечное сияние (инсоляция), низкое давление, вибрация и тряска при транспортировке. Диапазоны или ограничения по испытаниям в отношении каждого испытания определяются ожидаемыми условиями окружающей среды (эксплуатации, устойчивости, внешней среды, в помещении, транспортировки, хранения), в которых может оказаться прибор.

Целью документа, содержащего программу испытаний на воздействие окружающей среды, является установление стандартных критериев оценки результатов испытаний на воздействие окружающей среды и соответствующих процедур испытаний для определения технических характеристик с целью закупки, конструирования и испытания прибора. Этот документ должен основываться на ожидаемых рабочих и экстремальных условиях окружающей среды.

Например, Соединенные Штаты Америки подготовили стандартные процедуры и критерии испытаний на воздействие окружающей среды своей Национальной метеорологической службы (НМС) (NWS, 1984), основанные на результатах исследования, в котором обобщены и описаны ожидаемые рабочие и экстремальные диапазоны различных метеорологических величин в зоне ответственности США, и представила предложенные критерии проведения таких испытаний (NWS, 1980). Эти критерии и процедуры состоят из трех частей:

- a) критерии испытаний на воздействие окружающей среды и граничные параметры испытаний в условиях внешней среды, в помещении и при транспортировке/хранении;
- b) процедуры испытаний оцениваемого прибора на основе критериев испытаний на воздействие окружающей среды;
- c) обоснованное предоставление справочной информации о различных условиях окружающей среды, в которых может оказаться прибор, о потенциальном воздействии этих условий на прибор и соответствующее обоснование рекомендованных критериев проведения испытаний.

#### 4.2.3 **Испытание на воздействие электрических и электромагнитных помех**

Распространение приборов и систем автоматизации сбора и обработки данных, содержащих электронные компоненты, во многих случаях ведет к необходимости включения в общую программу проведения испытаний работы приборов в условиях воздействия электрических и электромагнитных помех.

Следует подготовить документ, содержащий программу испытаний на воздействие электрических и электромагнитных помех. Целью этого документа является установление стандартных критериев для проведения испытаний на воздействие электрических и электромагнитных помех и соответствующих процедур испытаний, а также представление единого руководства по техническим характеристикам требований на устойчивость к воздействию электрических и электромагнитных помех с целью закупки и конструирования прибора.

Документ должен основываться на изучении количественных характеристик ожидаемых скачков напряжения в линиях электропередач и времени нарастания электрического импульса, вызванного такими природными явлениями, как грозы. В программу также должны быть включены испытания ожидаемым изменениям электропитания как по напряжению, так и по фазе. Если ожидается, что прибор будет работать в условиях аэропорта или в другой окружающей среде с возможными помехами, вызванными электромагнитным излучением, то такие условия следует также количественно описать и включить в этот стандарт. Целью этой программы может также быть обеспечение того, чтобы прибор сам не стал генератором электромагнитного излучения. Особое внимание следует уделить прибору, содержащему микропроцессор и, следовательно, кварцевый генератор тактовой частоты, который имеет важное значение для временной функции.

#### 4.2.4 **Испытание работоспособности**

Калибровка (поверка) и испытание на воздействие окружающей среды предоставляют необходимую, но недостаточную основу для определения рабочих характеристик прибора или измерительной системы, поскольку калибровка, поверка и лабораторные испытания не могут полностью определить, как будет работать прибор или измерительная система в полевых условиях. Невозможно смоделировать совокупное воздействие всех изменяющихся метеорологических величин, влиянию которых будет подвержен прибор во всех предписанных условиях эксплуатации.

Испытание работоспособности заключается в обычной проверке работы прибора во внешней среде в природных условиях, в которых, как предполагается, будет работать прибор в широком диапазоне изменчивости метеорологических условий и климатических режимов, а в случае приборов для приземных наблюдений, в условиях различной подстилающей поверхности с широким диапазоном альбедо. Испытания работоспособности необходимы для того, чтобы определить, отвечает ли прибор или измерительная система требованиям, предъявляемым к нему при работе в условиях воздействия меняющихся в широком диапазоне величин ветра, количества осадков, температуры, влажности, прямой, рассеянной и отраженной солнечной радиации. Испытания работоспособности становятся все более важными по мере того, как в оперативную практику входит применение электронных приборов, например с использованием электрооптических, пьезоэлектрических и емкостных элементов. На показания этих приборов могут оказывать влияние такие случайно проявившиеся факторы, как насекомые, пауки и их паутина и плотность распределения взвешенных частиц в атмосфере; все это должно быть определено при испытании работоспособности.

Для многих прикладных целей следует провести сравнимость показаний в полевых условиях. Это достигается путем одновременного испытания аналогичных, но разнотипных приборов или измерительных систем с использованием полевого транспортируемого эталона сравнения. Эти сведения представлены в работах Noehne (1971, 1972, 1977).

Испытание работоспособности может планироваться и проводиться лабораториями, предпочтительно аккредитованными, метеорологической службы или другой организации-пользователя или частной компании. При закупке и эксплуатации приборов следует учитывать образовательный уровень и практические навыки наблюдателей и техников, которые будут использовать данную измерительную систему. Использование прибора обслуживающим персоналом должно быть частью программы испытаний. Персонал, который будет устанавливать, использовать, обслуживать и ремонтировать прибор, должен оценивать те части приборов или измерительной системы, в том числе проверять их на соответствие инструкциям и справочникам, которые они будут использовать в своей работе. При составлении закупочных спецификаций следует также учитывать уровень практической подготовки персонала.

### 4.3 КАЛИБРОВКА

#### 4.3.1 Цель калибровки

Калибровка прибора или измерительной системы является первым шагом в определении достоверности данных. Обычно она предусматривает сопоставление показаний датчика с известным эталоном для определения того, насколько близко величина выходного сигнала прибора соответствует показаниям эталона в ожидаемом рабочем диапазоне измерений. Выполнение лабораторной калибровки, безусловно, предполагает, что характеристики прибора достаточно стабильны для проведения его метрологического обслуживания в поле. Записи об очередной калибровке на протяжении эксплуатации прибора должны обеспечивать уверенность в стабильности его показаний.

Как правило, калибровка представляет операцию, которая при определенных условиях устанавливает, в первую очередь, соотношение между количественными величинами с погрешностями измерений, обусловленных эталонами измерений и соответствующими указаниями связанных с этими погрешностями измерений, и, во вторую очередь, использует эту информацию для установления соотношения с целью получения результата измерений из определенного показания (JCGM, 2012). Она должна определить систематическую погрешность прибора/измерительной системы или среднее отклонение от показания эталонного прибора, по которому ведется калибровка; случайную погрешность датчика/системы; диапазон показаний, для которого калибровка действительна, и наличие любых пороговых значений или зон с нелинейной характеристикой. Калибровка также определяет разрешающую способность и гистерезис прибора. Гистерезис следует определять посредством циклических измерений во время калибровки и поверки на всем рабочем диапазоне датчика/системы. Результат калибровки часто выражается калибровочным (градуировочным) коэффициентом или серией калибровочных коэффициентов, представленных в виде калибровочной таблицы или калибровочной кривой. Результаты калибровки могут регистрироваться в документе, называемом калибровочным сертификатом или протоколом калибровки.

Калибровочный сертификат, протокол и свидетельство должны показывать систематическую погрешность, которая впоследствии может быть устранена с помощью механической или электрической юстировки или корректирующего программного обеспечения. Остаточная случайная погрешность не повторяется и не может быть устранена, но может быть определена статистическим методом при достаточном количестве повторных измерений в ходе калибровки.

#### 4.3.2 Эталоны

Калибровка приборов или измерительных систем обычно проводится путем сравнения их показаний с одним или несколькими прослеживаемыми измерительными эталонами. Эти эталоны классифицируются в соответствии с их метрологическими особенностями. Их определения (см. также ОКРМ, 2012) даны в [томе I](#), глава 1, и могут быть кратко сформулированы следующим образом:

**Первичный эталон.** Эталон измерений, установленный с использованием процедуры первичных эталонных измерений или созданный в качестве артефакта, и выбранный в соответствии с соглашением.

Примечание. В случае, когда эти эталоны имеют отношение к калибровочным лабораториям НМГС или РЦП, они должны соответствовать Международной системе единиц (СИ).

**Вторичный эталон.** Эталон измерений, установленный путем калибровки относительно первичного эталона измерений для количества того же типа.

**Международный эталон.** эталон измерений, признанный документами международного соглашения и предназначенный для использования в мировом масштабе.

**Национальный эталон.** Эталон измерений, признанный национальным органом в государстве или экономике в качестве основы для установления количественных значений для других эталонов измерений для соответствующего вида количества.

**Образцовый (исходный, ведомственный) эталон.** Эталон измерений, предназначенный для калибровки других эталонов измерений для количеств данного типа в конкретной организации или в конкретном месте.

**Рабочий эталон.** Эталон измерений, который используется на регулярной основе для калибровки или поверки измерительных приборов или измерительных систем.

**Переходное средство измерений.** Средство, используемое, в качестве промежуточного средства при сравнении эталонов измерений.

**Транспортируемый эталон.** Эталон измерений, имеющий иногда специальную конструкцию и предназначенный для транспортировки между различными пунктами.

Первичные эталоны хранятся в международных или национальных метрологических учреждениях. Определения единиц и их практической реализации одобряются Генеральной конференцией по мерам и весам. Практическое осуществление этих определений представляет собой основную задачу национальных метрологических учреждений; такие учреждения поддерживают первичные эталоны либо путем хранения артефакта, регулярно сравниваемого с международным прототипом, либо путем воспроизводства эксперимента согласно процедуре, что даст количество.

Вторичные эталоны часто хранятся в крупных калибровочных и поверочных лабораториях и, как правило, не пригодны для полевого использования. Эти эталоны обычно называются образцовыми эталонами измерений в соответствии с ISO/IEC 17025 (ISO/IEC, 2017). Рабочие эталоны обычно представляют собой лабораторные приборы, которые откалиброваны по вторичному эталону. Рабочие эталоны, которые могут использоваться в полевых условиях, известны как транспортируемые эталоны. Транспортируемые эталонные приборы могут также использоваться для сравнения приборов в лаборатории или в поле. Все эти эталоны, используемые для метеорологических целей и имеющие отношение к калибровочным лабораториям НМГС или РЦП, должны прослеживаться к Международной системе единиц (СИ).

#### 4.3.3 **Прослеживаемость**

ОКРМ (2012) определяет прослеживаемость, как «свойство результата измерения, в соответствии с которым результат может быть соотнесен с образцом на основе задокументированной непрерывной последовательности калибровок, при этом каждая из них вносит вклад в неопределенность измерения».

Настоятельно рекомендуется обеспечение прослеживаемости метеорологических измерений, например, посредством сличения прибора с транспортируемыми эталонами,

рабочими эталонами и вторичными эталонами, к национальным эталонам, а также чтобы накопленная неопределенность была известна (за исключением тех, которые возникают в полевых условиях и должны быть определены с помощью полевых испытаний).

#### 4.3.4 Практика калибровки

Калибровка метеорологических приборов обычно проводится в лабораториях, где размещены соответствующие эталоны измерений, калибровочные и поверочные устройства. Это могут быть РЦП, национальные лаборатории, лаборатории, учрежденные в структуре НМГС или другой организации-пользователя, либо частные лаборатории. Калибровочная лаборатория отвечает за поддержание качества ее эталонов измерений и за ведение учетных записей об их сличении. Такие лаборатории могут также выдавать калибровочные сертификаты, которые должны также содержать оценку неопределенности калибровки. Для гарантии прослеживаемости калибровочная лаборатория должна быть аккредитована соответствующим национальным органом по аккредитации.

Изготовители метеорологических приборов должны поставлять свою высококачественную продукцию, например барометры или термометры, вместе с калибровочными сертификатами или протоколами калибровки, выпущенными аккредитованной лабораторией. Эти документы не всегда обязательно включаются в базовую цену прибора, а предлагаются в качестве опции за дополнительную плату. Калибровочные сертификаты, выдаваемые аккредитованными лабораториями, могут быть более дорогостоящими, чем заводские сертификаты. Как уже упомянуто в предыдущем разделе, необходимо проводить испытания на воздействие окружающей среды и, возможно, дополнительную калибровку.

Пользователи также могут приобрести калибровочные или измерительные эталоны для своих собственных лабораторий. Хорошее калибровочное устройство должно всегда сочетаться с надлежащим эталоном измерений, например, калибратор температуры в жидкостной ванне с сертифицированными резисторными термометрами. Для вышеприведенного примера следует использовать и дополнительные средства, например, непроводящую кремнийорганическую жидкость. Таким образом, если устройство измерения температуры смонтировано на плате с электронной схемой, то вся плата должна быть погружена в ванну, с тем чтобы устройство можно было испытать в его рабочей конфигурации. Не только калибровочное оборудование и эталоны должны обеспечивать высокую точность измерений, но и инженеры и техники калибровочной лаборатории должны быть хорошо подготовлены в области базовой метрологии и использования имеющихся калибровочных устройств и измерительных эталонов.

Как только приборы прошли первичную калибровку и испытания и были приняты пользователем, следует утвердить программу регулярных калибровочных проверок и калибровок. Хрупкие приборы весьма подвержены возникновению дефектов при транспортировке в полевые условия, некоторые другие приборы могут быть излишне массивными и тяжелыми для простоты их транспортировки. На отдаленных станциях эти приборы должны, по мере возможности, храниться в неподвижном состоянии и калиброваться по более устойчивым к повреждениям передвижным, транспортируемым эталонам, которые могут перевозиться инспекторами с одной станции на другую. Транспортируемые эталоны должны часто сравниваться с рабочим эталоном или исходным образцовым эталоном в калибровочной лаборатории, причем до и после каждой инспекционной поездки.

Подробности процедур лабораторной калибровки, например барометров, термометров, гигрометров, анемометров и приборов по измерению солнечной радиации, содержатся в соответствующих главах настоящего Руководства или в специализированных справочниках. Эти издания содержат также информацию о признанных международных эталонных приборах и калибровочных устройствах. Процедуры калибровки для АМС требуют особого внимания и описаны в [томе III](#), глава 1.

### Практика полевых инспекций

Проведение инспекции в полевых условиях предлагает пользователю возможность проверить прибор на месте. Возможность оставить на месте прибор, установленный на метеорологической станции, исключает любой простой оборудования по организационно-техническим причинам, который имел бы место при перемещении и повторной установке прибора в полевых условиях. Поверка обычно выполняется в одной точке по рабочему эталону, размещенному как можно ближе к прибору, проходящему инспекцию (ППИ). Необходим некоторый период стабилизации для достижения равновесной температуры между рабочим эталоном и ППИ. Следует обращать внимание на близость рабочего эталона к ППИ, градиенты температуры, поток воздуха, разницу давления и любые другие факторы, которые могут повлиять на результаты инспекции. Такая инспекция на местах является эффективным способом выполнения поверки качества прибора. Наиболее существенным недостатком является тот факт, что инспекция обычно ограничена одной точкой. Вторым недостатком заключается в том, что при обнаружении погрешности ППИ необходимо удалить и заменить новым откалиброванным датчиком. После этого следует провести калибровку и коррекцию прибора, прошедшего поверку, по возможности в лаборатории. Следует также отметить, что калибровка на местах предоставляет дополнительную ценную информацию, так как она связана с испытанием всего установленного приборного оборудования в полевых условиях, включая электромонтаж и тому подобное. При выполнении инспекций в полевых условиях важна регистрация метаданных условий во время инспекции, включая все изменения, внесенные в установку прибора (см. дополнительную информацию в [томе III](#), глава 1, 1.7).

### Межлабораторные сравнения

Межлабораторное сравнение (МЛС) определяется как организация и выполнение калибровки и оценка ее результатов для одного и того же прибора двумя или более лабораториями в соответствии с заранее определенными условиями. МЛС представляет собой весьма эффективный способ продемонстрировать техническую компетентность, в связи с чем участие лаборатории в МЛС позволяет этой лаборатории выполнять оценку и демонстрировать надежность получаемых в результате данных измерений при сравнении с результатами других участвующих лабораторий. Помимо этого, МЛС обеспечивают проверку различных методов калибровки, которые используются участвующими лабораториями. Поскольку участие в МЛС представляет собой обязательство, закрепленное органами по аккредитации, согласно ISO/IEC 17025, ожидается, что каждая аккредитованная лаборатория участвует, как минимум, в одном аттестационном испытании/МЛС, по меньшей мере, каждые пять лет для каждого основного раздела главных дисциплин области аккредитации лаборатории. Прежде чем получить аккредитацию, необходимо участие, по меньшей мере, в одном аттестационном испытании/МЛС. Как заявлено в круге ведения МЛС ([том I](#), глава 1, приложение 1.C), РЦП должен принимать участие в МЛС эталонных калибровочных приборов и методов и/или организовывать их.

Поставщик МЛС проводит МЛС и осуществляет соответствующий надзор. Предпочтительно наличие у поставщиков МЛС аккредитации согласно ISO/IEC 17043 (ISO/IEC, 2010). Общие руководящие указания по организации проведения МЛС, разработанные в соответствии с требованиями ISO/IEC 17043, содержатся в [приложении 4.A](#), и необходимо следовать им и осуществлять их в максимальной возможной степени.

#### 4.4 ВЗАИМНЫЕ СРАВНЕНИЯ ПРИБОРОВ

Взаимные сравнения приборов и систем наблюдений, как и установленные процедуры контроля качества, имеют большое значение для создания совместимых комплектов данных. Все взаимные сравнения должны тщательно планироваться и выполняться,

чтобы поддерживать соответствующий и однородный уровень качества измерений каждой метеорологической величины. Многие метеорологические физические величины, например видимость, высота нижней границы облачности и осадки, нельзя непосредственно сравнить с метрологическими эталонами и, следовательно, с абсолютной точкой отсчета. Для таких физических величин первоочередное значение имеют взаимные сравнения.

Сравнения или оценки приборов и наблюдательных систем могут организовываться и проводиться на следующих уровнях:

- a) международные взаимные сравнения, на которых могут присутствовать участники из всех заинтересованных стран в соответствии с общим приглашением;
- b) региональные взаимные сравнения, на которых могут присутствовать участники из стран конкретного региона (например, Региона ВМО) в соответствии с общим приглашением;
- c) многосторонние и двусторонние взаимные сравнения, на которых могут присутствовать участники из двух или более стран, без рассылки общего приглашения;
- d) национальные взаимные сравнения внутри отдельной страны.

Поскольку сравнимость измерений на международном уровне очень важна, ВМО время от времени по линии одного из своих конституционных органов организует международные и региональные сравнения приборов. Такие взаимные сравнения или оценки приборов и систем наблюдений могут быть весьма продолжительными и дорогостоящими. В связи с этим были установлены правила, которые обеспечивают эффективную координацию. Эти правила приведены в [приложениях 4.B и 4.C](#)<sup>3</sup>. В них содержатся общие руководящие принципы, которые, при необходимости, должны дополняться конкретными рабочими правилами по каждому взаимному сравнению (см. соответствующие главы настоящего Руководства).

Ссылки на отчеты о конкретных международных сравнениях ВМО содержатся в других главах настоящего Руководства (см., например, [том I](#), главы 3, 4, 9, 12, 14 и 15). В [приложении 4.D](#) содержится перечень международных сравнений, которые проведены при поддержке КПМН и результаты которых опубликованы в серии технических документов ВМО.

Отчеты о сравнениях на любом уровне должны доводиться до сведения метеорологического сообщества и быть доступными в полном объеме.

---

<sup>3</sup> Рекомендации, одобренные КПМН на ее одиннадцатой сессии (1994 г.) в приложении к рекомендации 14 (КПМН-XI) и приложению IX.

## **ПРИЛОЖЕНИЕ 4.А. РУКОВОДЯЩИЕ ПРИНЦИПЫ ПО ОРГАНИЗАЦИИ МЕЖЛАБОРАТОРНЫХ СРАВНЕНИЙ**

### **1. ВВЕДЕНИЕ**

МЛС определяется стандартом ISO/IEC 17043 (ISO/IEC, 2010) как организация, выполнение и оценка результатов калибровки и испытаний для одного и того же или аналогичного образца двумя или более лабораториями в соответствии с предварительно заданными условиями. МЛС предоставляют лабораториям дополнительные средства для оценки надлежащего качества своей работы либо для целей оценки органами аккредитации, либо для внутреннего процесса обеспечения качества. Методы МЛС варьируются в зависимости от типа исследуемого образца, используемого метода и количества участвующих лабораторий. Обычно в ходе МЛС исследуемый образец, подлежащий измерениям или калибровке, поочередно препровождается участвующим лабораториям.

В соответствии с определениями ISO/IEC 17043, поставщиком МЛС является организация, которая берет на себя ответственность за все задачи по разработке и осуществлению МЛС. Координатор МЛС — это одно или несколько лиц, ответственных за организацию и управление всей деятельностью, связанной с осуществлением МЛС.

### **2. ПРОЦЕДУРА ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ МЕЖЛАБОРАТОРНЫХ СРАВНЕНИЙ**

#### **2.1 Персонал, участвующий в организации и проведении МЛС**

2.1.1 Измерение свойств, представляющих интерес, и статистическая обработка результатов участников выполняются технически компетентным и опытным персоналом поставщика МЛС, который должен обладать соответствующим опытом работы, подготовкой и надлежащими квалификациями.

2.1.2 Обязанности поставщика МЛС, которые должны выполняться в ходе МЛС: инициирование, планирование, выбор подходящих приборов, эксплуатация конкретного оборудования, обращение и распространение образцов МЛС, эксплуатация системы обработки данных, проведение статистического анализа, оценка результатов работы участников МЛС, вынесение мнений и толкований, а также выпуск и визирование отчета по итогам МЛС.

#### **2.2 Обеспечение организации и разработки**

##### **2.2.1 *Протокол МЛС***

2.2.1.1 Протокол МЛС должен быть согласован участниками и задокументирован до начала МЛС. Он должен включать как минимум следующую информацию:

- a) наименование и адрес поставщика МЛС;
- b) наименование, адрес и принадлежность координатора МЛС и другого персонала, участвующего в разработке и осуществлении плана МЛС;
- c) виды деятельности, подлежащие субподряду, а также наименования субподрядчиков, вовлеченных в осуществление плана МЛС;

- d) обязательные критерии для участия;
- e) количество и тип ожидаемых участников плана МЛС;
- f) выбор измеряемых(ой) величин(ы) или характеристик(и), представляющих(ей) интерес;
- g) описание диапазона значений или характеристик, либо и того, и другого, которые следует ожидать от образцов МЛС;
- h) требования к производству, контролю качества, хранению и распределению образцов МЛС;
- i) разумные меры предосторожности для упреждения сговора между участниками или фальсификации результатов, а также процедуры, которые следует применять в случае подозрения в сговоре или фальсификации результатов;
- j) описание информации, которая должна быть предоставлена участникам, и план-график для различных этапов плана МЛС;
- k) даты, когда образцы МЛС должны быть препровождены участникам, крайние сроки возвращения результатов участниками и, в случае необходимости, даты, когда участниками проводятся испытания или измерения;
- l) любая информация о методах или процедурах, которые должны использоваться участниками для подготовки исследуемых материалов и проведения испытаний или измерений;
- m) процедуры для методов испытаний или измерений должны использоваться в целях обеспечения однородности и стабильности проведения испытаний образцов МЛС;
- n) подготовка любых стандартизованных форматов отчетности для использования участниками;
- o) подробный статистический анализ, который будет использоваться;
- p) происхождение, метрологическая прослеживаемость и связанная с измерениями неопределенность любых присвоенных значений;
- q) критерии для оценки результатов участников;
- r) описание данных, промежуточные отчеты или информация, которая будет направлена обратно участникам;
- s) описание степени, в которой результаты участника, а также заключения, которые будут основаны на результатах осуществления плана, подлежат обнаружению.

2.2.1.2 Поставщик МЛС должен обеспечить доступ к необходимым техническим знаниям и опыту. Это может быть достигнуто путем учреждения консультативной группы, в обязанности которой войдет, помимо прочего, следующее: надзор за выбором и подготовкой контрольного образца, надзор за составлением протокола, надзор за выбором метода и процедуры, надзор в полном объеме за коммуникацией с участниками, обеспечение того, чтобы соблюдался график, информирование участников о задержках, информирование каждого участника о следующем участнике плана, контроль за выставлением счета, а также контроль за выдачей промежуточного и окончательного отчета.

## 2.2.2 **Подготовка контрольных образцов**

2.2.2.1 Контрольные образцы должны отвечать потребностям участников МЛС. Подготовка контрольного образца включает его выбор. Первоначально необходимо указать характеристики контрольного образца, такие как стабильность, диапазон, разрешение, неопределенность и тому подобное. Затем осуществляется получение подходящего контрольного образца, либо выбираемого из имеющегося оборудования на складе, либо приобретаемого. После этого выбранный контрольный образец подвергается испытанию (измерения производятся несколько раз, помещаются в условия, которых можно ожидать в ходе транспортировки и производства измерений в участвующих лабораториях), с тем чтобы подтвердить указанные характеристики. Если испытания проходят успешно, образец используется для МЛС.

2.2.2.2 Контрольные образцы с показателем стабильности ниже степени неопределенности любой из участвующих лабораторий не используются для включения в план МЛС, если иное заблаговременно не согласовано с участниками.

## 2.2.3 **Испытание стабильности**

Предварительные проверки стабильности должны быть проведены, и периодические проверки присвоенных свойствам значений должны осуществляться на всем протяжении МЛС. По необходимости значения свойств, подлежащие определению в ходе МЛС, должны периодически измеряться, предпочтительно в диапазоне условий, при которых контрольный образец подлежит хранению до распределения. Контрольные образцы должны демонстрировать достаточную степень стабильности, с тем чтобы гарантировать, что они не претерпят каких-либо существенных изменений в ходе проведения МЛС.

## 2.2.4 **Выбор метода или процедуры**

Ожидается, что участники МЛС будут использовать выбранные ими методы испытаний, калибровки или процедуры измерения в соответствии с принятыми процедурами, используемыми в их лабораториях. При определенных обстоятельствах поставщик МЛС может дать участникам указания использовать конкретный метод. Когда участникам разрешено использовать метод, выбранный ими самими, поставщик МЛС может, по необходимости, запрашивать подробную информацию о выбранном методе, с тем чтобы должным образом интерпретировать результаты, полученные с использованием различных методов испытания.

## 2.3 **Проведение межлабораторных сравнений**

### 2.3.1 **Указания для участников**

Поставщик МЛС должен предоставить подробные задокументированные указания всем участникам, которые обычно включены в МЛС как неотъемлемая часть протокола. Указания для участников должны включать подробную информацию о факторах, которые могли бы повлиять на испытание контрольных образцов; характер контрольных образцов; применяемые для испытаний процедуры; а также сроки проведения испытаний. Конкретные указания, связанные с протоколированием и представлением отчетности о результатах испытаний, должны включать, необязательно этим ограничиваясь: единицы измерения, количество значимых цифр, основание для представления отчетности, а также наиболее поздний срок для получения результатов испытаний.

### 2.3.2 **Обработка и хранение образцов МЛС**

2.3.2.1 Во избежание какого-либо повреждения образцов МЛС, поставщик МЛС должен хранить и ограждать все образцы МЛС, например, от любого потенциального пагубного воздействия влажности, температуры, электричества и магнитного поля, до их распространения среди участников МЛС. Для каждого МЛС образцы должны быть охарактеризованы с точки зрения технических спецификаций, относящихся к условиям окружающей среды, которые могут возникнуть во время транспортировки.

2.3.2.2 Образец МЛС должен быть защищен от любых корректировок (либо посредством пароля для части контрольного образца, либо при помощи пломбы однократного использования).

2.3.2.3 Поставщик МЛС должен обеспечить надлежащую упаковку всех образцов МЛС и предоставить безопасное место хранения и/или складские помещения, упреждая появление повреждений или ухудшение состояния любого образца до его распределения. По необходимости условия хранения или складирования всех образцов должны оцениваться через определенные промежутки времени в течение срока их хранения, с тем чтобы выявить возможное ухудшение состояния. Поставщик МЛС должен контролировать процессы, связанные с упаковкой и маркировкой, в степени, требуемой для обеспечения соответствия существующим региональными, национальными и/или международным требованиям безопасности и транспортировки.

## 2.4 **Анализ данных и интерпретация результатов плана**

### 2.4.1 **Анализ и регистрация данных**

2.4.1.1 Результаты, получаемые от участников, должны быть незамедлительно зарегистрированы и проанализированы при помощи должным образом задокументированных статистических процедур. В случае сомнительных результатов после анализа данных поставщик МЛС должен незамедлительно попросить участника, получившего эти результаты, проверить их. Перед представлением итогового отчета участникам все участники должны проверить свои данные и подтвердить их согласованность. В соответствии с протоколом каждый участник плана МЛС должен сообщить обо всех соответствующих результатах и связанной с ними неопределенности в специально выделенной электронной таблице. Анализ данных должен включать как минимум сводку измерений, статистику эффективности и сопутствующую информацию, соответствующую статистической модели и целям МЛС. Нижеследующие два этапа являются общими для всех МЛС:

- a) Определение присвоенных значений — для формирования присвоенных значений доступны различные процедуры:
  - i) контрольные значения — как определено поставщиком МЛС, на основе анализа, измерений или сравнения тестируемого образца со стандартом, прослеживаемым к национальным или международным стандартам;
  - ii) согласованные значения от экспертных лабораторий — такие лаборатории должны обладать доказуемой компетентностью.

Присвоенное(ые) значение(я) не должно(ы) раскрываться участникам до тех пор, пока не будут сведены результаты. Неопределенность присвоенных значений должна определяться с использованием процедур, описанных в *Руководстве по выражению неопределенности измерений* (ИСО/МЭК, 2008).

- b) Расчет статистики эффективности:

Результаты МЛС часто необходимо преобразовывать в статистику эффективности для целей интерпретации и сравнения. Целью является измерение отклонений

от присвоенного значения таким образом, чтобы можно было оценить эффективность. Часто используемой статистикой количественных результатов в схемах сравнения измерений является число  $E_n$ :

$$E_n = \frac{x_{\text{lab}} - x_{\text{ref}}}{\sqrt{U_{\text{lab}}^2 + U_{\text{ref}}^2}}$$

где  $x_{\text{lab}}$  — результат участника,  $x_{\text{ref}}$  — присвоенное значение,  $U_{\text{lab}}$  — расширенная ( $k=2$ ) неопределенность результата участника и  $U_{\text{ref}}$  — это расширенная ( $k=2$ ) неопределенность присвоенного значения экспертной лаборатории.

В дополнение к  $E_n$  также может быть произведена оценка  $z$ , рассчитываемая как:

$$z = \frac{x - X}{\hat{\sigma}}$$

где  $x$  — результат участника,  $X$  — присвоенное значение, а  $\hat{\sigma}$  — «стандартное отклонение для МЛС», которое можно рассчитать на основании следующего:

- эффективность с точки зрения соответствия целевому назначению, как определено экспертным заключением;
- оценка по предыдущим этапам МЛС или ожидания на основе опыта;
- оценка по статистической модели;
- результаты эксперимента на точность;
- результаты участника — например, характерное или устойчивое стандартное отклонение на основе результатов участника.

## 2.4.2 Оценка эффективности

2.4.2.1 Поставщик МЛС отвечает за обеспечение соответствия метода оценки для поддержания достоверности МЛС. Такой метод должен быть задокументирован в протоколе МЛС и должен включать описание основания, в соответствии с которым проводится оценка. Критерии оценки эффективности основаны на статистическом определении  $E_n$ :

$E_n \leq 1$  = удовлетворительно

$E_n > 1$  = неудовлетворительно

или  $z$ :

$z \leq 2,0$  = удовлетворительная эффективность и не генерирует сигнал

$2,0 < z \leq 3,0$  = сомнительная эффективность и генерирует предупреждающий сигнал

$z > 3$  = неудовлетворительная эффективность и генерирует сигнал к действию

2.4.2.2 Графики должны использоваться везде, где это возможно, для демонстрации эффективности. Они должны показывать распределения значений участников, взаимосвязи между результатами нескольких тестовых заданий и сравнительные распределения для разных методов.

### 2.4.3 **Отчеты МЛС**

Содержание отчетов МЛС может варьироваться в зависимости от цели конкретного плана, но каждый отчет должен быть четким и всеобъемлющим и должен включать данные о распределении результатов всех участников наряду с обозначением эффективности отдельных участников. Следующая информация, как правило, должна включаться в отчеты по планам МЛС:

- a) наименование и контактные данные поставщика МЛС;
- b) наименование и контактные данные координатора МЛС;
- c) дата выпуска отчета;
- d) номер отчета и четкая идентификация МЛС;
- e) четкое описание используемых образцов;
- f) коды участия лабораторий и результаты испытаний;
- g) статистические данные и сводные данные, включая присвоенные значения, диапазон приемлемых результатов и графическое отображение;
- h) процедуры, используемые для установления присвоенного значения;
- i) подробные сведения о прослеживаемости и неопределенности присвоенных значений, где это применимо;
- j) присвоенные значения и сводная статистика для методов/процедур испытаний, используемых другими участниками (если разные участники используют различные методы);
- k) комментарии поставщика МЛС и технических консультантов по поводу эффективности участников;
- l) процедуры, используемые для разработки и реализации плана (что может включать ссылку на протокол плана);
- m) процедуры, используемые для статистического анализа данных;
- n) консультации по интерпретации статистического анализа, где это необходимо.

## 2.5 **Конфиденциальность**

2.5.1 Идентификационные данные участников МЛС обычно являются конфиденциальными и известны лишь минимальному количеству лиц, участвующих в осуществлении и оценке МЛС. Вся информация, предоставленная участником поставщику МЛС, должна рассматриваться как конфиденциальная.

2.5.2 Участники могут договориться об отказе от конфиденциальности своих идентификационных данных в протоколе МЛС и/или в отчете МЛС.

2.5.3 Выбранный вариант должен быть подтвержден единогласным соглашением всех участников на основании письменного подтверждения, когда они дают свое согласие на участие в МЛС.

## **ПРИЛОЖЕНИЕ 4.В. ПРОЦЕДУРЫ ПРОВЕДЕНИЯ ГЛОБАЛЬНЫХ И РЕГИОНАЛЬНЫХ ВЗАИМНЫХ СРАВНЕНИЙ ПРИБОРОВ ВМО**

1. Взаимное сравнение приборов и методов наблюдений ВМО должно быть одобрено соответствующим конституционным органом ВМО с целью признания в качестве взаимного сравнения ВМО.
2. Исполнительный совет будет рассматривать утверждение взаимного сравнения и его включение в программу и бюджет ВМО.
3. Когда возникает срочная необходимость в проведении специального взаимного сравнения, которое не рассматривалось на сессии конституционного органа, президент соответствующего органа может представить соответствующее предложение Президенту ВМО для утверждения.
4. Перед каждым взаимным сравнением Генеральный секретарь при содействии президента КПМН и, возможно, президентов других технических комиссий, региональных ассоциаций или руководителей соответствующих программ должен с достаточной заблаговременностью провести опрос с целью выяснения желания какого-либо Члена или нескольких Членов организовать сравнение, а также выявления заинтересованности Членов в участии в таком взаимном сравнении.
5. Если хотя бы один Член ВМО согласится выступать в качестве страны-организатора сравнений и наберется достаточное число Членов, заявивших о своей заинтересованности участвовать в этих сравнениях, президент КПМН по согласованию в необходимых случаях с главами соответствующих конституционных органов должен учредить международный организационный комитет.
6. До начала взаимного сравнения организационный комитет должен решить вопросы, связанные с его организацией, например, как минимум определить основные задачи, место, время и продолжительность проведения взаимного сравнения, условия участия, методологию сбора, обработки и анализа полученных данных, планы публикации результатов, правила проведения взаимного сравнения и обязательства страны-организатора и участников.
7. Страна-организатор должна назначить руководителя проекта, который будет отвечать за надлежащее проведение взаимного сравнения, анализ данных и подготовку окончательного отчета о взаимном сравнении по согласованию с организационным комитетом. Руководитель проекта является членом организационного комитета в силу занимаемой должности.
8. Если организационный комитет принял решение о проведении сравнения на полигонах в различных странах-организаторах, каждая из этих стран должна назначить своего руководителя сравнения. Сфера ответственности каждого руководителя сравнения и руководителя проектом в целом определяются организационным комитетом.
9. Генеральному секретарю предлагается сразу после учреждения организационного комитета проинформировать Членов о запланированном взаимном сравнении. Приглашение должно содержать информацию об организации и правилах проведения взаимного сравнения, одобренные организационным комитетом. Члены, принимающие участие в сравнениях, должны соблюдать эти правила.
10. Вся дальнейшая переписка между страной(ами)-организатором(ами) и участниками по организационным вопросам должна вестись руководителем проекта, а в определенных случаях руководителем сравнения, если организационный комитет не определит другой порядок.

11. В случае необходимости в ходе взаимного сравнения могут быть организованы заседания организационного комитета.
  12. По завершении взаимного сравнения организационный комитет должен обсудить и утвердить основные результаты анализа данных взаимного сравнения и внести предложения об использовании этих результатов метеорологическим сообществом.
  13. Окончательный отчет о взаимном сравнении, подготовленный руководителем проекта и утвержденный организационным комитетом, должен быть опубликован в серии отчетов ВМО по приборам и методам наблюдений.
-

## **ПРИЛОЖЕНИЕ 4.С. РУКОВОДЯЩИЕ ПРИНЦИПЫ ПО ОРГАНИЗАЦИИ ВЗАИМНЫХ СРАВНЕНИЙ ПРИБОРОВ ВМО**

### **1. ВВЕДЕНИЕ**

1.1 Настоящие руководящие принципы являются дополнением к процедурам проведения глобальных и региональных взаимных сравнений метеорологических приборов ВМО. В них предусматривается, что для взаимных сравнений создается международный организационный комитет, а также приводятся руководящие указания для организационного комитета по проведению сравнений. В частности, см. [том I](#), глава 12, приложение 12.D.

1.2 Однако, поскольку все взаимные сравнения в определенной степени различаются между собой, эти руководящие принципы следует рассматривать как обобщенный перечень задач. Задачи могут изменяться в зависимости от ситуации, но при этом имеется в виду, что основными критериями проведения взаимных сравнений ВМО и оценок результатов должны быть беспристрастность и научная значимость.

1.3 Окончательные отчеты о других взаимных сравнениях ВМО и отчеты заседаний организационных комитетов могут служить в качестве примеров проведения взаимных сравнений. Эти отчеты имеются в Департаменте Всемирной службы погоды Секретариата ВМО.

### **2. ЦЕЛИ ВЗАИМНЫХ СРАВНЕНИЙ**

Организационному комитету следует изучить ожидаемые результаты взаимных сравнений и определить конкретные проблемы, которые могут возникнуть. Он должен подготовить ясное и детальное заявление об основных целях взаимных сравнений и согласовать критерии, которые должны будут использоваться при оценке результатов. Организационный комитет должен также изучить вопрос, как наилучшим образом гарантировать успех взаимных сравнений, используя, при необходимости, опыт, накопленный в ходе предыдущих сравнений.

### **3. МЕСТО, ВРЕМЯ И ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ПРОВЕДЕНИЯ**

3.1 Секретариату следует предложить стране-организатору предоставить организационному комитету описание предложенного места проведения взаимных сравнений и условий (местоположение, характеристики окружающей среды, климатологические параметры, основные топографические особенности и пр.). Страна-организатор должна также назначить руководителя проекта<sup>1</sup>.

3.2 Организационному комитету следует изучить пригодность предложенного полигона и его технических средств, предложить необходимые изменения и принять решение о полигоне и технических средствах, которые должны использоваться при взаимных сравнениях. Руководитель проекта должен затем подготовить полное описание места и окружающих условий. Организационный комитет по согласованию с руководителем проекта должен принять решение о дате начала взаимных сравнений и их продолжительности.

---

<sup>1</sup> В тех случаях, когда сравнения проводятся более чем на одном полигоне, должны быть, в соответствии с требованием, назначены руководители полигонов для сравнений. Некоторые задачи руководителя проекта, описанные в этом приложении, должны быть поручены руководителям полигонов для сравнений.

3.3 Руководитель проекта должен предложить дату, когда полигон для сравнений и его технические средства будут предоставлены в распоряжение участников сравнений для установки своего оборудования и его подключения к системе сбора данных. График работ должен предусматривать время на проверку и тестирование оборудования и знакомство операторов с рабочими процедурами и установленным порядком.

#### 4. УЧАСТИЕ В СРАВНЕНИЯХ

4.1 Организационный комитет должен рассмотреть технические и оперативные аспекты, особые пожелания и предпочтения, ограничения, приоритеты и описания различных типов приборов для взаимных сравнений.

4.2 Обычно к сравнениям допускаются лишь те приборы, которые используются Членами в оперативной работе либо планируются к оперативному использованию в ближайшем будущем. В обязанности стран-участниц входит калибровка (поверка) своих приборов по признанным измерительным эталонам перед их отправкой на полигон и предоставление соответствующих калибровочных сертификатов и свидетельств о поверке. Участников могут просить предоставить два идентичных прибора каждого типа для получения большей достоверности данных. Однако это не должно быть условием для участия.

4.3 Организационный комитет должен составить детализированный вопросник, чтобы получить необходимую информацию по каждому прибору, предлагаемому для взаимных сравнений. Руководитель проекта должен предоставить дополнительные сведения и обеспечить заполнение этого вопросника как можно скорее. Участников могут попросить детализировать в своих ответах требования к подсоединению аппаратуры и уточнить характеристики программного обеспечения, а также предоставить соответствующую документацию (ориентировочный перечень вопросов имеется в Секретариате ВМО).

4.4 Затем председатель организационного комитета должен предложить:

- a) Генеральному секретарю официально пригласить Членов (которые проявили интерес) принять участие во взаимных сравнениях. Приглашение должно включать всю необходимую информацию о правилах взаимных сравнений, подготовленную организационным комитетом и руководителем проекта;
- b) руководителю проекта поддерживать все дальнейшие контакты с участниками.

#### 5. СБОР ДАННЫХ

##### 5.1 Установка оборудования

5.1.1 Организационный комитет должен дать оценку предложенному плану размещения приборов, подготовленному руководителем проекта, и утвердить это размещение приборов для проведения взаимных сравнений. Особое внимание следует уделить беспристрастному надлежащему размещению и экспозиции приборов с учетом критериев и стандартов ВМО и других международных организаций. Принятые критерии размещения и экспозиции должны быть задокументированы.

5.1.2 Специальные запросы участников в отношении установки приборов должны рассматриваться и утверждаться, в случаях приемлемости, руководителем проекта от имени организационного комитета.

## 5.2 **Стандарты и эталонные измерительные приборы**

Страна-организатор должна предпринять все меры для включения во взаимные сравнения, по крайней мере, одного эталонного измерительного прибора. Калибровка этого прибора должна иметь прослеживаемость к национальным или международным эталонам. Описание и характеристики этого прибора (эталона) должны быть предоставлены в распоряжение организационного комитета. Если для измеряемой физической величины не существует признанного стандарта или эталонного измерительного прибора, организационный комитет должен одобрить эталон для взаимных сравнений.

## 5.3 **Сопутствующие наблюдения и измерения**

Организационный комитет должен согласовать перечень метеорологических величин и параметров окружающей среды, которые должны измеряться или наблюдаться на площадке проведения взаимных сравнений на протяжении всего периода сравнений. Он должен подготовить программу этих измерений и просить страну-организатора выполнить эту программу. Результаты выполнения этой программы следует за протоколировать в формате, пригодном для анализа взаимных сравнений.

## 5.4 **Система сбора данных**

5.4.1 Обычно страна-организатор должна предоставить необходимую систему сбора данных, способную регистрировать соответствующие аналоговые, импульсные и цифровые (последовательные или параллельные) сигналы со всех приборов, участвующих в сравнениях. Страна-организатор должна предоставить в распоряжение организационного комитета описание и блок-схему всей последовательности измерений. Организационный комитет совместно с руководителем проекта должен принять решение о том, будут ли приниматься аналоговые записи на ленте самописца и визуальное снятие показаний с дисплеев для целей проведения анализа измерений, либо они будут использоваться только для контроля работы приборов.

5.4.2 Аппаратная и программная части системы сбора данных должны быть тщательно испытаны перед началом сравнений, и необходимо принять меры по недопущению пропусков в регистрации данных на протяжении всего периода взаимных сравнений.

## 5.5 **Методика сбора данных**

Организационный комитет должен согласовать соответствующие процедуры сбора данных, такие как частота проведения измерений, выборка данных, осреднение, предварительная обработка данных, форматы данных, оперативный контроль качества и пр. В случае если сводки данных должны предоставляться участниками в ходе взаимных сравнений или если имеются данные в виде записи на ленте самописца или визуального снятия показаний, организационный комитет должен принять решение об ответственности за проверку этих данных, о периоде времени, в течение которого эти данные должны быть предоставлены в распоряжение руководителя проекта, и о форматах и носителях, которые позволят хранить эти данные в базе данных страны-организатора. По возможности должны проводиться непосредственные сравнения с показаниями эталонного измерительного прибора.

## 5.6 **График взаимных сравнений**

Организационный комитет должен принять решение в отношении содержания графика проведения взаимных сравнений, включая обычные и специальные задачи, и подготовить временную диаграмму. Подробный график должен быть в дальнейшем подготовлен руководителем проекта.

## 6. **ОБРАБОТКА И АНАЛИЗ ДАННЫХ**

### 6.1 **База данных и доступность данных**

6.1.1 Все необходимые данные взаимных сравнений, включая сопутствующие метеорологические данные и данные о состоянии окружающей среды, должны храниться в базе данных для дальнейшего анализа под наблюдением руководителя проекта. Организационный комитет совместно с руководителем проекта должен предложить единый формат для всех данных, включая те данные, которые сообщаются участниками в ходе взаимных сравнений. Организационный комитет должен принять решение о мониторинге данных и проверке проведения контроля качества данных почти в реальном масштабе времени для обеспечения достоверности базы данных.

6.1.2 По завершении взаимных сравнений страна-организатор должна по запросу предоставить каждой стране-участнице комплект данных, полученных с предоставленных ей приборов. Этот комплект также должен содержать сопутствующие метеорологические данные, а также данные о состоянии окружающей среды и образцовых приборах.

### 6.2 **Анализ данных**

6.2.1 Организационный комитет должен предложить основные принципы выполнения анализа и обработки данных и представления результатов. Он должен утвердить методы преобразования данных, алгоритмы калибровки и внесения поправок, а также подготовить перечень терминов, определений, сокращенных наименований и соотношений (если они отличаются от общепринятой, документально оформленной практики). Он должен тщательно обдумать и подготовить всестороннее описание предложенных статистических методов, которые соответствуют достижению целей взаимных сравнений.

6.2.2 В случае, когда невозможно провести прямые, синхронизированные во времени сравнения приборов один на один (например, в случае разнесения в пространстве испытываемых приборов), следует применять методы анализа, основанные на статистическом распределении. В тех случаях, когда не существует эталонов (например, при измерении нижней границы облачности, метеорологической дальности видимости и пр.), приборы должны сравниваться с относительным эталонным измерительным прибором, выбранным из числа испытываемых приборов, основываясь на срединных или наивероятнейших значениях; при этом следует обращать внимание на исключение нерепрезентативных значений из выборочного подкомплекта данных.

6.2.3 Всякий раз, когда второе взаимное сравнение проводится спустя некоторое время после первого или в последующей фазе текущего взаимного сравнения, следует применять методы анализа и представления данных, которые использовались на первом этапе. Это не должно исключать добавления новых методов.

6.2.4 Как правило, руководитель проекта должен отвечать за обработку и анализ данных. Он должен как можно быстрее проверить пригодность отобранных процедур анализа и, по мере необходимости, готовить промежуточные отчеты для получения комментариев от членов организационного комитета. На основе этих обзоров должен рассматриваться вопрос о необходимости внесения изменений.

6.2.5 По завершении взаимных сравнений организационный комитет должен рассмотреть результаты и анализ данных, представленные руководителем проекта. Он должен обратить особое внимание на рекомендации по использованию результатов взаимных сравнений и содержание окончательного отчета.

## 7. **ОКОНЧАТЕЛЬНЫЙ ОТЧЕТ О ПРОВЕДЕНИИ ВЗАИМНЫХ СРАВНЕНИЙ**

7.1 Организационный комитет должен подготовить проект содержания окончательного отчета и поручить руководителю проекта подготовить на его основе предварительный отчет.

7.2 Окончательный отчет о проведении взаимного сравнения должен содержать по каждому прибору краткое изложение основных характеристик точности измерений и рабочих характеристик. Результаты статистического анализа должны быть представлены либо в табличной, либо, в соответствующих случаях, в графической форме. Временные ряды наблюдений должны рассматриваться по выборочным периодам, содержащим результаты, представляющие особую значимость. Стране-организатору следует предложить подготовить главу, описывающую базу данных и технические средства, использованные для обработки, анализа и хранения данных.

7.3 Организационный комитет должен согласовать процедуры утверждения окончательного отчета, такие как:

- a) руководитель проекта готовит проект окончательного отчета и представляет его на рассмотрение всех членов организационного комитета, а также, в соответствующих случаях, Членам ВМО;
- b) комментарии и дополнения должны быть представлены в установленные сроки в адрес руководителя проекта и в копии председателю организационного комитета;
- c) в случае, если предлагаются лишь незначительные поправки, отчет может быть доработан руководителем проекта и направлен в Секретариат ВМО для публикации;
- d) в случае значительных дополнений или возникновения серьезных проблем, которые невозможно решить по переписке, рассматривается вопрос о созыве дополнительного заседания организационного комитета (президент КПМН должен быть немедленно проинформирован о такой ситуации).

7.4 Организационный комитет может принять решение о представлении руководителем проекта и сотрудниками проекта промежуточных и окончательных результатов на технических конференциях.

## 8. **ОБЯЗАТЕЛЬСТВА**

### 8.1 **Обязательства участников**

8.1.1 Участники несут полную ответственность за транспортировку всего представленного оборудования, выполнение всех формальных процедур по импорту и экспорту своего оборудования, а также несут любые связанные с этим расходы. Следует точно придерживаться процедур импорта/экспорта во избежание задержек, связанных с этим процессом.

8.1.2 Участники сами устанавливают и демонтируют любое оборудование под наблюдением руководителя проекта, за исключением случаев, когда эту работу берет на себя страна-организатор.

8.1.3 Каждый участник предоставляет все необходимое вспомогательное и монтажное оборудование, сигнальные и силовые кабели и соединения (совместимые со стандартами страны-организатора), запасные части и расходные материалы для своего оборудования. Участник, нуждающийся в специальном или нестандартном источнике энергии, должен привезти с собой свой собственный преобразователь или адаптер. Участники предоставляют все подробные инструкции и наставления, необходимые для установки, эксплуатации, калибровки и повседневного обслуживания приборов.

## 8.2 Поддержка от страны-организатора

8.2.1 Страна-организатор должна предоставить по запросу необходимую информацию странам-участницам о временных и постоянных (в случае расходных материалов) процедурах, связанных с импортом и экспортом. Она должна оказывать помощь в распаковке и установке оборудования участников и предоставить помещения или шкафы для размещения оборудования, требующего защиты от атмосферных воздействий, и для хранения запасных частей, наставлений, расходных материалов и пр.

8.2.2 Страна-организатор должна предоставить достаточное количество вспомогательного оборудования или сооружений, таких как вышки, укрытия, основания или фундаменты.

8.2.3 Должна быть предоставлена подача необходимой электроэнергии для всех приборов. Участники должны быть информированы о напряжении и частоте тока в сети и их стабильности. Подсоединение приборов к системе сбора данных и к источнику питания проводится совместно с участниками. Руководитель проекта должен согласовать с каждым участником вопрос о предоставлении участником либо страной-организатором силовых и сигнальных кабелей достаточной длины (и с соответствующими соединениями).

8.2.4 Страна-организатор отвечает за получение официального разрешения на проведение измерений в атмосфере, например использование частот, использование лазерного излучения, выполнение норм гражданского и авиационного законодательства и пр. Каждый участник должен предоставить необходимые документы по запросу руководителя проекта.

8.2.5 Страна-организатор может предоставить информацию о размещении участников, переездах, местном транспорте, ежедневном материально-техническом обеспечении и пр.

## 8.3 Обслуживание, предоставляемое страной-организатором

8.3.1 Страна-организатор предоставляет оператора для повседневного обслуживания приборов только в случае проведения продолжительных сравнений, для которых оправдано отсутствие участников или их представителей.

8.3.2 Когда страна-организатор отвечает за предоставление операторов по обслуживанию, она должна:

- a) предоставить обычного оператора для обслуживания каждого прибора, например для его чистки, смены ленты самописца и повседневных корректировок, как указано в предоставленных участником инструкциях по эксплуатации;
- b) ежедневно проверять каждый прибор, участвующий во взаимных сравнениях, и немедленно информировать назначенное ответственное лицо, представляющее участника, о любых неисправностях, которые нельзя устранить с помощью обычного обслуживания;
- c) предпринять все усилия для проведения периодических калибровок и поверок приборов в соответствии с подробными инструкциями участника.

8.3.3 Руководитель проекта должен вести в журнале регулярную регистрацию функционирования всего оборудования, участвующего во взаимных сравнениях. Этот журнал должен содержать замечания обо всем происходящем, что может оказать влияние на проведение взаимных сравнений, обо всех событиях, связанных с участвующими приборами, а также с оборудованием и техническими средствами, предоставленными страной-организатором.

## 9. ПРАВИЛА В ХОДЕ СРАВНЕНИЙ

9.1 Руководитель проекта осуществляет общий контроль за ходом взаимных сравнений от имени организационного комитета.

9.2 Никакие изменения в аппаратном оборудовании и программном обеспечении не разрешаются без согласия руководителя проекта.

9.3 Незначительные ремонтные работы, такие как замена предохранителя, разрешаются по согласованию с руководителем проекта.

9.4 Калибровки, поверки и техническое обслуживание приборов участниками, которые требуют специальных знаний или специального оборудования, будут разрешаться в соответствии с заранее установленными процедурами.

9.5 По всем вопросам, возникающим в ходе проведения сравнений в отношении оборудования участников, следует обращаться к руководителю проекта.

9.6 Руководитель проекта может выбрать период в течение взаимных сравнений, во время которого прибор будет работать с увеличенными интервалами между обычным регулярным обслуживанием, чтобы оценить подверженность оборудования влиянию окружающей среды. Такие же увеличенные интервалы будут применяться ко всем приборам.

---

## ПРИЛОЖЕНИЕ 4.D. ОТЧЕТЫ О МЕЖДУНАРОДНЫХ СРАВНЕНИЯХ, ПРОВЕДЕННЫХ ПОД ЭГИДОЙ КОМИССИИ ПО ПРИБОРАМ И МЕТОДАМ НАБЛЮДЕНИЙ

Информация в следующей таблице отсортирована по теме или прибору, в алфавитном порядке, а отчеты по каждой теме приведены в обратном хронологическом порядке.

Примечание. С большинством недавних отчетов можно ознакомиться по ссылке: <https://community.wmo.int/en/activity-areas/imop/publications-and-iom-reports>. Отчеты о международных взаимных сравнениях пиргелиометров в рамках ВМО, проводимых Мировым радиационным центром в Давосе, Швейцария, и организуемых с пятилетними интервалами, также распространяются ВМО.

Тема	Номер отчета о приборах и наблюдениях	Название отчета
Барометры	46	<i>The WMO Automatic Digital Barometer Intercomparison</i> (de Bilt, Netherlands, 1989–1991), J.P. van der Meulen, WMO/TD-No. 474 (1992)
Ветер	62	<i>WMO Wind Instrument Intercomparison</i> (Mont Aigoual, France, 1992–1993), P. Gregoire and G. Oualid, WMO/TD-No. 859 (1997)
Видимость	41	<i>The First WMO Intercomparison of Visibility Measurements Final Report</i> (United Kingdom, 1988/1989), D.J. Griggs, et al., WMO/TD-No. 401 (1990)
Влажность	106	<i>WMO Field Intercomparison of Thermometer Screens/Shields and Humidity Measuring Instruments</i> (Ghardaïa, Algeria, November 2008 – October 2009), Bousri, D.; Leroy, M.; Mezred, M., WMO/TD-No. 1579
Влажность	38	<i>WMO International Hygrometer Intercomparison</i> (Oslo, Norway, 1989), J. Skaar, et al., WMO/TD-No. 316 (1989)
Влажность	34	<i>WMO Assmann Aspiration Psychrometer Intercomparison</i> (Potsdam, German Democratic Republic, 1987), D. Sonntag, WMO/TD-No. 289 (1989)
Высота нижней границы облачности	32	<i>WMO International Ceilometer Intercomparison</i> (United Kingdom, 1986), D.W. Jones, et al, WMO/TD-No. 217 (1988)
Интенсивность дождевых осадков	99	<i>WMO Field Intercomparison of Rainfall Intensity Gauges</i> (Vigna di Valle, Italy, October 2007–April 2009), E. Vuerich, et al., WMO/TD-No. 1504 (2009)
Интенсивность дождевых осадков	84	<i>WMO Laboratory Intercomparison of Rainfall Intensity Gauges</i> (France, The Netherlands, Italy, September 2004–September 2005), L. Lanza, et al., WMO/TD-No. 1304 (2006)
Осадки	67	<i>WMO Solid Precipitation Measurement Intercomparison – Final Report</i> , B.E. Goodison, et al., WMO/TD-No. 872 (1998)
Осадки	17	<i>International Comparison of National Precipitation Gauges with a Reference Pit Gauge</i> (1984), B. Sevruck and W.R. Hamon, WMO/TD-No. 38 (1984)
Пиранометры	98	<i>Sub-Regional Pyranometer Intercomparison of the RA VI members from South-Eastern Europe</i> (Split, Croatia, 22 July–6 August 2007), K. Premec, WMO/TD-No. 1501 (2009)

<i>Тема</i>	<i>Номер отчета о приборах и наблюдениях</i>	<i>Название отчета</i>
Пиранометры	16	<i>Radiation and Sunshine Duration Measurements: Comparison of Pyranometers and Electronic Sunshine Duration Recorders of RA VI</i> (Budapest, Hungary, July–December 1984), G. Major, WMO/TD-No. 146 (1986)
Пиргелиометры	124	<i>Second International Pyrgeometer Intercomparison – Final Report</i> , (Davos, Switzerland, 27 September–15 October 2015), J. Gröbner and C. Thomann (2018)
Пиргелиометры	113	<i>Third WMO Regional Pyrheliometer Comparison of RA II</i> (Tokyo, 23 January – 3 February 2012), N. Ohkawara, et al. (2013)
Пиргелиометры	112	<i>Baltic Region Pyrheliometer Comparison</i> (Norrköping, Sweden, 21 May–1 June 2012), T. Carlund (2013)
Пиргелиометры	108	<i>WMO International Pyrheliometer Comparison</i> (Davos, Switzerland, 27 September–15 October 2010), W. Finsterle (2011)
Пиргелиометры	97	<i>Second WMO Regional Pyrheliometer Comparison of RA II</i> (Tokyo, 22 January–2 February 2007), H. Sasaki, WMO/TD-No. 1494 (2009)
Пиргелиометры	91	<i>International Pyrheliometer Comparison</i> (Davos, Switzerland, 26 September–14 October 2005), W. Finsterle, WMO/TD-No. 1320 (2006)
Пиргелиометры	64	<i>Tercera Comparación Regional de la OMM de Pirheliómetros Patrones Nacionales AR III – Informe Final</i> (Santiago, Chile, 24 February–7 March 1997), M.V. Muñoz, WMO/TD-No. 861 (1997)
Пиргелиометры	53	<i>Segunda Comparación de la OMM de Pirheliómetros Patrones Nacionales AR III</i> (Buenos Aires, Argentina, 25 November–13 December 1991), M. Ginzburg, WMO/TD-No. 572 (1992)
Пиргелиометры	44	<i>First WMO Regional Pyrheliometer Comparison of RA IV</i> (Ensenada, Mexico, 20–27 April 1989), I. Galindo, WMO/TD-No. 345 (1989)
Пиргелиометры	43	<i>First WMO Regional Pyrheliometer Comparison of RA II and RA V</i> (Tokyo, 23 January–4 February 1989), Y. Sano, WMO/TD-No. 308 (1989)
Пиргеометры	129	<i>Second International Pyrgeometer Intercomparison – Final Report</i> , (Davos, Switzerland, 27 September–15 October 2015), J. Gröbner and C. Thomann (2018)
Радиозонды	107	<i>WMO Intercomparison of High Quality Radiosonde Systems</i> (Yangjiang, China, 12 July–3 August 2010), J. Nash, et al., WMO/TD-No. 1580 (2011) (clarification note)
Радиозонды	90	<i>WMO Intercomparison of GPS Radiosondes</i> (Alcantâra, Brazil, 20 May–10 June 2001), R. da Silveira, et al., WMO/TD-No. 1314 (2006)
Радиозонды	85	<i>WMO Radiosonde Humidity Sensor Intercomparison</i> , Final Report of Phase I and Phase II (Phase I: Russian Federation, 1995–1997; Phase II: USA, 8–26 September 1995), Phase I: A. Balagurov, et al.; Phase II: F. Schmidlin, WMO/TD-No. 1305 (2006)
Радиозонды	83	<i>WMO Intercomparison of Radiosonde Systems</i> (Vacoas, Mauritius, 2–25 February 2005), J. Nash, et al., WMO/TD-No. 1303 (2006)

<i>Тема</i>	<i>Номер отчета о приборах и наблюдениях</i>	<i>Название отчета</i>
Радиозонды	76	<i>Executive Summary of the WMO Intercomparison of GPS Radiosondes</i> (Alcantara, Maranhão, Brazil, 20 May–10 June 2001), R.B. da Silveira, et al., WMO/TD-No. 1153 (2003)
Радиозонды	59	<i>WMO International Radiosonde Comparison, Phase IV</i> (Tsukuba, Japan, 15 February–12 March 1993), S. Yagi, et al., WMO/TD-No. 742 (1996)
Радиозонды	40	<i>WMO International Radiosonde Comparison, Phase III</i> (Dzhambul, USSR, 1989), A. Ivanov, et al., WMO/TD-No. 451 (1991)
Радиозонды	29	<i>WMO International Radiosonde Intercomparison Phase II</i> (Wallops Island, United States, 4 February–15 March 1985), F.J. Schmidlin, WMO/TD-No. 312 (1988)
Радиозонды	30	<i>WMO International Radiosonde Comparison</i> (United Kingdom, 1984/United States, 1985), J. Nash and F.J. Schmidlin, WMO/TD-No. 195 (1987)
Радиозонды	28	<i>WMO International Radiosonde Comparison Phase I</i> (Beaufort Park, United Kingdom, 1984), A.H. Hooper, WMO/TD-No. 174 (1986)
Текущая погода	73	<i>WMO Intercomparison of Present Weather Instruments/Systems – Final Report</i> (Canada and France, 1993–1995), M. Leroy, et al., WMO/TD-No. 887 (1998)
Термометрическая будка	106	<i>WMO Field Intercomparison of Thermometer Screens/Shields and Humidity Measuring Instruments</i> (Ghardaïa, Algeria, November 2008–October 2009), M. Lacombe, et al., WMO/TD-No. 1579 (2011)

## СПРАВОЧНАЯ И ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Hoehne, W.E. *Standardizing Functional Tests*. NOAA Technical Memorandum NWS T&EL-12; United States Department of Commerce: Stirling, Virginia, 1971. <https://repository.library.noaa.gov/view/noaa/33644>
- Hoehne, W.E., 1972: Standardizing functional tests. Preprints of the Second Symposium on Meteorological Observations and Instrumentation, American Meteorological Society, pp. 161–165.
- Hoehne, W.E. *Progress and Results of Functional Testing*. NOAA Technical Memorandum, NWS T&EL-15; United States Department of Commerce: Stirling, Virginia, 1977.
- International Electrotechnical Commission (IEC). *Classification of Environmental Conditions – Part 1: Environmental Parameters and their Severities*; IEC 60721-1; Geneva, 2002. <https://webstore.iec.ch/publication/3030>
- International Organization for Standardization (ISO). Sampling procedures for inspection by attributes – Part 1: Sampling schemes indexed by acceptance quality limit (AQL) for lot-by-lot inspection; ISO 2859-1:1999; Geneva, 1999. <https://www.iso.org/standard/1141.html>
- International Organization for Standardization (ISO). Sampling procedures for inspection by variables – Part 1: Specification for single sampling plans indexed by acceptance quality limit (AQL) for lot-by-lot inspection for a single quality characteristic and a single AQL; ISO 3951-1:2022; Geneva, 2022. <https://www.iso.org/standard/74706.html>
- International Organization for Standardization (ISO)/International Electrotechnical Commission (IEC) *Uncertainty of Measurement – Part 3: Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM: 1995)*; ISO/IEC Guide 98-3:2008, incl. Suppl. 1:2008/Cor 1:2009, Suppl. 1:2008, Suppl. 2:2011; Geneva, 2008 (Equivalent to: JCGM, 2008: *Evaluation of Measurement Data – Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement*; JCGM 100:2008, corrected in 2010, incl. JCGM 101:2008, JCGM 102:2011M; 2008).
- International Organization for Standardization (ISO)/International Electrotechnical Commission (IEC). Conformity assessment – General requirements for the competence of proficiency testing providers; ISO/IEC 17043:2023; Geneva, 2023. <https://www.iso.org/standard/80864.html>
- International Organization for Standardization (ISO)/International Electrotechnical Commission (IEC). *General requirements for the competence of testing and calibration laboratories*; ISO/IEC 17025:2017; Geneva, 2017. <https://www.iso.org/standard/66912.html>
- Joint Committee for Guides in Metrology (JCGM). *International Vocabulary of Metrology – Basic and General Concepts and Associated Terms (VIM)*; JCGM 200:2012; 2012.
- National Weather Service (NWS). *Natural Environmental Testing Criteria and Recommended Test Methodologies for a Proposed Standard for National Weather Service Equipment*; United States Department of Commerce: Stirling, Virginia, 1980.
- National Weather Service (NWS). *NWS Standard Environmental Criteria and Test Procedures*; United States Department of Commerce: Stirling, Virginia, 1984.
- Всемирная метеорологическая организация (ВМО). *Сборник основных документов № 1* (ВМО-№ 15). Женева, 2023 г.
- World Meteorological Organization (WMO) 2018. J. Bojkovski; J. Drnovsek; D. Groselj et al. *Interlaboratory Comparison in the field of Temperature, Humidity and Pressure, in the WMO Regional Association VI (MM-ILC-2015-THP)*, Report No. 128, World Meteorological Organization (WMO): Geneva, 2018.
- World Meteorological Organization (WMO)/International Council of Scientific Unions (ICU) 1986. *Revised Instruction Manual on Radiation Instruments and Measurements* (WMO/TD-No. 149). World Climate Research Programme (WCRP) Publications Series No. 7. Geneva, 1986.
-

## **ГЛАВА 5. ПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ ПОДГОТОВКА СПЕЦИАЛИСТОВ ПО ПРИБОРАМ**

### **5.1 ВВЕДЕНИЕ**

#### **5.1.1 Общие сведения**

Поскольку научная и прикладная метеорология все чаще опирается на непрерывные ряды измерений с использованием все более усложняющихся приборов и систем, настоящая глава сосредоточена на профессиональной подготовке тех специалистов, которые занимаются всеми аспектами этих систем: планированием, спецификациями, проектированием, установкой, калибровкой, обслуживанием и эксплуатацией метеорологических измерительных приборов и систем дистанционного зондирования, а также управлением программами и сетями наблюдений. В меньшей степени эта глава также затрагивает требования к подготовке тех, кто занимается производимыми вручную наблюдениями. Системы компетенций для всех этих специалистов приводятся в приложениях 5.A—5.D. Настоящая глава предназначена для технических руководителей и инструкторов, а также для тех специалистов по наблюдениям и приборам, которые хотели бы и далее совершенствоваться в своей профессии.

Профессиональная подготовка квалифицированного персонала имеет чрезвычайно важное значение для обеспечения необходимой и соответствующей единым требованиям технологии во всех странах, с тем чтобы при помощи Интегрированной глобальной системы наблюдений ВМО (ИГСНВ) можно было получать экономически-эффективные данные единого высокого качества и согласованные по времени. Однако в настоящее время от специалистов требуются не только технические навыки работы с приборами. Современная метеорология требует таких технических специалистов, которые способны действовать в качестве плановиков и руководителей проектов, обладают знаниями по телесвязи и обработке данных, могут активно пропагандировать эффективные технические решения и имеют профессиональные навыки в области управления финансовыми средствами и людскими ресурсами. Таким образом, программы профессиональной подготовки большинства специалистов по приборам или инженеров метеорологических измерительных систем должны быть универсальными и предусматривать профессиональный рост личности, обучение навыкам управления и специальным знаниям в области современных технологий.

Во многих странах были созданы [региональные учебные центры ВМО \(РУЦ\)](#), многие из которых обеспечивают профессиональную подготовку по различным аспектам оперативной деятельности и управления в области приборов и измерительных систем. Аналогичным образом во многих пунктах были созданы [региональные центры по приборам \(РЦП\)](#), региональные центры по морским приборам (РЦМП) и [региональные центры ИГСНВ \(РЦИ\)](#); некоторые из них обеспечивают профессиональную подготовку кадров.

#### **5.1.2 Передача технологии**

Профессиональная подготовка кадров является жизненно важной частью процесса передачи технологии, представляющего собой эволюционный процесс введения в эксплуатацию новых технических ресурсов с целью повышения качества продукции и снижения оперативных затрат. Для процесса внедрения новых ресурсов и их последующей оперативной эксплуатации и обслуживания требуются новые профессиональные умения. Этот человеческий фактор является более важным для развития потенциала, чем технический материал.

Поскольку метеорология является глобальной дисциплиной, то одна из проблем в области передачи технологии состоит в существовании разрыва в технологии между развитыми и развивающимися странами. Обеспечение эффективными стратегиями подготовки кадров, программами и ресурсами, способствующими развитию самоподдерживающихся технических инфраструктур и созданию потенциала людских ресурсов в развивающихся странах — вот цель, которую необходимо постоянно иметь в виду.

### 5.1.3 Приемлемость для всех пользователей метеорологических приборов

В настоящей главе профессиональная подготовка кадров рассматривается, главным образом, как вопрос, имеющий значение для национальных метеорологических и гидрологических служб (НМГС). Однако те же принципы применимы и к любым другим организациям, которые проводят метеорологические измерения, независимо от того, обучают ли они сами свой персонал или планируют нанять на работу квалифицированных специалистов со стороны. Если брать в целом все науки, связанные с наблюдениями, то преимущества подготовки кадров совершенно очевидны: она обеспечивает стандартизированность процедур измерения и наиболее эффективное использование и обслуживание оборудования.

## 5.2 НАДЛЕЖАЩАЯ ПОДГОТОВКА КАДРОВ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ОПЕРАТИВНЫХ ПОТРЕБНОСТЕЙ

### 5.2.1 Теория и практика

Измерительные системы используют различные физические принципы (например, изменение сопротивления), позволяющие воспринимать параметры атмосферы и затем преобразовывать их в стандартизированную форму, пригодную для пользователя (например, в электрический сигнал для подачи на автоматическую метеорологическую станцию (АМС)). Для понимания процесса измерений теоретические основы должны отражать взаимодействие между приборами и теми количественными характеристиками, которые они должны измерять (репрезентативность или характеристики экспозиции), а также ошибки приборов и наблюдений, которые имеют место при всех измерениях. Основные данные измерений часто проходят последующую обработку и кодируются более или менее сложными способами, что требует, таким образом, дальнейшего теоретического понимания (например, приведение значения атмосферного давления к среднему уровню моря или обработка аэрологических данных, полученных при полете радиозонда).

Осуществление измерений также зависит от практических навыков и знания того, каким образом установить и отрегулировать прибор для проведения стандартизированных измерений, как безопасно и аккуратно пользоваться им и как впоследствии провести любые расчеты или кодирование с минимальными ошибками.

Итак, знание теоретических и практических вопросов самым непосредственным образом влияет на получение данных измерений известного качества, поэтому персонал, занимающийся оперативной эксплуатацией и контролем измерительных систем, должен обладать теоретическими знаниями и практическими навыками, которые соответствуют сложности и значимости их работы. Инженеры, проектирующие или обслуживающие сложные измерительные системы, особенно нуждаются в высококлассной теоретической и практической профессиональной подготовке.

### 5.2.2 **Обеспечение соответствия между квалификацией и выполняемыми задачами**

Организациям необходимо обеспечивать такой уровень квалификации и профессиональных навыков, а также численность персонала или других нанятых работников (и, следовательно, профессиональную подготовку), которые соответствовали бы диапазону поставленных перед ними задач. Например, профессиональная подготовка, необходимая для снятия показаний температуры воздуха в метеорологической будке Стивенсона, находится в нижней части диапазона необходимых профессиональных навыков, в то время как для понимания, установки, эксплуатации и обслуживания автоматических метеорологических станций, устройств для приема сигналов с метеорологических спутников и радиолокаторов требуется, несомненно, теоретическая и практическая профессиональная подготовка гораздо более высокого уровня.

Следовательно, для оперативных потребностей, найма персонала и обеспечения профессиональной подготовки полезно применять классификационную схему, отражающую различные уровни квалификации. При этом важными отправными точками можно считать национальные уровни квалификации в области технического образования, применяемые в той или иной конкретной стране. Для оказания содействия международному сообществу в деле достижения единого качества метеорологических данных в процессе их получения и обработки, ВМО рекомендует использовать свою классификацию персонала с указанием соответствующих обязанностей, которые он должен компетентно выполнять.

### 5.2.3 **Классификация персонала ВМО**

Согласно *Руководству по применению стандартов образования и подготовки кадров в области метеорологии и гидрологии* (ВМО-№ 1083), существуют две общие категории персонала — специалисты и техники. Для метеорологического и гидрологического персонала эти категории определяются следующим образом: метеоролог и техник-метеоролог и, соответственно, гидролог и техник-гидролог. Рекомендуемые результаты обучения для каждой классификации персонала включают значительный раздел, посвященный приборам и методам наблюдений, который соответствует степени образования, профессиональной подготовки и обязанностям персонала каждого уровня. В разработанной ВМО классификации персонала приводятся также руководящие принципы по квалификации для специалистов по приборам, включая подробную информацию о результатах обучения на этапе начальной подготовки и специального профессионального обучения метеорологического персонала. Подобные методические руководства позволяют надлежащим образом планировать и интерпретировать программы обучения и учебные курсы; они также помогают определять недостатки в профессиональных навыках и содействуют развитию сбалансированных национальных технических профессиональных ресурсов.

### 5.2.4. **Компетенции ВМО для метеорологических наблюдений, приборного обеспечения, калибровки и управления программами и сетями наблюдений**

Системы компетенций ВМО в области производства метеорологических наблюдений (*приложение 5.A*), приборного обеспечения (*приложение 5.B*), калибровки (*приложение 5.C*) и управления программами и сетями наблюдений (*приложение 5.D*) дают более подробное описание должностных обязанностей и задач, а также требуемых знаний и навыков в области приборов для специалистов-практиков, в отличие от требуемых начальных квалификаций, которые описываются в *Руководстве по применению стандартов образования и подготовки кадров в области метеорологии и гидрологии* (ВМО-№ 1083). Эти системы компетенций призваны содействовать выявлению потребностей в области подготовки кадров, а также определению надлежащих

результатов проводимого обучения. *Руководство по компетенциям* (ВМО-№ 1205) содержит дальнейшие руководящие принципы в области оценки компетенций и управления ими, а также обучения на основе компетенций.

### 5.3 **НЕКОТОРЫЕ ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПОДГОТОВКИ**

#### 5.3.1 **Вопросы политики управления**

Потребности в профессиональном обучении должны отражать меняющиеся потребности НМГС. По мере перехода НМГС на новые системы и инфраструктуру требования к техническим навыкам также должны адаптироваться к этим изменениям. Примером может служить переход НМГС от традиционных наблюдений, выполняемых вручную, к АМС или применение НМГС акустических методов измерения расхода. Эти потребности должны быть включены в политику управления.

##### 5.3.1.1 **Общая схема персонала**

Важным моментом является наличие в НМГС общей схемы персонала, в которую были бы включены специалисты по приборам с указанием их роли в планировании, разработке и осуществлении надлежащих и экономически выгодных программ метеорологических наблюдений. В этой схеме персонала все специалисты по приборам должны быть представлены в соответствии с дифференцированными уровнями их квалификации (*Руководство по применению стандартов образования и подготовки кадров в области метеорологии и гидрологии* (ВМО-№ 1083)). Должна определяться нехватка тех или иных специалистов и затем приниматься меры для их найма и профессионального обучения. Системы компетенций ВМО (приложения 5.A—5.D) помогут уточнить схемы персонала. Системы менеджмента качества также теперь рекомендуются для всех служб, а системы качества являются требованием согласно *Техническому регламенту ВМО* (ВМО-№ 49), том II.

##### 5.3.1.2 **Сохранение персонала**

Необходимо принимать все возможные меры для сохранения дефицитных технических специалистов по приборам, обеспечивая интересную для них с технической точки зрения рабочую среду, возможности для карьеры и ставки заработной платы, сопоставимые со ставками других технических специалистов как внутри, так и за пределами НМГС.

##### 5.3.1.3 **Развитие кадровых ресурсов**

Профессиональное обучение должно входить в общую схему персонала в качестве составной части. Введение новых видов технологии и смена оборудования требуют новых профессиональных знаний и навыков. Вновь нанятые работники нуждаются в профессиональном обучении, соответствующем их предыдущему опыту, а дефицит в специалистах можно преодолеть, расширив профессиональные знания и навыки других работников персонала. Такое профессиональное обучение обеспечивает также и возможность для прогрессивного развития карьеры. Целесообразно иметь для каждого сотрудника краткое описание его карьеры, в котором были бы отражены его профессиональная подготовка, квалификация и продвижение по службе; такие сведения могут использоваться отделом по профессиональному обучению для планирования упорядоченного развития кадровых ресурсов.

### 5.3.1.4 **Сбалансированная профессиональная подготовка**

Целью национальных программ профессиональной подготовки должна быть сбалансированная подготовка специалистов всех классов и должностных обязанностей (как описано в системах компетенций, приложения 5.A—5.D), при этом особое внимание следует уделять таким фазам обучения, как начальная, дополнительная подготовка и повышение квалификации; такой подход позволяет получать устойчивую техническую инфраструктуру.

### 5.3.2 **Цели и задачи программ профессиональной подготовки**

Для получения максимальной отдачи от профессионального обучения чрезвычайно важно наметить общие цели и поставить конкретные задачи, на основе которых затем разрабатывать планы профессионального обучения, учебные программы и планировать расходы. При подготовке специалистов по приборам можно принимать во внимание следующие стратегические цели и задачи.

#### 5.3.2.1 **Для руководителей**

Обучение управлению при подготовке специалистов по приборам должно предусматривать следующие цели и задачи, среди прочих:

- a) повышение и сохранение качества информации в рамках всех программ метеорологических наблюдений, включая учет вопросов устойчивости и управления жизненным циклом;
- b) создание для НМГС возможности опираться на свои собственные силы в области профессиональных знаний и навыков, необходимых для эффективного планирования, осуществления и функционирования программ получения метеорологических данных, а также возможности организовывать у себя службы эксплуатации измерительных систем, обеспечивающие максимальную надежность, точность и экономию;
- c) полное использование капитала, инвестированного в измерительные системы, в рамках их оптимального цикла эксплуатации;
- d) планирование переходных мероприятий, обеспечивающих масштабируемость и осуществление будущих инвестиций.

Всемирная метеорологическая организация опубликовала *A Compendium of Topics to Support Management Development in National Meteorological and Hydrological Services* (Сборник тем для оказания поддержки в развитии управления в национальных метеорологических и гидрологических службах), который включает темы, связанные с управлением людьми (инструктаж и наставничество; влияние, переговоры и управление конфликтами; руководство сотрудниками и их мотивирование; управление временем; эффективная коммуникация; управление людскими ресурсами) и темы, связанные с организационным развитием (управление финансами, проектами и изменениями; стратегическое планирование), которые требуются чаще управленцам среднего и старшего звена. Специалисты по приборам с лидерскими способностями должны выявляться для обучения управлению в надлежащее время на их карьерном пути и получать возможности для развития.

### 5.3.2.2 **Для преподавателей**

ВМО разработан набор требований в области компетенций для обучения и подготовки поставщиков метеорологического, гидрологического и климатического обслуживания (*Руководящие указания для преподавателей в области метеорологического, гидрологического и климатического обслуживания* (ВМО-№ 1114)). Эта модель описывает следующие должностные обязанности как единицы компетенций:

- a) анализ организационного контекста и управление процессами в области обучения;
- b) выявление потребностей в области обучения и уточнение результатов обучения;
- c) выбор решения для проведения обучения (или механизма для подготовки кадров);
- d) разработка и развитие видов деятельности и ресурсов в области обучения;
- e) проведение обучения и управление процессом обучения.

Владение всеми этими компетенциями позволит обеспечить сбалансированные программы обучения, отвечающие конкретным потребностям стран каждого региона в специалистах на разных уровнях; обеспечит эффективное формирование знаний и навыков в НМГС благодаря найму преподавателей соответствующей квалификации, хорошим учебным материалам и средствам и эффективным методам обучения; обеспечит мониторинг эффективности обучения с помощью надлежащих процедур оценки и составления отчетов; а также в осуществлении действенной подготовки кадров с учетом имеющихся ограничений. См. 5.4 для ознакомления с более подробным описанием этих областей компетенций.

### 5.3.2.3 **Для специалистов по приборам**

Общая цель при подготовке специалистов по приборам состоит в развитии компетенций (навыков, знаний, моделей поведения), которые требуются для успешного предоставления обслуживания. В этих целях были разработаны системы компетенций ВМО в области производства метеорологических наблюдений, приборного обеспечения, калибровки и управления программами и сетями наблюдений. Для ознакомления с более подробным описанием каждой из этих систем смотрите приложения 5.A—5. D.

### 5.3.3 **Обучение и менеджмент качества**

Получение метеорологических и гидрологических данных является сложным и дорогостоящим видом деятельности, в который вовлечены людские и материальные ресурсы, средства связи и вычисления. Необходимо стремиться к максимизации отдачи от полученной информации при минимизации финансовых и трудовых затрат, требующихся для такого рода деятельности.

Для получения высококачественных данных необходимо обеспечивать постоянный приток репрезентативных, точных и своевременных данных измерений в национальные центры обработки метеорологической информации при минимальных затратах. На каждом этапе профессионального технического обучения следует обеспечивать глубокое понимание того, каким образом весь персонал может влиять на качество конечного продукта. В рамках дисциплины общего управления качеством (см. *Руководство по внедрению систем менеджмента качества для национальных метеорологических и гидрологических служб и других соответствующих поставщиков обслуживания* (ВМО-№ 1100)) рассматривается вся связанная с измерениями среда (применения, процедуры, приборы и персонал) с учетом того, насколько каждый из ее элементов может повлиять на качество. В рамках общего управления качеством деятельность по получению данных изучается как система или ряд процессов. Наиболее важные элементы каждого процесса, например временная задержка, подвергаются количественной оценке, и затем определяется, является ли

статистически значимой вариация параметров конкретного процесса. Небольшая группа людей, разбирающихся в конкретном процессе, принимает надлежащие меры для решения задачи по уменьшению вариации параметров процесса и тем самым повышает качество. Все процессы постоянно совершенствуются, и в них постепенно вносятся улучшения.

Контрольный перечень соответствующих факторов может использоваться под следующими заголовками:

- a) найм и профессиональная подготовка персонала;
- b) технические требования, проектирование и модернизация;
- c) установка приборов;
- d) обслуживание оборудования;
- e) калибровка приборов.

Все вышеперечисленные факторы с точки зрения специалиста по приборам влияют на качество данных. Этот перечень может использоваться руководителями для изучения контролируемых ими областей с целью определения слабых мест, преподавателями в ходе проведения занятий по концепциям общего управления качеством и отдельными лицами, которые, зная об этих факторах, могут понять, в каких областях среды измерений они, обладая профессиональными знаниями и навыками, могут внести ценный вклад в общее обеспечение качества данных.

Международная организация по стандартизации предусматривает официальные системы качества, определенные ИСО в семействе стандартов под номером 9000, в рамках которых организации могут быть официально аттестованы внешними аудиторами на предмет качества их процессов производства и предоставляемых клиентам услуг. Эти системы качества в очень высокой степени зависят от профессионального обучения методам управления качеством.

Преподавателям может потребоваться пересмотреть руководящие принципы в области менеджмента качества оценки компетенций и обучения, как представлено в [Руководстве по компетенциям](#) (ВМО-№ 1205), часть III.

### 5.3.4 **Как люди обучаются**

#### 5.3.4.1 **Среда обучения**

Обучение является процессом, который носит очень личностный характер и зависит от индивидуальных потребностей и интересов. Побуждающим мотивом к обучению у людей служит перспектива получения определенного вознаграждения, например прибавки к зарплате. Однако по данным исследований, прочие виды вознаграждения, такие как удовлетворение работой, участие в деле, стремление к реализации личных способностей, желание обладать определенной властью или влиянием и одобрение со стороны коллег и руководителей, представляют собой по меньшей мере столь же сильный, если не более сильный, побуждающий мотив. Такие виды вознаграждения удается получить в результате повышения активности и эффективности при выполнении работы и расширении взаимосвязей с коллегами на рабочих местах.

Обучение — это активный процесс, в ходе которого учащийся реагирует на среду и процесс образования. Поведение учащегося изменяется, если он попадает в трудные с интеллектуальной, физической и эмоциональной точек зрения ситуации.

Преподавателям и руководителям следует предпринимать усилия для стимулирования и поощрения к обучению путем создания благоприятного физического

и психологического климата и применения таких опыта, методов и практических примеров, которые помогали бы в обучении. Учащиеся должны чувствовать себя в среде обучения свободно и спокойно, на них не должны воздействовать отвлекающие факторы. На «благоприятный психологический климат» могут влиять мотивация учащихся, стиль презентации преподавателя и обучающие ресурсы, положительные отзывы о полученных ранее знаниях, рабочая среда, свободная от насмешек и поводов для смущения, создание атмосферы доверия и выбор определенных видов деятельности в области обучения.

#### 5.3.4.2 **Важнейшие принципы обучения**

Следующие принципы играют важную роль в деле профессиональной подготовки:

- a) *готовность*: обучение проходит быстрее и эффективнее, если студент готов к нему, заинтересован и желает учиться;
- b) *цели*: цели обучения (включая связанные со стандартами в области компетенций) должны быть ясны как для преподавателей, так и для обучающихся, а также поддаваться оценке для обеспечения уверенности в их достижении;
- c) *активное вовлечение*: обучение проходит более эффективно, если студенты активно решают задачи самостоятельно, а не пассивно воспринимают готовые ответы или просто наблюдают за практической работой других;
- d) *ассоциативность или актуальность*: обучение должно быть привязано к текущему опыту работы с учетом сходства и различий с текущими практиками;
- e) *формативное оценивание*: обучение должно подтверждаться периодической практикой или тестированием и обратной связью. Обучение, которое поделено на несколько коротких этапов, каждый из которых завершается оценкой или практикой, будет более эффективно, чем один продолжительный этап;
- f) *практика или закрепление знаний*: практические упражнения и повторение помогут усвоить знания;
- g) *актуальность*: рассказы об интенсивном, ярком или личном опыте захватывают воображение и способны повысить концентрацию внимания, степень актуальности и воздействие;
- h) *действенность*: опыт обучения, который является сложным, но позволяет добиться успеха, приносит большее удовлетворение и ведет к более высоким результатам обучения, чем тот, который может слишком быстро привести к неудаче, либо вызывать смущение. Получение одобрения поощряет к обучению;
- i) *непрерывная поддержка*: наставник обучающихся должен оказывать полномасштабную поддержку процессу обучения и иметь возможность поддерживать и укреплять этот процесс;
- j) *планирование и оценка*: процесс обучения должен планироваться, осуществляться и оцениваться систематически в контексте организационных потребностей.

Дополнительную информацию о принципах см. в публикации [Руководящие указания для преподавателей в области метеорологического, гидрологического и климатического обслуживания](#) (ВМО-№ 1114), а более подробные руководящие указания по множеству тем в области обучения — на веб-ресурсе [WMO Education and Training Programme](#) (портал ресурсов ВМО для преподавателей).

### 5.3.4.3 **Многообразие методов**

Студенты в группе обучаются с разной скоростью. Одни методы профессионального обучения подходят некоторым индивидуумам в большей степени, чем другие, и имеют разную эффективность при различных обстоятельствах. Использование разнообразных методов обучения и учебных мероприятий с большой степенью вероятности также повысит степень внимания. Использование всего многообразия методов и средств обучения с еще большей степенью вероятности поможет группе с неоднородным составом хорошо учиться.

В ходе профессионального обучения специалистов по приборам может использоваться широкий ряд учебных методов и средств. Теоретические аспекты измерений и проектирования приборов могут преподаваться в формате лекций или видеозаписей и опираться на вспомогательные средства графики и диаграммы. Практические навыки по эксплуатации, обслуживанию и калибровке приборных систем можно получить благодаря использованию иллюстрированных текстов; фильмов, видеозаписей или демонстрации с личным присутствием; физических моделей, которые могут разбираться и собираться в целях практики; и в итоге в результате практического опыта работы с эксплуатируемыми системами и производством наблюдений. Могут быть смоделированы также опасные практические ситуации или способы использования.

### 5.3.5 **Развитие основных компетенций**

Группе инженерно-технических работников, работающих с системами метеорологических приборов, нужны кадры, которые не только обладают техническими знаниями и навыками, но и имеют широкое образование для оказания поддержки развитию широкого спектра основных компетенций, также имеющихся у других профессионалов. Сюда входит умение хорошо говорить и писать, работать на основе сотрудничества в команде, эффективно управлять задачами и проектами, эффективно использовать компьютерные технологии, а также использовать рациональные процессы в области принятия решений. Квалифицированные инженерно-технические работники должны получить такую профессиональную подготовку, которая позволяла бы им играть значимую роль при принятии решений, влияющих на развитие их НМГС.

Развитые личные навыки коммуникации необходимы для совместной работы, а также для поддержки и обоснования технических программ, в особенности на руководящих должностях. Некоторым сотрудникам может потребоваться улучшить коммуникационные навыки, и они могут в меньшей степени владеть коммуникационными навыками, и могут извлечь пользу из прохождения курсов по обучению выступлениям перед публикой, ведению переговоров, составлению писем и отчетов или уверенной манере общения. Некоторой части персонала может потребоваться помощь в изучении второго языка, с тем чтобы они могли продолжить свое профессиональное обучение.

### 5.3.6 **Обучение в течение всей жизни**

#### 5.3.6.1 **Три этапа профессиональной подготовки**

Предполагается, что в течение всей своей трудовой деятельности специалисты по приборам должны периодически уделять внимание повышению своей квалификации как посредством организованных занятий, так и за счёт обучения на рабочих местах или путем самообразования. Можно определить три следующих этапа профессиональной подготовки:

- a) этап постепенного начального получения профессионального образования, когда обучающийся приобретает общие теоретические и практические знания как квалификации на различных уровнях (см. [Руководство по применению стандартов образования и подготовки кадров в области метеорологии и гидрологии](#) (ВМО-№ 1083));

- b) этап получения дополнительного или специализированного образования, когда в дополнение к профессиональному образованию изучаются конкретные методы и оборудование (см. приложения 5.A—5.D);
- c) этап курсов повышения квалификации, когда через несколько лет после завершения официального профессионального обучения специалисту необходимо повысить квалификацию и обновить свои знания с учётом новых методов и оборудования.

#### 5.3.6.2 **Начальная подготовка**

На начальном этапе получения технического образования и профессиональной подготовки специалисты по приборам, как правило, обучаются частично в каком-либо техническом заведении вне службы и частично в учебном заведении НМГС, где они проходят основной курс по метеорологическим приборам. Следует отметить, что техническое или инженерное образование могут иметь специалисты всех уровней классификации персонала ВМО.

#### 5.3.6.3 **Специальная профессиональная подготовка**

Этап дополнительного профессионального обучения начинается через несколько лет, когда специалисту требуется пройти курсы по эксплуатации конкретных систем, например, по обслуживанию и калибровке приборов наземных и морских АМС, гидрологических приборов и систем дистанционного зондирования, или по таким дисциплинам, как применение компьютерного программного обеспечения или навыки управления. Для специальной профессиональной подготовки все чаще будут использоваться внешние обучающие ресурсы, включая спонсируемые ВМО учебные мероприятия.

#### 5.3.6.4 **Повышение квалификации**

По мере роста карьеры специалиста по приборам периодически возникает потребность обучения на курсах повышения квалификации, с тем чтобы ознакомиться с достижениями в области приборного обеспечения и технологий, а также для других дополнительных курсов, например, в областях основных компетенций.

Все эти этапы подразумевают последовательное продвижение. Каждый учебный курс предполагает наличие у обучаемых некоторых обязательных предварительно имеющихся знаний, на которых можно строить дальнейшее обучение.

### 5.4 **ПРОЦЕССЫ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБУЧЕНИЯ**

#### 5.4.1 **Роль преподавателя**

Большинство специалистов по приборам время от времени принимают на себя важную и приносящую удовлетворение роль преподавателя, а для некоторых из них преподавание становится основной работой со специализацией в определенной области знаний. Все преподаватели должны развивать компетенции, с тем чтобы стать хорошими преподавателями.

Хороший преподаватель заинтересован в качественных результатах своей работы, обладает обширными знаниями в конкретных областях и хорошо развитыми навыками общения. Он или она должны проявлять сочувствие по отношению к студентам и быть терпеливыми и выдержанными, готовыми к поощрению и выражению похвалы, гибкими и обладать хорошо развитым воображением, а также уметь применять на практике множество методов обучения.

Хорошие преподаватели должны четко определять цели, умело планировать и подготавливать учебные курсы. Они должны уметь правильно вести регистрацию методов обучения, программ обучения, оценок за курсы, проведенных занятий и полученных результатов, а также выделяемых средств и произведенных расходов. Они должны стремиться получать большую отдачу от своего труда и быть готовыми к изменению своего подхода. Предполагается, что они должны также учиться сами на всем протяжении своей карьеры.

В *Руководящих указаниях для преподавателей в области метеорологического, гидрологического и климатического обслуживания* (ВМО-№ 1114) содержится более подробное описание требуемой квалификации преподавателей. Эти компетенции описывают процесс обучения и более лаконично изложены ниже.

#### 5.4.2 **Анализ организационного контекста и управление процессами обучения**

В целях осуществления обучения таким образом, чтобы оно привело специалистов по приборам к успеху в организации, необходимо постоянно анализировать организационный контекст, а также разрабатывать, отслеживать и обновлять планы обучения, политику и процессы на предмет эффективности.

За данную компетенцию в первую очередь будут отвечать старшие по должности члены персонала, которые несут общую ответственность за обучение, менеджеров по обучению, лиц, которые принимают решения по общим стратегиям в области развития людских ресурсов, а также всех преподавателей, которые извлекут пользу из повышения осведомленности о контексте, в котором они осуществляют деятельность.

Обучение должно проводиться с полным осознанием текущего и развивающегося организационного и учебного контекста, с учетом организационных потребностей, того, каким образом предоставляются и используются людские ресурсы, каким образом вырабатываются стратегические планы обучения, а также как осуществляются процедуры в области обучения для обеспечения соответствия организационным и учебным планам, политикам и процессам. Было бы полезно разработать и реализовать как стратегический, так и оперативный планы в области обучения. При осуществлении планов в области обучения, политики и процессов необходимо обеспечение мониторинга и обновления для учета меняющихся потребностей и технологических достижений.

Для выполнения этих обязанностей участвующие в работе члены персонала должны понимать факторы, способные вызвать изменения в организации, включая политические, экономические, социальные и технологические факторы. Они также должны уметь разрабатывать и осуществлять планы, политику и процессы, знать, какие технологии необходимы для поддержки обучения, и уметь применять методы обеспечения качества, финансовый менеджмент и маркетинговые принципы для продвижения обучения. Наконец, ответственный персонал должен распознавать тенденции в области организации, технологий и научных исследований, относящихся к практикам обучения, и реагировать на них.

#### 5.4.3 **Выявление потребностей, связанных с обучением, и определение конечных результатов обучения**

Специалисты по обучению должны использовать систематические методы для выявления организационных и индивидуальных потребностей в обучении, а также определять их как требуемые от подготовки конечные результаты обучения, и того, что необходимо оценивать по итогам проводимого обучения.

Оценка потребностей в обучении представляет собой процесс определения того, когда и какое обучение требуется. Оценка потребностей должна быть первым шагом перед принятием любого решения в области обучения.

Оценка потребностей в обучении зачастую начинается с анализа задач. Специалист по приборам должен быть подготовлен к тому, чтобы осуществлять множество повторяющихся или сложных задач при установке, эксплуатации и калибровке приборов, а иногда и поиск и устранение неисправностей при их изготовлении. С целью определения порядка выполнения той или иной работы можно применять формуляр, который преподаватель может использовать для анализа задачи, а обучающийся — в качестве карты контроля. Прежде всего в этот формуляр записываются цель работы и стандартные требования к ее выполнению. Работа подразделяется на логические этапы или стадии приемлемого объема. Формуляр может представлять собой таблицу, колонки которой озаглавлены, например, как «этапы», «методы», «меры» и «обоснования»:

- a) этапы (что следует сделать): они должны быть пронумерованы и снабжены кратким описанием задания каждого этапа, начиная с глагола в неопределенной форме;
- b) методы (каким способом выполнять задачу): указываются используемый метод и оборудование или необходимые профессиональные навыки;
- c) меры (требуемые нормы): включает предписание о качестве, ссылку на статью в спецификации, контрольную проверку или реальную меру;
- d) обоснование (почему это необходимо выполнить): краткое разъяснение целей каждого этапа.

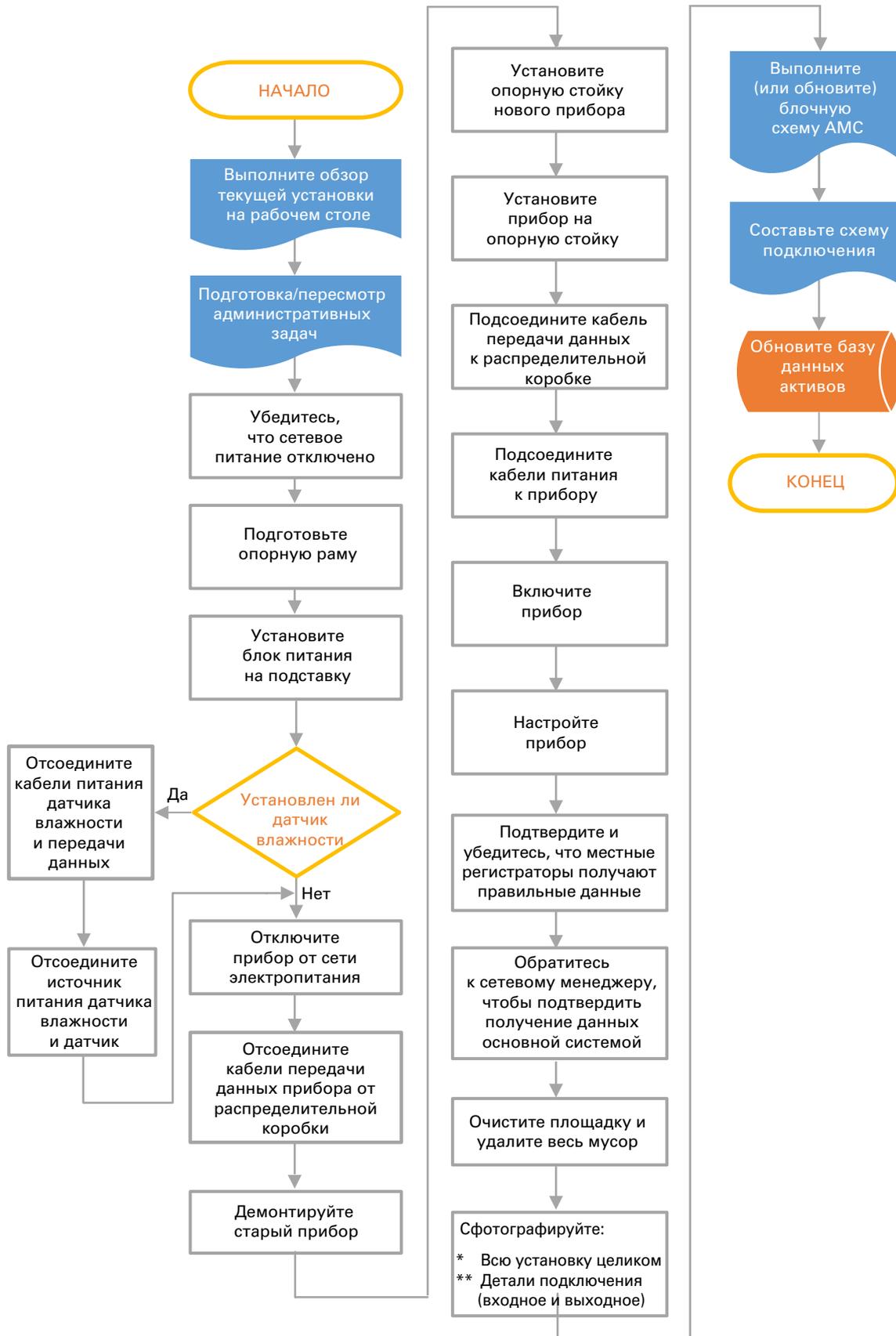
Хорошим визуальным средством отображения связи отдельных этапов со всей задачей может служить блок-схема, особенно когда порядок выполнения этапов имеет важное значение или когда существуют различные промежуточные операции в общей процедуре. Простой пример приводится на рисунке 5.1.

В конечном итоге потребности в обучении должны быть выражены в виде конечных результатов обучения, которые, в свою очередь, описывают то, что именно необходимо оценивать после завершения обучения (см. 5.4.6). Хорошо прописанные конечные результаты профессиональной подготовки (специализация и переподготовка) должны описывать обучение с точки зрения того, что именно обучающимся необходимо уметь делать после прохождения обучения, а не только того, что им необходимо знать или понимать. Это помогает обеспечить непосредственную связь с требуемыми рабочими компетенциями и рабочими задачами, что служит обоснованием для обучения. Однако даже для начального обучения, которое может включать в себя такой же объем теории, как и практики, конечные результаты обучения, в которых используются глаголы действия («применять», «выполнять», «демонстрировать», «анализировать», «решать» и т. д., вместо «знать» или «понимать») помогут решить, чему обучать и каким образом оценивать обучение.

#### 5.4.4 **Определение решения для обучения**

Профессионалы обретают свои навыки самыми разными способами, как формальными, так и неформальными. Решения для обучения — это термин, который мы применяем для описания используемых форматов обучения (например, обучение в классе или обучение онлайн) и структуры, в рамках которой происходит обучение (например, курс, самостоятельное обучение, наставничество на рабочем месте или коучинг). Как только требуемые конечные результаты обучения известны, следующим шагом в планировании является определение того, какие решения для обучения следует применять. Инструкторы не должны поддаваться соблазну использовать быстрые решения, вместо этого им следует изучить потребности и ограничения, с тем чтобы изыскать наилучшее(ие) возможное(ые) решение(я).

Каждое из следующих решений для обучения может быть эффективным, если оно выбрано исходя из надлежащих конечных результатов обучения и организационных возможностей и ограничений.



FOD — посторонние предметы

Рисунок 5.1. Процесс демонтажа и установки нового датчика текущей погоды

## Формальные решения:

- a) короткие аудиторные курсы, тренинги или семинары;
- b) продолжительные аудиторные курсы, например, университетские курсы;
- c) курсы дистанционного обучения онлайн, преимущественно включающие в себя презентации или вебинары в режиме реального времени;
- d) курсы дистанционного обучения онлайн, которые курируются дистанционно инструктором или частично изучаются самостоятельно, и которые могут также использовать традиционные материалы для обучения.

## Неформальные и полуформальные решения:

- a) обучение на рабочем месте; трудовая практика под руководством опытного лица: такая форма обучения может быть в высшей степени эффективной для специалистов по приборам, которым может быть необходим обширный опыт практической работы с реальным оборудованием. Однако обучение на рабочем месте может не привести к достаточной степени научения или оценки в области базовых теоретических знаний;
- b) коучинг и наставничество, при которых более опытное лицо активно обеспечивает руководство в течение короткого периода, либо периодическое руководство в течение продолжительного периода времени;
- c) короткие онлайн-семинары или вебинары продолжительностью от менее чем одного часа до одного дня;
- d) конференции или семинары, личное общение с другими специалистами;
- e) самостоятельное обучение, при котором учащийся получает доступ к информационным и учебным ресурсам, таким как онлайн-овые или компьютерные учебные пособия, видеоролики или интерактивные имитационные модели, по назначению или по собственной инициативе;
- f) должностная ротация или прикомандирование, расширение спектра навыков за счет краткосрочных назначений на разные должности, либо более продолжительное, но с определенным сроком назначение для получения дополнительного опыта работы;
- g) должностные или документально оформленные инструкции (с использованием печатных или онлайн-овых ресурсов для самостоятельной работы в занимаемой должности);
- h) обучение у коллег (во время обсуждений в офисе или вне работы или через интернет-сообщество, иногда через официальные или неформальные сообщества практиков, включая онлайн-форумы или блоги);
- i) работа в команде, например, с коллегами, либо более опытными сотрудниками;
- j) самостоятельная работа, но под непосредственным руководством (в качестве обученного, но все еще нового сотрудника).

Зачастую оптимальным выбором для обучения являются комплексные решения, представляющие собой сочетания вышеперечисленных, либо вариаций на их тему.

#### 5.4.5 Разработка и развитие учебных мероприятий и ресурсов

После определения целей обучения и выбора решения или решений для обучения преподавателям необходимо спланировать обучение и разработать учебные мероприятия и ресурсы, которые будут включены в процесс. Это должно быть сделано на основе сформированной теории обучения и четких знаний об участвующих обучающихся лицах. Потребности и предпочтения учащихся университетов и техникумов могут отличаться от потребностей и предпочтений профессионалов, которым необходима переподготовка. Например, обучающиеся на рабочем месте, вероятнее всего, захотят понять непосредственные преимущества обучения для своей работы и будут стараться быстрее достичь конечных результатов обучения. Преподавателям также необходимо оценить текущий уровень навыков обучающихся, а особенно то, кому из обучающихся может потребоваться особое внимание.

Разработка учебного мероприятия или другого решения для обучения начинается с понимания требуемых конечных результатов обучения и того, как помочь обучающимся достичь их. Преподавателям потребуется рассмотреть сильные стороны и ограничения, связанные с учебными мероприятиями, которые могут быть использованы. В целом преподавателям потребуется знать, как вырабатывать учебные мероприятия, включающие в себя реальные задачи, и предоставлять возможности для отработки необходимых навыков. Однако им также необходимо уметь подготовить презентации и учебные ресурсы и выбирать инструменты, технологии и программное обеспечение, необходимые для обучения.

Учебные мероприятия должны предлагаться в логической последовательности, быть разнообразными и ориентированными на практику. Последовательность также должна быть эффективной. Активные виды обучения предоставляют возможности не только для практики, но и для оценки и обратной связи, что является важнейшим аспектом как во время обучения, так и по его завершении.

В следующем перечне приведены примеры доступных учебных видов деятельности. Их можно смешивать и объединять для создания множества вариаций учебных мероприятий:

- a) Лекции: если требуется всестороннее теоретическое освещение, лекция может стать самым подходящим методом. Однако наиболее эффективны короткие, хорошо структурированные лекции, сопровождающиеся более активными подходами. Лекции можно сделать более интерактивными путем использования вопросов и обсуждений.
- b) Демонстрации: вместо того чтобы просто описательно представлять материал через посредство лекции, гораздо эффективнее продемонстрировать сложные технические навыки, будь то в классе, лаборатории или на рабочем месте. Например, демонстрации имеют решающее значение для начального обучения процедурам ручной калибровки и обслуживания. Демонстрации оптимальны, когда за ними следует возможность отработать увиденное на практике и задать вопросы.
- c) Полевые исследования: возможность наблюдать за практикой или новыми приборами в полевых условиях полезна для обучения монтажу, обслуживанию или калибровке.
- d) Вопросы и проблемы: обучение может проводиться не в форме лекции, а в виде обсуждения вопросов или проблем, которые побуждают студентов к критическому мышлению и решению проблем.
- e) Обсуждения, ориентированные на обучающихся: вместо сессий вопросов и ответов лишь под руководством преподавателя, которые могут следовать за лекцией, предоставление возможности студентам ответить на вопросы друг друга и самим определить направление обсуждения может сделать обучение более интерактивным и ответственным занятием для обучающихся.

- f) Обсуждения в малых группах: разбив обучающихся на небольшие дискуссионные группы, можно максимально вовлечь в дискуссию каждого из них и обеспечить большее разнообразие мнений.
- g) Проблемно-ориентированное или тематическое обучение: начните с постановки вопросов, проблем, ситуаций/случаев или историй, которые требуют от обучающихся критического мышления и обсуждения ответов или решений.
- h) Практические упражнения: создание комплексов практических упражнений, например лабораторных упражнений, требующих применения навыков, которые необходимо усвоить.
- i) Проекты: вовлечение обучающихся в реальные задачи и проекты. Неформальное обучение может включать реальные рабочие задания, стажировки, производственную практику или какую-либо другую работу. В условиях формального обучения проекты могут включать научные исследования, написание отчетов, сбор данных и статистический анализ, подготовку презентаций, либо разработку локального приложения или тематического исследования.
- j) Обучение или принятие решений на основе взаимодействия: обучающиеся совместно изучают сложные проблемы, анализируя информацию, делая выводы, генерируя и принимая решения. Обучение в группах может быть полезным как для способных, так и менее способных учеников.

#### 5.4.6 **Проведение обучения и организация учебных мероприятий**

Для успеха даже хорошо разработанного учебного мероприятия требуется последовательное его проведение. Это означает проведение обучения в среде, которая стимулирует и поддерживает обучение посредством вовлечения, эффективной коммуникации и пристального внимания к обучающимся.

Надлежащее проведение обучения начинается с обеспечения увлекательности видов учебной деятельности и их правильной подачи, с тем чтобы обучение проходило плавно. Преподавателям необходимо четко передать цель и ожидаемые конечные результаты видов учебной деятельности, а также создавать благоприятную среду для вкладов обучающихся, которая бы побуждала их свободно задавать вопросы и делиться тем, что их беспокоит. Преподавателям необходимо формировать взаимное доверие и уважение между собой и обучающимися, а также среди обучающихся. Преподавателям необходимо уметь быть хорошими слушателями, а также уметь задавать наводящие вопросы и обеспечивать эффективную обратную связь. Иногда им может потребоваться смягчать последствия сбоев и конфликтных ситуаций.

Наконец, они должны обладать техническими навыками для применения технологий, которые будут использоваться во время обучения, как приборов, так и средств обучения, таких как компьютеры и технологии в области презентаций.

#### 5.4.7 **Оценка усвоения знаний и определение качества процесса обучения**

##### 5.4.7.1 **Оптимизация обучения**

Учитывая ограниченность ресурсов, выделяемых на профессиональное обучение, для обеспечения его максимальной эффективности следует предпринимать действительно значительные усилия. Учебные занятия и средства должны быть направлены на повышение отдачи от обучения нужного персонала в оптимальные сроки. Так, например, обучение за слишком короткие сроки может оказаться просто потерей ресурсов, направление управляющего персонала на курсы для технического обслуживающего персонала было бы нецелесообразным, точно так же, как бессмысленно обучать людей за 12 месяцев до того, как они получат доступ к новой технологии.

Возможности и методы профессионального обучения следует выбирать так, чтобы они наилучшим образом соответствовали требованиям в отношении тех знаний и навыков, которые необходимо передать обучаемым, а также личностному профилю обучаемых с учетом их образовательного уровня и национальных особенностей. Для обеспечения максимальной эффективности необходимо проводить оценку результатов профессионального обучения.

#### 5.4.7.2 **Оценка усвоения знаний**

Многие преподаватели сказали бы, что оценка представляет собой ту часть обучения, в которой они менее всего уверены. Оценка — напряженный процесс как для преподавателей, так и для обучающихся. Однако она представляет собой неотъемлемую часть обучения. Без нее обучающиеся не знают, насколько хорошо ими усваиваются знания, а преподавателям не известно, успешно ли проводимое ими обучение.

В некотором смысле оценить обучение просто. То, что необходимо оценить, фактически определяется в самом начале, когда формулируются требуемые конечные результаты обучения. Если конечные результаты обучения были определены четко, преподаватель знает, что нужно оценивать.

Сложнее найти эффективные и практичные способы оценивания рабочих задач в учебной обстановке. Трудно воссоздать реалистичные условия вне рабочей обстановки. Однако приближение к реальным условиям возможно с помощью упражнений, в которых используется стандартное рабочее оборудование и реальные данные.

Профессиональные компетенции лучше всего оценивать во время работы, особенно если оценка имеет значение для сертификации лица, выполняющего эту работу. Однако рабочие задачи состоят из множества небольших действий и основаны на большом объеме базовых знаний, и более простые методы оценки могут оценить эти небольшие задачи и базовые знания, с тем чтобы внести вклад в более полную оценку того, как лицо сможет справляться с этой работой.

Могут использоваться различные методы оценки обучения: тесты, проекты или отчеты, решение проблем и упражнения, наблюдение за выполнением задач, взаимная оценка и самооценка и тому подобное. Практически любой подход к активному обучению, если его должным образом соблюдать, также может стать эффективным методом оценки. Навыки лучше всего тестируются путем наблюдения во время выполнения освоенной задачи в реальных условиях. Оценивающее лицо может пользоваться контрольным перечнем действий и навыков (формуляр наблюдений), которые необходимы для выполнения этой задачи.

#### 5.4.7.3 **Оценка профессионального обучения**

Оценка обучения — это процесс получения информации об эффективности обучения и предоставления ее тем лицам и органам, которые в дальнейшем могут оказать влияние на процесс профессионального обучения. В зависимости от того, каким из нижеперечисленных организаций и категорий лиц необходима такая информация, могут применяться несколько подходов к оценке результатов обучения:

- a) ВМО, заинтересованная в повышении качества данных, получаемых в рамках Глобальной системы наблюдений. Она разрабатывает программы профессионального обучения, создает фонды и пользуется услугами экспертов, главным образом для повышения квалификации персонала в развивающихся странах;
- b) НМГС, которой необходимы качественные метеорологические данные, и поэтому она заинтересована в повышении общего потенциала подразделения, занимающегося получением данных и конкретными задачами по эксплуатации

приборов при некоторых ограничениях численности персонала. Она заинтересована в эффективном использовании бюджета и экономичности расходов при осуществлении программ профессионального обучения;

- c) департамент профессионального обучения или РУЦ, заинтересованные в разработке таких программ профессионального обучения, которые были бы направлены на достижение установленных целей в рамках согласованного бюджета. Их преподаватели должны знать, насколько эффективны применяемые ими методы для достижения этих целей и каким образом их можно усовершенствовать;
- d) технические руководители, которые заинтересованы в получении таких рабочих навыков, которые позволяли бы им надлежащим образом выполнять свои функции в зонах ответственности без потери времени или материальных средств;
- e) обучающиеся, заинтересованные в получении удовлетворения от своей работы и соответствующих вознаграждений, что приходит с повышением уровня компетентности. Они хотят, чтобы учебные курсы отвечали их потребностям и ожиданиям.

Таким образом, эффективность процесса профессионального обучения должна оцениваться на нескольких уровнях. Национальные и региональные учебные центры могут проводить оценку своих программ как ежегодно, так и регулярно через более длительные промежутки времени (раз в 2–5 лет), сравнивая количество обучавшихся на различных курсах и уровень знаний при сдаче экзаменов в сопоставлении с размером бюджетных средств и целями, поставленными в начале каждого периода обучения. Преподавателям необходимо проводить оценку адекватности и эффективности содержания и методов преподавания их предметов.

#### 5.4.7.4 **Виды оценки**

Виды оценки включают следующее:

- a) Отчет о профессиональном обучении. Данный отчет не является попыткой оценить эффективность, а представляет собой фактическое сообщение, например, о видах и количестве проведенных курсов, их датах и продолжительности, числе обучавшихся, получивших профессиональную подготовку и повысивших свою квалификацию, и об общей стоимости этого обучения. В некоторых случаях требуется отчет об оценке способностей конкретного студента.
- b) Оценка ответной реакции. Служит для определения того, каким образом обучающиеся реагируют на программу обучения. Она может быть в форме напечатанного вопросника, в который обучающиеся в конце курса вносят свои мнения об актуальности, содержании, методах, учебных пособиях, работе преподавателей и администрации. Однако такой метод оценки не может немедленно улучшить то обучение, которое они проходят. Поэтому необходимо также в течение каждого курса профессионального обучения регулярно проводить обзоры и узнавать мнения студентов в ходе обсуждений в группах. Это позволит преподавателю обнаруживать любые возникающие в процессе обучения проблемы или узнавать об индивидуальных потребностях студентов и затем принимать надлежащие меры.
- c) Оценка обучения, которая служит для определения новых знаний и профессиональных навыков обучающегося, очевидно представляет собой средство измерения степени эффективности обучения и полезна также для обучающегося (см. также 5.4.7.2). Оценка дает более подробную информацию при сравнении с уровнем знаний, продемонстрированным при тестировании перед началом обучения. Для проверки знаний обучающихся можно разработать различные формы письменных тестов (эссе, вопросы, подразумевающие краткие ответы, вопросы

типа «правильно или неправильно», вопросы с возможностью выбора ответа из нескольких вариантов, построение диаграмм или блок-схем). Обучающиеся также могут на практике проверить и оценить свои знания.

- d) Оценка эффективности. Позволяет определить, как изменилась эффективность работы обучавшегося через некоторое время после прохождения им профессионального обучения; при этом новый уровень эффективности работы обучавшегося лучше всего определять методом сравнения с уровнем эффективности, продемонстрированным им при тестировании перед началом обучения. Такая оценка может проводиться работодателем с использованием, например, формуляра наблюдений по меньшей мере в течение шести недель после окончания обучения. Учебное заведение также может провести эту оценку, попросив опросники как работодателя, так и лица, прошедшему обучение.
- e) Оценка влияния обучения. Служит для определения эффективности обучения путем выяснения того, какие изменения произошли в какой-либо организации или рабочей группе. Для проведения этой оценки может потребоваться предварительное планирование, а также сбор базисных данных до начала конкретного курса профессионального обучения и после него. В качестве некоторых показателей можно назвать следующие: неправильные данные и отсутствие ряда данных в метеорологических сводках, период времени, необходимый для установки оборудования, и стоимость установки оборудования.

#### 5.4.7.5 **Профессиональная подготовка преподавателей**

Преподаватели также нуждаются в постоянном обучении (так называемые программы «подготовки инструкторов»), с тем чтобы быть в курсе новых технологических достижений, знакомиться с новыми методами и средствами обучения и получать возможность свежим взглядом посмотреть на свою работу. В ежегодном бюджете НМГС следует предусматривать средства на профессиональное обучение преподавательского состава НМГС, возможно, в порядке ротации.

В качестве некоторых вариантов можно назвать: самообразование; краткосрочные курсы (включая навыки преподавания), проводимые техническими институтами; освобождение от основных служебных обязанностей на время обучения для повышения квалификации; посещения производственных цехов изготовителей метеорологического оборудования; посещения и работа в качестве прикомандированных специалистов в других НМГС и РЦП, а также посещение учебных центров ВМО и других учебных центров и технических конференций.

#### 5.5 **РЕСУРСЫ ДЛЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБУЧЕНИЯ**

Руководители и преподаватели должны знать не только о тех ресурсах профессионального обучения, о которых говорилось в предыдущем разделе, но также и о других доступных для них источниках информации и руководящих материалах, о внешних возможностях, которые могут быть использованы для профессионального обучения, об учебных заведениях, которые могут дополнить их работу и, конечно, о финансовых ресурсах, которые могут быть использованы для поддержки всей деятельности по профессиональному обучению.

## 5.5.1 Учебные заведения для профессиональной подготовки

### 5.5.1.1 Национальные учебные заведения для обучения и подготовки кадров

Если рассматривать ситуацию в целом, то НМГС не могут обеспечить полномасштабное техническое образование и подготовку специалистов по приборам, и поэтому в той или иной степени будут зависеть от внешних образовательных учреждений, дающих основное и дополнительное профессиональное образование, а также обеспечивающих повышение квалификации в области передовой технологии. Руководители метеорологического инженерно-технического персонала должны быть хорошо осведомлены об учебных планах и курсах их национальных учебных заведений, с тем чтобы иметь возможность рекомендовать своему персоналу соответствующие курсы для базисного образования и профессиональной подготовки. В *Руководстве по применению стандартов образования и подготовки кадров в области метеорологии и гидрологии* (ВМО-№ 1083) рекомендуются те учебные программы, которые необходимы для специалистов по приборам различных классов.

Когда в качестве специалистов по приборам нанимаются квалифицированные инженеры не из числа сотрудников НМГС, желательно, чтобы их квалификация была подтверждена признанным национальным высшим учебным заведением. Тогда они должны дополнительно пройти профессиональное обучение в области метеорологии и освоить характерные для этой науки методы измерений и соответствующее приборное обеспечение.

### 5.5.1.2 Роль региональных центров ВМО по приборам в подготовке кадров

**РЦП** были созданы с целью поддержания учебных стандартов и обеспечения консультаций для Членов.

Подразумевается, что РЦП должны быть центрами экспертизы типов, характеристик, эффективности работы, применений и калибровки приборов. Эти центры должны располагать технической библиотекой по научным и практическим аспектам использования приборов, лабораторными помещениями и демонстрационным оборудованием и хранить у себя комплект стандартных приборов с калибровками, соответствующими международным стандартам. Эти центры должны предоставлять информацию, консультации и помощь Членам своих Регионов и не только.

По мере возможности эти центры должны объединяться с региональными центрами по радиации и будут размещаться в РУЦ или поблизости от них в целях совместного использования знаний и опыта экспертов и соответствующих ресурсов.

Одна из особых задач РЦП — это помощь в организации региональных учебных семинаров или рабочих групп по обслуживанию, сравнению и калибровке метеорологических приборов, а также предоставление соответствующих средств и консультаций экспертов.

РЦП должны стремиться спонсировать лучшие методы обучения и обеспечивать доступ к таким учебным ресурсам и средствам, которые могут дополнить ресурсы НМГС. Для поддержания своей эффективности центры должны обеспечивать постоянную профессиональную переподготовку своих экспертов, с тем чтобы они знакомились с самыми последними достижениями в области технологий и методов обучения.

Могут осуществляться меры поощрения производителей метеорологических измерительных систем, с тем чтобы они спонсировали проходящие в РЦП учебные сессии.

### 5.5.1.3 **Роль региональных центров ВМО-МОК по морским приборам (РЦМП) в подготовке кадров**

По рекомендации СКОММ<sup>1</sup> была создана сеть РЦМП<sup>2</sup> с целью поддержания учебных стандартов и обеспечения консультаций по измерениям, осуществляемым в сфере морской метеорологии и прочих смежных сферах океанографической науки.

Подразумевается, что РЦМП должны быть центрами экспертизы типов, характеристик, эффективности работы, применений и калибровки приборов. Эти центры должны располагать технической библиотекой по научным и практическим аспектам использования приборов, лабораторными помещениями и демонстрационным оборудованием и хранить у себя комплект стандартных приборов с калибровками, соответствующими международным стандартам. Эти центры должны предоставлять информацию, консультации и помощь Членам своих регионов.

РЦМП должны оказывать помощь в организации региональных учебных семинаров или рабочих групп по обслуживанию, сравнению и калибровке морских метеорологических и океанографических приборов, а также предоставлять соответствующие средства и консультации экспертов.

РЦМП должны стремиться спонсировать лучшие методы обучения и обеспечивать доступ к учебным ресурсам и средствам. Для поддержания своей эффективности эти центры должны обеспечивать проведение постоянной профессиональной переподготовки своих экспертов, с тем чтобы они могли ознакомиться с новинками в области методов обучения и самыми последними достижениями в сфере технологий.

Могут осуществляться меры поощрения производителей морских метеорологических и океанографических измерительных систем, с тем чтобы они спонсировали проходящие в РЦМП учебные сессии.

## 5.5.2 **Ресурсы ВМО для подготовки кадров**

### 5.5.2.1 **Программы ВМО для профессионального обучения и подготовки кадров**

Учебные программы для специализации в области метеорологических приборов и метеорологической телесвязи включены в *Руководство по применению стандартов образования и подготовки кадров в области метеорологии и гидрологии* (ВМО-№ 1083). Эти программы для профессионального обучения и подготовки кадров носят рекомендательный характер и должны интерпретироваться сообразно с национальными потребностями и стандартами технического образования.

### 5.5.2.2 **Обзор потребностей в подготовке кадров, проводимый ВМО**

ВМО периодически проводит обзор потребностей в подготовке кадров по Регионам, классам и метеорологическим специальностям. Это позволяет определить и распределить виды учебных мероприятий, спонсируемых ВМО в течение четырехлетнего периода. Важно, чтобы Члены ВМО предоставляли полную оценку своих потребностей в специалистах по приборам, с тем чтобы ВМО в своей деятельности по профессиональному обучению могла учитывать реальные потребности.

<sup>1</sup> Рекомендовано СКОММ на ее третьей сессии (2009 г.), рекомендация 1 (СКОММ-III).

<sup>2</sup> С информацией о РЦМП можно ознакомиться в [томе III](#), глава 4, приложение 4.А, настоящего Руководства.

### 5.5.2.3 **Публикации ВМО в области образования и подготовки кадров**

Эти публикации (особенно *Развитие метеорологического и гидрологического обслуживания с помощью предоставляемых ВМО возможностей по образованию и подготовке кадров* и *A Compendium of Topics to Support Management Development in Meteorological Services* (Сборник тем для оказания содействия развитию управленческих навыков в метеорологических службах)) содержат полезную информацию для специалистов по приборам и их руководителей.

### 5.5.2.4 **Ссылки на ресурсы ВМО по образованию и подготовке кадров**

Бюро ВМО по образованию и подготовке кадров осуществляет поддержку онлайн-портала (<https://learningevents.wmo.int/#/>) Глобального кампуса ВМО, на котором предоставляются ссылки на инструменты, дающие доступ к информации о мероприятиях и ресурсах в области обучения во всех сферах, представляющих интерес для Членов ВМО.

### 5.5.2.5 **Публикации ВМО по приборам и методам наблюдений**

Эти публикации (<https://community.wmo.int/activity-areas/imop/publications-and-iom-reports>), включая отчеты предыдущих рабочих групп ВМО и отчеты о взаимных сравнениях приборов, являются ценными техническими средствами для специалистов по приборам, которые могут обучаться по ним или использовать их в качестве справочных материалов.

### 5.5.2.6 **Возможности для специального профессионального обучения, спонсируемого ВМО**

Руководители инженерно-технических групп должны постоянно интересоваться тем, о каких возможностях технического профессионального обучения объявила ВМО, поддерживая контакты с департаментом по подготовке кадров и с лицами в своей службе, получающими корреспонденцию с информацией о следующих возможностях:

- a) поездки экспертов/передвижные семинары/практикумы: время от времени ВМО организует поездку одного из экспертов или группы экспертов, которые проводят специальные учебные курсы, семинары или практикумы в нескольких странах-членах, расположенных, как правило, в одном и том же Регионе. Альтернативный вариант подразумевает, что эксперты проводят учебные мероприятия в РЦП или РУЦ, а студенты из стран Региона приезжают в эти центры. Цель при этом состоит в том, чтобы студент получил наилучшие знания при наименьших общих затратах, принимая во внимание местные условия;
- b) стипендии: ВМО в рамках Программы по техническому сотрудничеству предоставляет стипендии для профессиональной подготовки кадров. Финансовые средства поступают из нескольких источников, включая Программу развития Организации Объединенных Наций, Программу добровольного сотрудничества, целевые фонды ВМО, регулярный бюджет ВМО и другие программы двусторонней помощи. Краткосрочные (менее 12 месяцев) или долгосрочные (на несколько лет) стипендии, предоставляются для получения образования или профессиональной подготовки в университетах, учебных институтах или специально в РУЦ ВМО и для таких категорий, как курсы для получения университетского диплома, постдипломное образование, обучение в высшем учебном заведении без получения диплома, специализированные учебные курсы, профессиональное обучение на рабочих местах и техническое профессиональное обучение для эксплуатации и обслуживания оборудования. Запросы на стипендии от частных лиц не принимаются. Подобные запросы должны быть одобрены постоянными представителями при ВМО тех стран, в которых проживают кандидаты. При этом должны быть четко определены виды профессионального обучения и соответствующие приоритеты. Поскольку

для организации учебной программы того или иного кандидата требуется в среднем восемь месяцев, что связано с необходимостью проведения сложных консультаций между Секретариатом, страной-донором и страной-получателем, заявки на стипендию следует присылать задолго до начала предполагаемого периода обучения. Это всего лишь краткое изложение условий. Более полную информацию и формуляр для назначения кандидатов можно получить в Секретариате ВМО. Условия носят строгий характер, и требуется предоставлять полный комплект документации с заявками на стипендию.

### 5.5.3 **Другие возможности для профессиональной подготовки**

#### 5.5.3.1 **Техническое профессиональное обучение в других странах**

Кроме стипендий ВМО, можно воспользоваться также и услугами агентств в некоторых странах, предлагающих замечательные программы профессиональной подготовки, которые могут быть составлены в соответствии с требованиями конкретного кандидата. Специалистам по приборам следует наводить справки о таких возможностях в соответствующих странах или в агентствах, являющихся представителями в их собственных странах.

#### 5.5.3.2 **Профессиональное обучение, обеспечиваемое международными учебными заведениями**

В мире существует несколько институтов, предоставляющих услуги по обучению. Услуги по обучению включают, помимо прочего, предоставление экспертов по конкретным вопросам, разработку специализированных учебных ресурсов и проведение специализированного обучения для устранения критических пробелов в знаниях в НМГС. Специализированные учебные ресурсы могут включать модули онлайн-обучения, учебные видеоролики и/или интерактивные практические имитационные модели. Специализированное обучение может включать электронное обучение на основе компетенций, комбинированное обучение и/или аудиторные занятия. Проведение обучения может включать обучение на типовых примерах и концептуальное обучение, сценарии имитационного моделирования на основе явлений, видеоуроки, записи лекций, прямые трансляции, интерактивные курсы дистанционного обучения и резидентные курсы, предоставляемые НМГС или учебными заведениями. Международные учебные заведения обладают гибкостью и доступом к преподавательским экспертным ресурсам, чтобы настроить под индивидуальные нужды и адаптировать предлагаемые учебные ресурсы для удовлетворения потребностей НМГС.

#### 5.5.3.3 **Профессиональное обучение, обеспечиваемое производителями оборудования**

Данный вид обучения включает в себя следующее:

- a) покупку новой системы сбора данных: все контракты на поставку крупных систем сбора данных (включая программы, финансируемые донорами) должны содержать надлежащие положения о профессиональном обучении местного персонала процедурам эксплуатации и обслуживания таких систем. Представители НМГС, получающей оборудование, должны хорошо представлять себе, каким должно быть это обучение, и в ходе переговоров должны выдвигать свои требования. Хотя обучение персонала методам использования новой системы осуществляется, как правило, на стадии ввода этой системы в эксплуатацию, целесообразно проводить еще один курс обучения после шести месяцев эксплуатации или когда возникнут серьезные проблемы с обслуживанием;
- b) приемку на предприятии-производителе/установку/ввод в эксплуатацию: работа, связанная с внедрением какого-либо крупного устройства для получения

данных, например станции приема сообщений со спутников или радиолокатора, обеспечивает уникальную возможность для обучающихся оказывать помощь в этой работе и знакомиться со строгими техническими требованиями.

Возможность организации профессионального обучения на двусторонней основе возникает тогда, когда одна страна, устанавливающая и вводящая в эксплуатацию какую-либо крупную измерительную систему, приглашает обучающихся из другой страны для того, чтобы они наблюдали за этим процессом и оказывали помощь в установке оборудования.

#### **5.5.3.4 Международные научные программы**

В тех случаях, когда в рамках таких международных программ, как Всемирная климатическая программа, Программа по атмосферным исследованиям и окружающей среде или Программа по тропическим циклонам, проводятся крупномасштабные эксперименты, для местных специалистов по приборам открываются возможности для совместной работы со старшими коллегами в рамках программы измерений и, следовательно, возможности для приобретения ценного профессионального опыта.

#### **5.5.3.5 Международные взаимные сравнения приборов, спонсируемые ВМО**

Периодически ВМО выбирает какой-либо конкретный вид метеорологических измерений (например, дождевых осадков, температуры или ветра) как предмет для изучения с целью развития соответствующих знаний. Приборы различного производства и приборы, представляемые Членами ВМО, сравниваются в стандартных условиях с использованием средств принимающей страны. Организационный комитет планирует такие взаимные сравнения и затем в своих отчетах описывает характеристики и эффективность приборов.

Если специалисты по приборам принимают участие в таких мероприятиях, то они получают пользу от ознакомления с некоторыми из следующих видов деятельности: экспериментальное проектирование, размещение приборов, оперативные методы, отбор данных, получение данных, обработка данных, анализ и интерпретация результатов. Если проведение взаимных сравнений можно организовать в РЦП, то следует рассмотреть возможность организации параллельно специальных курсов профессионального обучения.

#### **5.5.4 Затраты на подготовку кадров, предусматриваемые в бюджете**

В каждой НМГС департамент инженерно-технического метеорологического обслуживания или метеорологических приборов должен предусматривать надлежащую и четко определенную сумму для обучения и профессиональной подготовки персонала в своем годовом бюджете, относящемся к общей схеме персонала службы. Ведь затраты средств происходят и в случае недостаточной профессиональной подготовки персонала: ошибки, аварии, потеря времени и материалов, разочарование и быстрая сменяемость персонала — все это приводит к плохому качеству данных и метеорологической продукции.

##### **5.5.4.1 Экономическая эффективность**

Деятельность по профессиональной подготовке кадров требует значительных затрат, а имеющиеся ресурсы практически всегда ограничены. Поэтому необходимо определять и сравнивать суммы затрат на различные виды профессионального обучения, а затем проследить за экономической эффективностью всех видов учебной деятельности и принимать соответствующие решения. В целом вложение средств НМГС в профессиональное обучение персонала всегда должно рассматриваться как ценный вклад в повышение эффективности деятельности этой организации.

#### 5.5.4.2 **Прямые и косвенные затраты**

Затраты могут быть подразделены на прямые затраты на проведение определенных курсов профессионального обучения и на косвенные или накладные расходы на обеспечение учебных средств. Можно заранее определить, какая доля накладных расходов и прямых оперативных затрат должна приходиться на каждый вид деятельности по профессиональному обучению. Если учебные средства используются для многих видов деятельности в течение всего года, то доля косвенных расходов, приходящаяся на один вид деятельности, будет низкой и тогда считается, что эти средства используются эффективно.

Прямые оперативные расходы могут включать: затраты на деловые поездки обучающихся и преподавателей, на жилье, питание и суточные расходы, плату за курсы и вознаграждение преподавателей, затраты на персонал ВМО, расходные материалы для оценки знаний студентов и проведение специальных курсов, а также расходы, связанные с обеспечением условий для обучающихся во вне рабочее время.

К категории косвенных или накладных расходов можно отнести расходы, связанные с оплатой помещений в учебном центре (аудитории, мастерские и лаборатории), затраты на оборудование и текущие затраты, заработную плату преподавателей и административного персонала, административные расходы ВМО, затраты на подготовку учебных материалов (новых программ курсов, конспектов со справочной информацией, аудиовизуальных материалов) и затраты на все расходные материалы, используемые в процессе обучения.

В целом общие затраты на различные виды обучения можно представить в порядке возрастания, от самых низких до самых высоких, приблизительно следующим образом (в зависимости от эффективности использования ресурсов):

- a) обучение на рабочих местах;
  - b) онлайн-курсы и вебинары (стоимость разработки может варьироваться);
  - c) онлайн-обучающие ресурсы (стоимость разработки может варьироваться);
  - d) командировки экспертов/передвижные семинары, курсы на местах;
  - e) национальные курсы, когда участники съезжаются в один центр;
  - f) интерактивные онлайн-обучающие модули (высокие первоначальные затраты на оборудование, но затраты на протяжении жизненного цикла не высоки);
  - g) региональные курсы, на которых обучаются студенты из других стран;
  - h) обучение по долгосрочным стипендиям;
  - i) региональные курсы в специально оборудованном учебном центре.
-

## **ПРИЛОЖЕНИЕ 5.А. СИСТЕМА КОМПЕТЕНЦИЙ ДЛЯ ПЕРСОНАЛА, ПРОИЗВОДЯЩЕГО МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ**

Функция производства метеорологических наблюдений в структуре НМГС или связанного учреждения может выполняться различными квалифицированными специалистами, включая метеорологов, климатологов, географов, технических специалистов по метеорологическим приборам и техников-метеорологов. Она может также выполняться рядом других лиц, не связанных непосредственно с НМГС, таких как фермеры, полиция, офисные работники, либо частные лица. Сторонние организации (например, университеты, международные и региональные учреждения и научно-исследовательские центры) и организации частного сектора также могут вносить вклад в выполнение этой функции.

В настоящем приложении изложена система компетенций для персонала (преимущественно профессиональных метеорологов, производящих наблюдения), участвующего в предоставлении функции метеорологических наблюдений, но необязательно, чтобы все лица обладали полным набором компетенций, как изложено в данной системе компетенций. Однако в конкретных условиях применения (как указано ниже), которые могут отличаться в зависимости от организации или региона, ожидается, что любое учреждение, предоставляющее обслуживание в области метеорологических наблюдений, будет иметь членов персонала в структуре этой организации, которые вместе демонстрируют владение всеми этими компетенциями. Компоненты работы, также как и требования в отношении знаний и навыков, которые подкрепляют эти компетенции, должны формулироваться с учетом особого контекста организации. Однако общие критерии и требования, представленные здесь, будут применимы в большинстве случаев.

Рекомендуется, чтобы профессиональные метеорологи, производящие метеорологические наблюдения, обязательно успешно освоили Пакет обязательных программ для техников-метеорологов (БИП-МТ) (подробная информация по БИП-МТ представлена в [Руководстве по применению стандартов образования и подготовки кадров в области метеорологии и гидрологии](#) (ВМО № 1083)).

### **Условия применения**

Применение системы компетенций будет зависеть от следующих обстоятельств, которые будут различны в каждой организации:

- a) организационная среда, первоочередные задачи и потребности заинтересованных сторон;
- b) механизм использования собственного и внешнего персонала для предоставления обслуживания в области метеорологических наблюдений;
- c) имеющиеся ресурсы и возможности (финансовые, людские, технологические и материально-технические), а также организационные структуры, политика и процедуры;
- d) национальное и ведомственное законодательство, правила и процедуры;
- e) руководящие принципы, процедуры в области метеорологических наблюдений ВМО и требования ИСО;
- f) региональные отличия:
  - i) набор погодных явлений, наблюдающихся в регионе;
  - ii) местная климатология;

- iii) степень автоматизации систем наблюдений и зондирования;
- iv) доступные технологии в области коммуникации.

### **Метеорологические наблюдения: компетенции высокого уровня**

1. мониторинг метеорологической ситуации;
2. производство приземных наблюдений;
3. производство шаропилотных аэрологических наблюдений;
4. использование технологий дистанционного зондирования при производстве наблюдений;
5. ведение мониторинга функционирования приборов и систем;
6. поддержание качества данных наблюдений;
7. поддержание безопасной рабочей среды.

### **Компетенция 1: Мониторинг метеорологической ситуации**

#### **Описание компетенции**

Оценка метеорологических условий для выявления значимой и развивающейся ситуации, которая влияет или, по всей вероятности, будет оказывать влияние на зону ответственности на протяжении периода наблюдений.

#### **Компоненты работы**

- a) оценка развивающейся местной метеорологической ситуации;
- b) понимание потенциального влияния развивающейся метеорологической ситуации на последующие наблюдения;
- c) выявление метеорологических признаков, которые могут привести к наступлению значительных погодных явлений.

#### **Требуемые знания и навыки**

- a) понимание основ метеорологии, как описано в БИП-МТ, включая физическую метеорологию, динамическую метеорологию, синоптическую и мезомасштабную метеорологию, климатологию, метеорологические приборы и методы наблюдений;
- b) идентификация облаков и других метеоров с использованием *Международного атласа облаков ВМО: Наставление по наблюдению за облаками и другими метеорами (ВМО-№ 407)* в качестве руководства;
- c) метеорологические факторы, приводящие к развитию значительных погодных явлений;
- e) стандартные рабочие процедуры (СОП) и предписанная практика для мониторинга погодных условий.

## Компетенция 2: Производство приземных наблюдений

### Описание компетенции

Выполнение приземных наблюдений метеорологических переменных и явлений и значительных изменений в них в соответствии с предписанной практикой.

### Компоненты работы

- а) Наблюдение и точная регистрация:
- осадков;
  - атмосферного давления;
  - температуры;
  - влажности;
  - ветра;
  - облачности;
  - текущей и прошедшей погоды;
  - видимости;
  - солнечной радиации;
  - продолжительности солнечного сияния;
  - испарения;
  - температуры почвы;
  - состояния земной поверхности;
  - другие специальные наблюдения по необходимости (например, влажность почвы, состояние моря, состав атмосферы, сдвиг ветра, влажность листьев, фенология);
- б) Кодирование и передача данных наземных наблюдений с использованием предписанных кодов и методов.

### Требуемые знания и навыки

- а) понимание основ метеорологии, как описано в БИП-МТ, включая физическую метеорологию, динамическую метеорологию, синоптическую и мезомасштабную метеорологию, климатологию, метеорологические приборы и методы наблюдений;
- б) классификация облаков в соответствии с определениями *Международного атласа облаков ВМО: Наставление по наблюдению за облаками и другими метеорами* (ВМО-№ 407);
- с) определение прошедшей и текущей погоды;
- д) СОП и предписанная практика для производства приземных наблюдений;

- e) приборы и системы на площадке (включая программное обеспечение);
- f) осторожное обращение с приборами;
- g) точность считывания показаний приборов и ведения записи наблюдений;
- h) использование метеорологических кодов для ведения записи наблюдений (например, в соответствии с *Наставлением по Глобальной системе обработки данных и прогнозирования* (ВМО-№ 485) и *Наставлением по кодам* ((ВМО-№ 306), тома I.1, I.2, I.3 и II)).

### **Компетенция 3: Производство шаропилотных аэрологических наблюдений**

#### **Описание компетенции**

Производство шаропилотных аэрологических наблюдений в соответствии с предписанными практикой и процедурами.

#### **Компоненты работы**

- a) подготовка и запуск аэростатов и их полетной аппаратуры:
  - проверка безопасности ангаров для наполнения оболочек аэростатов;
  - подготовка и наполнение аэростата;
  - наземная проверка приборов;
  - выпуск аэростата;
- b) отслеживание полета аэростата;
- c) вычисление и регистрация:
  - аэрологического давления, температуры и влажности;
  - аэрологической скорости и направления ветра;
  - другие специализированные аэрологические наблюдения по необходимости (например, озон);
- d) кодирование и передача данных аэрологических наблюдений с использованием предписанных кодов и методов.

#### **Требуемые знания и навыки**

- a) техника безопасности при работе с водородом и генераторами водорода;
- b) понимание основ метеорологии, как описано в БИП-МТ, включая физическую метеорологию, динамическую метеорологию, синоптическую и мезомасштабную метеорологию, климатологию, метеорологические приборы и методы наблюдений;
- c) СОП и требуемые методы для производства аэрологических наблюдений;
- d) приборы и системы на площадке (включая программное обеспечение);
- e) осторожное обращение с приборами;

- f) точность считывания показаний приборов и ведения записи наблюдений;
- g) использование метеорологических кодов для ведения записи наблюдений.

#### **Компетенция 4: Использование технологий дистанционного зондирования при производстве наблюдений**

##### **Описание компетенции**

Производство наблюдений с использованием технологии дистанционного зондирования, например, со спутника, метеорологического радара, радиолокационного ветрового профилометра, ветрового лидара, облакомера, микроволнового радиометра, системы обнаружения молний и тому подобное.

##### **Компоненты работы**

- a) интерпретация информации, получаемой с помощью технологии дистанционного зондирования, при производстве наблюдений (например, облакомер для определения высоты нижней границы облаков при синоптических наблюдениях и метеорологические сводки по аэродрому);
- b) перекрестная проверка данных наблюдений, получаемых с помощью альтернативных методов наблюдений (например, соотношение измерений дистанционного зондирования и *in situ*) для обеспечения согласованности (например, сравнение информации о видимости, зарегистрированной при помощи измерителей видимости, со спутниковыми изображениями (туман, песчаные бури) и неавтоматизированными наблюдениями).

##### **Требуемые знания и навыки**

- a) понимание физических принципов оперативной деятельности, конкретной технической конфигурации и ограничений используемой наземной и космической технологии дистанционного зондирования (например, метеорологический радиолокатор, ветровой лидар, облакомер, система обнаружения молний, радиолокационный ветровой профилометр, микроволновый радиометр);
- b) умение использовать различную метеорологическую и океанографическую информацию, получаемую с помощью технологии дистанционного зондирования (например, изображения с различных каналов спутников, поле ветра по данным доплеровского метеорологического радиолокатора).

#### **Компетенция 5: Ведение мониторинга функционирования приборов и систем**

##### **Описание компетенции**

Мониторинг состояния и работы измерительных приборов и систем связи<sup>1</sup>.

##### **Компоненты работы**

- a) регулярное проведение инспекции метеорологических приборов (например, дождемеры, смоченные термометры), автоматизированных систем наблюдений (например, АМС, состояние неисправностей метеорологического радара), систем связи и резервных систем (например, электропитания);

<sup>1</sup> См. также компетенцию 2 в компетенциях в области приборов, приложение 5.В.

- b) выполнение плановых задач по техническому обслуживанию в соответствии с предписаниями (например, замена фитиля смоченного термометра или диаграмм регистратора, чистка купола пиранометра или окна облакомера);
- c) проведение первичной диагностики неисправностей и предупреждение технического персонала;
- d) действия под руководством удаленного технического персонала;
- e) запись вмешательств и отклонений в журнале технического обслуживания или хранилище метаданных.

### **Требуемые знания и навыки**

- a) СОП и предписанная практика для проведения инспекций приборов и систем связи и тому подобное;
- b) требования к точности для приборов и измерений (например, как указано в настоящем Руководстве и других регламентных и руководящих материалах ВМО или Международной организации гражданской авиации (ИКАО));
- c) приборы и системы на площадке (включая программное обеспечение);
- d) осторожное обращение с приборами;
- e) точность считывания показаний приборов и ведения записи наблюдений;
- f) использование метеорологических кодов для ведения записи наблюдений;
- g) осведомленность об опасности нахождения вблизи приборов и систем связи (например, вблизи электрических кабелей, работы на высоте, электромагнитное излучение);
- h) предписанные планы действий на случай непредвиденных обстоятельств (например, выход из строя систем электропитания и связи, повреждение инфраструктуры во время суровых погодных явлений).

### **Компетенция 6: Поддержание качества данных наблюдений**

#### **Описание компетенции**

Обеспечение качества метеорологических наблюдений на должном уровне путем применения документально закрепленных процессов менеджмента качества.

#### **Компоненты работы**

- a) мониторинг всех наблюдений для проверки на наличие ошибок и несоответствий, исправление ошибок или пометка данных в соответствии с предписанными процедурами и принятие последующих мер;
- b) регистрация исправлений, пометок и последующих мер в хранилище метаданных;
- c) проверка сводок наблюдений на предмет формата и содержания перед выпуском и внесение исправлений по необходимости;
- d) обеспечение успешной отправки и получения всех данных наблюдений.

**Требуемые знания и навыки**

- a) понимание основ метеорологии, как описано в БИП-МТ, включая физическую метеорологию, динамическую метеорологию, синоптическую и мезомасштабную метеорологию, климатологию, метеорологические приборы и методы наблюдений;
- b) СОП и предписанная практика для обработки сомнительных данных наблюдений;
- c) требования к точности для измерений (например, как указано в настоящем Руководстве и других регламентных и руководящих материалах ВМО или ИКАО);
- d) приборы и системы на площадке (включая программное обеспечение);
- e) использование метеорологических кодов для ведения записи наблюдений;
- f) предписанные планы действий на случай непредвиденных обстоятельств (например, сбой передачи данных, сбой питания).

**Компетенция 7: Поддержание безопасной рабочей среды****Описание компетенции**

Выполнение всех задач по производству наблюдений в безопасной и здоровой производственной среде с неизменным соблюдением правил и процедур по охране труда и технике безопасности.

**Компоненты работы**

- a) безопасное обращение, хранение и утилизация водорода и химических веществ, используемых для его производства;
- b) безопасное обращение, хранение и утилизация ртути, а также оборудования, содержащего ртуть;
- c) безопасное обращение, хранение и утилизация других токсичных или опасных веществ, а также оборудования, содержащего эти вещества (например, жидкостные аккумуляторы);
- d) соблюдение мер безопасности в непосредственной близости к источнику электроопасности;
- e) безопасное выполнение всех задач по производству наблюдений с максимальным уменьшением воздействия опасных условий окружающей среды (суровая погода, молнии, паводки, ураган, пожары и т. п.);
- f) безопасное выполнение всех задач по производству наблюдений при наличии угроз безопасности (работа на высоте, вблизи микроволнового излучения, сжатых газов и т. п.);
- g) поддержание реестра опасностей и управление рисками.

**Требуемые знания и навыки**

- a) требования и процедуры по технике безопасности и охране труда (например, водород, ртуть, химическая безопасность, электробезопасность и работа на высоте);
  - b) выявление опасных явлений и смягчение их воздействия;
  - c) реестр опасностей с кратким изложением всех потенциальных видов опасности и мер контроля на рабочем месте для повышения безопасности труда.
-

## **ПРИЛОЖЕНИЕ 5.В. СИСТЕМА КОМПЕТЕНЦИЙ ДЛЯ ПЕРСОНАЛА, УСТАНОВЛИВАЮЩЕГО И ОБСЛУЖИВАЮЩЕГО ПРИБОРЫ**

Предоставление обслуживания по установке и обслуживанию приборов в структуре НМГС или связанных служб может выполняться различными квалифицированными специалистами, включая метеорологов, специалистов по приборам и техников, инженеров и специалистов по ИТ. Персонал сторонних организаций (например, частные подрядчики, поставщики услуг связи и агенты по обслуживанию приборов) и другие поставщики также могут обеспечивать установку и обслуживание различных приборов для производства метеорологических наблюдений.

В настоящем приложении изложена система компетенций для персонала, участвующего в установке и обслуживании приборов для производства метеорологических наблюдений<sup>1</sup>, но необязательно, чтобы все лица обладали полным набором компетенций. Однако в конкретных условиях применения (как указано ниже), которые могут отличаться в зависимости от организации, ожидается, что любое учреждение, предоставляющее обслуживание в области установки и обслуживания приборов, будет иметь членов персонала в структуре этой организации, которые вместе демонстрируют владение всеми этими компетенциями. Компоненты работы, также как и требования в отношении знаний и навыков, которые подкрепляют эти компетенции, должны формулироваться с учетом особого контекста организации. Однако общие критерии и требования, представленные здесь, будут применимы в большинстве случаев.

Рекомендуется, чтобы персонал, участвующий в установке и обслуживании приборов метеорологического наблюдения, использовал некоторые из конечных результатов обучения, как указано для метеорологических приборов и методов наблюдения в БИП-МТ (подробная информация о БИП-МТ приведена в [Руководстве по применению стандартов образования и подготовки кадров в области метеорологии и гидрологии](#) (ВМО-№ 1083).

### **Условия применения**

Применение системы компетенций будет зависеть от следующих обстоятельств, которые будут различны в каждой организации:

- a) организационная среда, первоочередные задачи и потребности заинтересованных сторон;
- b) механизм использования собственного и внешнего персонала для предоставления обслуживания в области установки и обеспечения функционирования приборов;
- c) имеющиеся ресурсы и возможности (финансовые, людские, технологические и материально-технические), а также организационные структуры, политика и процедуры;
- d) национальное и ведомственное законодательство, правила и процедуры;
- e) руководящие принципы, рекомендации и процедуры ВМО в области обслуживания по установке и обеспечению функционирования;

---

<sup>1</sup> В настоящем документе под компетенцией понимается эффективность, которая требуется для действенного монтажа и обслуживания небольших частей приборов для производства наблюдений. Компетенции для крупных инфраструктур метеорологических наблюдений, таких как системы, включающие радары и ветровые профилометры, охвачены в рамках компетенций в области программ и сетей наблюдений.

**Приборное обеспечение: Компетенции высокого уровня**

1. установка приборов и систем связи;
2. поддержание функционирования приборов и систем;
3. диагностирование отказов;
4. ремонт вышедших из строя приборов и систем;
5. поддержание безопасной рабочей среды.

**Компетенция 1: Установка приборов и систем связи****Описание компетенции**

Установка, тестирование и ввод в эксплуатацию метеорологических приборов наблюдения и систем связи.

**Компоненты работы**

- a) сборка и испытание приборов перед транспортировкой на площадку;
- b) транспортировка приборов на площадку;
- c) установка приборов и систем связи (включая простую подготовку площадки);
- d) наставление технического персонала и персонала наблюдателей в вопросах эксплуатации и обслуживания приборов (включая предоставление СОП), стандартных инструкций по эксплуатации, наставлений по системам, схем подключения и т. п.;
- e) тщательная проверка работоспособности приборов и связи на месте до начала эксплуатации;
- f) полная классификация площадки по соответствующей(им) переменной(ым), подготовка и представление приборов и переменных метаданных в ИГСНВ с помощью Инструмента анализа и обзора возможностей систем наблюдений (ОСКАР);
- g) переключение прибора(ов) в рабочий режим.

**Требуемые знания и навыки**

- a) знание общей метеорологии, как описано в БИП-МТ;
- b) детальное понимание вопросов метеорологических приборов и методов наблюдения;
- c) использование метеорологических кодов для ведения записи наблюдений (например, в соответствии с *Наставлением по Глобальной системе обработки данных и прогнозирования* (ВМО-№ 485) и *Наставлением по кодам* ((ВМО-№ 306), тома I.1, I.2, I.3 и II));
- d) настройка информационной системы ВМО (ИСВ);
- e) осторожное обращение с приборами, в том числе во время транспортировки;

- f) электронное оборудование и информационно-коммуникационные технологии (ИКТ);
- g) правильное и безопасное использование механических и электрических инструментов;
- h) СОП, практика и системы менеджмента качества;
- i) требования в области безопасности и охраны труда для приборов и систем.

## **Компетенция 2: Поддержание функционирования приборов и систем**

### **Описание компетенции**

Выполнение профилактического обслуживания приборов и систем связи в соответствии с СОП, с тем чтобы обеспечить качество и доступность данных наблюдений<sup>2</sup>.

### **Компоненты работы**

- a) планирование и проведение профилактического обслуживания и инспекции площадки на месте, следуя предписанным процедурам (например, замена фитиля смоченного термометра или диаграмм регистратора, чистка купола пиранометра или окна облакомера, замена подшипников анемометра, а также проведение профилактического обслуживания элементов более сложного оборудования, таких как радары и АМС, как указано в СОП);
- b) обеспечение наличия необходимых запасных частей из установленного перечня;
- c) мониторинг доступности данных и работоспособности приборов и систем связи<sup>3</sup>;
- d) регулярная проверка корректной работы приборов в соответствии с предписанными процедурами;
- e) проверка калибровки на месте, чтобы убедиться, что рабочие характеристики приборов находятся в пределах допуска, следуя предписанным процедурам;
- f) обеспечение руководящих указаний и переподготовки, по необходимости дистанционно, для персонала на месте, с тем чтобы обеспечить соблюдение предписанных методов эксплуатации приборов для производства наблюдений и процедур приведения результатов наблюдений;
- g) инспекция размещения приборов и устранение любых препятствий поблизости при необходимости;
- h) учет информации о мероприятиях по обслуживанию и инспекциях площадки<sup>4</sup>, калибровке, замене датчиков/приборов в журнале технического обслуживания или хранилище метаданных.

<sup>2</sup> См. также компетенцию 5 в компетенциях в области управления программами и сетями наблюдений, приложение 5.D.

<sup>3</sup> См. также компетенцию 5 в компетенциях в области метеорологических наблюдений, приложение 5.A.

<sup>4</sup> Информацию о задачах в области инспекции площадок см. в настоящем Руководстве, в частности том I, глава 1, 1.3.5.1, и настоящем томе, глава 1, 1.10.1; также см. *Руководство по Глобальной системе наблюдений* (ВМО-№ 488), в частности 3.1.3.8 и 3.1.3.11; и *Руководство по Интегрированной глобальной системе наблюдений ВМО* (ВМО-№ 1160), в частности глава 3, 3.4.8.

**Требуемые знания и навыки**

- a) знание общей метеорологии, как описано в БИП-МТ;
- b) детальное понимание вопросов метеорологических приборов и методов наблюдений и, в частности, хорошее знание приборов, установленных на площадке;
- c) осторожное обращение с приборами;
- d) точность при считывании показаний с приборов;
- e) наставления по обслуживанию и инспекции площадок, СОП, практика и системы менеджмента качества;
- f) электронное оборудование и ИКТ;
- g) неопределенность измерений приборов и прослеживаемость калибровки;
- h) требования в области безопасности и охраны труда для приборов и систем.

**Компетенция 3: Диагностирование отказов****Описание компетенции**

Диагностирование отказов в работе системы наблюдения (приборы, связь, электроснабжение и вспомогательная инфраструктура).

**Компоненты работы**

- a) обнаружение нарушений в приеме данных и работе системы;
- b) инспекция приборов наблюдения, систем связи, объектов энергоснабжения и вспомогательной инфраструктуры на наличие отказов;
- c) предоставление, по необходимости дистанционно, руководящих указаний персоналу на площадке для выявления и диагностики незначительных отказов;
- d) регистрация всех отказов и времени их возникновения в журнале технического обслуживания или хранилище метаданных;
- e) если требуется ремонт, заказ поставки необходимых запасных частей.

**Требуемые знания и навыки**

- a) знание общей метеорологии, как описано в БИП-МТ;
- b) детальное понимание вопросов метеорологических приборов и методов наблюдений и, в частности, хорошее знание приборов, установленных на площадке;
- c) использование метеорологических кодов для ведения записи наблюдений (например, в соответствии с *Наставлением по Глобальной системе обработки данных и прогнозирования* (ВМО-№ 485) и *Наставлением по кодам* ((ВМО-№ 306), тома I.1, I.2, I.3 и II));
- d) настройка ИСВ;

- e) СОП, практика и системы менеджмента качества;
- f) возможность запросов к системе как на площадке, так и удаленно;
- g) электронное оборудование и ИКТ;
- h) требования в области безопасности и охраны труда для приборов и систем;
- i) план действий на случай непредвиденных обстоятельств для обеспечения непрерывности производства наблюдений (например, в случае сбоя питания, датчика или системы, резервных датчиков и систем связи).

#### **Компетенция 4: Ремонт вышедших из строя приборов и систем**

##### **Описание компетенции**

Ремонт вышедших из строя приборов и систем в сети наблюдений.

##### **Компоненты работы**

- a) предоставление, по необходимости дистанционно, руководящих указаний персоналу на площадке для ремонта незначительных неисправностей;
- b) оценка требований к запасным частям и обеспечение доступности;
- c) ремонт неисправных компонентов в соответствии с предписанными процедурами и процессами;
- d) проведение испытаний после ремонта, чтобы обеспечить соответствие эксплуатационным требованиям;
- e) учет предпринятых действий по ремонту и времени возобновления сбора данных в журнале технического обслуживания или хранилище метаданных.

##### **Требуемые знания и навыки**

- a) знание общей метеорологии, как описано в БИП-МТ;
- b) детальное понимание вопросов метеорологических приборов и методов наблюдений;
- c) использование метеорологических кодов для ведения записи наблюдений (например, в соответствии с [Наставлением по Глобальной системе обработки данных и прогнозирования](#) (ВМО-№ 485) и [Наставлением по кодам](#) ((ВМО-№ 306), тома I.1, I.2, I.3 и II));
- d) настройка ИСВ;
- e) осторожное обращение с приборами, в том числе во время транспортировки;
- f) разработка и эксплуатация приборов и систем;
- g) руководства по ремонту, СОП, практика и системы менеджмента качества;
- h) возможность опроса системы как на месте, так и удаленно;

- i) электронное оборудование и ИКТ;
- j) требования в области безопасности и охраны труда для приборов и систем.

### **Компетенция 5: Поддержание безопасной рабочей среды**

#### **Описание компетенции**

Выполнение всех задач в безопасной и здоровой производственной обстановке с неизменным соблюдением правил и процедур по охране труда и технике безопасности.

#### **Компоненты работы**

- a) осуществление выявления опасностей и оценки рисков;
- b) повышение осведомленности о безопасности среди других сотрудников и посетителей площадки;
- c) непрерывный мониторинг места работы с точки зрения безопасности и охраны труда и устранение или смягчение воздействия несоответствий;
- d) безопасные удаленные площадки для обеспечения общественной безопасности;
- e) использование средств индивидуальной защиты;
- f) безопасное обращение, хранение и утилизация всех опасных химических веществ (например, ртути, водорода и химических веществ, используемых для производства водорода и аккумуляторов);
- g) соблюдение мер безопасности в непосредственной близости от источника электроопасности, микроволнового излучения, связанных с погодой опасных явлений и при работе на высоте или в замкнутом пространстве;
- h) ведение реестра опасностей и управление рисками.

#### **Требуемые знания и навыки**

- a) ISO 31000 (Управление рисками: принципы и руководство по осуществлению);
  - b) правила техники безопасности при обращении с опасными материалами (например, ртуть, водород и химические вещества, используемые для производства водорода и аккумуляторов);
  - c) соблюдение мер безопасности в непосредственной близости от источника электроопасности, микроволнового излучения, связанных с погодой опасных явлений и при работе на высоте или в замкнутом пространстве;
  - d) общие требования в области безопасности и охраны труда;
  - e) выявление опасности, смягчение воздействий и регистрация.
-

## **ПРИЛОЖЕНИЕ 5.С. СИСТЕМА КОМПЕТЕНЦИЙ ДЛЯ ПЕРСОНАЛА, ВЫПОЛНЯЮЩЕГО КАЛИБРОВКУ ПРИБОРОВ**

Предоставление обслуживания по калибровке приборов в структуре НМГС или связанных служб может выполняться различными квалифицированными специалистами, включая метеорологов, специалистов по приборам, технических специалистов и инженеров. Сторонние организации (например, частные подрядчики, поставщики услуг по калибровке и лаборатории) также могут предоставлять обслуживания по калибровке различных приборов для производства метеорологических наблюдений.

В настоящем приложении изложена система компетенций для персонала, работающего в калибровочных лабораториях и/или предоставляющего централизованное обслуживание по калибровке приборов для производства метеорологических наблюдений, но необязательно, чтобы все лица обладали полным набором компетенций. Однако в конкретных условиях применения (как указано ниже), которые могут отличаться в зависимости от организации, ожидается, что любое учреждение, предоставляющее обслуживание по калибровке приборов, будет иметь членов персонала в структуре этой организации, которые вместе демонстрируют владение всеми этими компетенциями. Компоненты работы, также как и требования в отношении знаний и навыков, которые подкрепляют эти компетенции, должны формулироваться с учетом особого контекста организации. Однако общие критерии и требования, представленные здесь, будут применимы в большинстве случаев.

### **Условия применения**

Применение системы компетенций будет зависеть от следующих обстоятельств, которые будут различны в зависимости от организации:

- a) организационная среда, первоочередные задачи и потребности заинтересованных сторон;
- b) механизм использования собственного и внешнего персонала для предоставления обслуживания в области установки и обслуживания приборов;
- c) имеющиеся ресурсы и возможности (финансовые, людские, технологические и материально-технические), а также организационные структуры, политика и процедуры;
- d) национальное и ведомственное законодательство, правила и процедуры;
- e) руководящие принципы, процедуры ВМО в области обслуживания по калибровке приборов.

### **Калибровка: Компетенции высокого уровня**

1. калибровка приборов;
2. проверка функционирования приборов;
3. управление программой работы лаборатории;
4. управление лабораторной инфраструктурой;
5. разработка и поддержание СОП;

6. управление архивной регистрацией данных и записей<sup>1</sup>;
7. поддержание безопасной рабочей среды и лабораторной безопасности.

### **Компетенция 1: Калибровка приборов**

#### **Описание компетенции**

Выполнение калибровки в соответствии со стандартными процедурами по калибровке, от обращения с образцом до редактирования сертификатов калибровки.

#### **Компоненты работы**

- a) выполнение стандартной калибровки на каждодневной основе в соответствии со стандартными процедурами калибровки;
- b) расчет неопределенности калибровки в соответствии с СОП;
- c) подготовка проекта сертификата калибровки (без утверждения или выдачи);
- d) надлежащее обращение с образцами калибровки;
- e) проведение промежуточных проверок рабочих стандартов в калибровочной лаборатории;
- f) участие во внутренних и внешних аудитах.

#### **Требуемые знания и навыки**

- a) лабораторная материально-техническая база и стандарты (включая программное обеспечение);
- b) СОП для выполнения калибровки и вычисления неопределенности калибровки;
- c) осторожное обращение с приборами;
- d) основы метрологии и вычисления неопределенности, включая знание VIM (Международного словаря по метрологии), СИ, стандартов измерения и прослеживаемости, неопределенности и погрешности измерений, а также расчета неопределенности с использованием предписанных методов;
- e) основные вопросы метеорологического оборудования, включая понимание принципов работы обычных метеорологических приборов, их характеристик и требований к точности измерений (например, как указано в настоящем Руководстве и других регламентных и руководящих материалах ВМО или ИКАО).

### **Компетенция 2: Проверка функционирования приборов**

#### **Описание компетенции**

Проверка функционирования приборов в лаборатории с использованием стандартов измерений в соответствии с СОП.

<sup>1</sup> «Архивирование» в данном контексте означает функцию хранения, содержания в безопасности и обеспечения возможности обнаружить, доступности и удобства извлечения данных и информации.

**Компоненты работы**

- a) подготовка эталонов, которые будут использоваться для проверки функционирования приборов;
- b) надлежащее обращение с эталонами и образцами;
- c) сравнение прибора с эталонами и оценка его функциональности;
- d) регистрация и анализ погрешностей измерений;
- e) подготовка отчетов о функционировании прибора по необходимости.

**Требуемые знания и навыки**

- a) обращение со стандартами измерений и их использование;
- b) СОП для проведения проверки приборов;
- c) осторожное обращение с приборами;
- d) основы метрологии и вычисления неопределенности, включая знание VIM, СИ, стандартов измерения и прослеживаемости, неопределенности и погрешности измерений, а также расчета неопределенности с использованием предписанных методов;
- e) базовые знания в области метеорологического оборудования, включая понимание принципов работы обычных метеорологических приборов, их характеристик и требований к точности измерений (например, как указано в настоящем Руководстве и других регламентных и руководящих материалах ВМО или ИКАО).

**Компетенция 3: Управление программой работы лаборатории****Описание компетенции**

Разработка, подготовка, организация и управление деятельностью по калибровке калибровочной лаборатории.

**Компоненты работы**

- a) управление работой калибровочной лаборатории, включая качество и технические аспекты (охватывающие прослеживаемость к стандартам, оценку неопределенности бюджета) в соответствии со стандартом ISO/IEC 17025 «Общие требования к компетенции испытательных и калибровочных лабораторий»;
- b) планирование и организация регулярных калибровок (внутренних или внешних, по необходимости) эталонных стандартов в соответствии с СОП и/или соответствующими руководящими указаниями ВМО;
- c) подготовка, планирование, разработка, закупка физической инфраструктуры для деятельности по калибровке (испытательные камеры, эталоны, ячейки с фиксированной точкой, генераторы давления и т. п.) и применений, необходимых для проведения деятельности по калибровке;
- d) мониторинг качества лабораторной деятельности по калибровке и определение применимых лабораторных калибровочных и измерительных возможностей (СМС);

- e) обеспечение непрерывного обучения для поддержания квалификации персонала калибровочной лаборатории (обучение, квалификация и т. п.);
- f) общение с пользователями по вопросам калибровки, включая разъяснение результатов калибровки;
- e) проведение внутренних и внешних аудитов и, когда это возможно, МЛС в соответствии с рекомендацией ISO/IEC 17025.

### **Требуемые знания и навыки**

- a) лабораторная материально-техническая база и стандарты (включая программное обеспечение);
- b) СОП для управления деятельностью лаборатории по калибровке;
- c) передовая метрология и расчет неопределенности, включая, в дополнение к основам, доскональное знание *Руководства для представления погрешности измерений (ИСО/МЭК, 2008)* или аналога, а также применение норм *Руководства для представления погрешности измерений для оценки неопределенности измерений*;
- d) СОП для МЛС и оценки СМС;
- e) связанные с качеством требования (например, ISO 9001, ISO/IEC 17025, рациональная лабораторная практика);
- f) метеорологические приборы с охватом знаний о рабочих характеристиках стандартных метеорологических приборов;
- g) современные технологии и новые тенденции в сфере лабораторных приборов.

### **Компетенция 4: Управление лабораторной инфраструктурой**

#### **Описание компетенции**

Установка и обслуживание физической инфраструктуры для деятельности по калибровке (испытательные камеры, эталоны, ячейки с фиксированной точкой, генераторы давления и т. п.) и применений, необходимых для проведения деятельности по калибровке.

#### **Компоненты работы**

- a) установка и настройка физической инфраструктуры для калибровки, включая программное обеспечение;
- b) испытание оборудования, чтобы убедиться в его соответствии требованиям;
- c) поддержание лабораторной инфраструктуры в оптимальном рабочем состоянии;
- d) поддержание качества лабораторных приборов, представляющих собой образцовый эталон;
- e) проведение профилактического и корректирующего обслуживания;
- f) управление производственной средой площадки (кондиционирование воздуха, безопасное электропитание и т. п.)

**Требуемые знания и навыки**

- a) лабораторная материально-техническая база и стандарты (включая программное обеспечение) и их обслуживание;
- b) управление активами;
- c) осторожное обращение с приборами;
- d) СОП для управления лабораторной инфраструктурой;
- e) основы метрологии, включая знание VIM, СИ, стандартов измерения и прослеживаемости;
- f) основы метеорологических приборов и их обслуживания.

**Компетенция 5: Разработка и поддержание стандартных оперативных процедур****Описание компетенции**

Разработка, оценка и поддержание СОП, необходимых для выполнения деятельности по калибровке, включая расчет неопределенности калибровки.

**Компоненты работы**

- a) разработка СОП с учетом имеющихся лабораторных возможностей и требований к управлению качеством;
- b) определение совокупной неопределенности для оперативных процедур калибровки;
- c) разработка шаблонов сертификата калибровки;
- d) поддержание и обновление СОП (в том числе в поддержку обслуживания).

**Требуемые знания и навыки**

- a) знание передовых практик, связанных с СОП;
- b) передовая метрология и расчет неопределенности, включая, в дополнение к основам, *доскональные знания Руководства для представления погрешности измерений (ИСО/МЭК, 2008) или аналога, а также применение Руководства для представления погрешности измерений для оценки неопределенности измерений; проведение МЛС и определение СМС лаборатории;*
- c) лабораторная материально-техническая база и стандарты (включая программное обеспечение);
- d) требования к качеству (например, ISO 9001, ISO/IEC 17025, рациональная лабораторная практика);
- e) метеорологические приборы, в частности, установленные на национальной сети.

**Компетенция 6: Управление архивной регистрацией данных и записей****Описание компетенции**

Обеспечение архивации измерений деятельности по калибровке, калибровочных сертификатов и записей.

**Компоненты работы**

- a) архивация данных измерений деятельности по калибровке, метаданных и соответствующих записей;
- b) архивация сертификатов калибровки откалиброванных приборов;
- c) архивация сертификатов калибровки лабораторных приборов.

**Требуемые знания и навыки**

Знания в области предписанной практики управления данными и архивной регистрацией данных и записей.

**Компетенция 7: Поддержание безопасной рабочей среды и лабораторной безопасности****Описание компетенции**

Выполнение всех задач по калибровке в безопасной и здоровой производственной среде с неизменным соблюдением правил, требований и процедур по охране труда и технике безопасности.

**Компоненты работы**

- a) безопасное обращение, хранение и утилизация ртути, а также оборудования, содержащего ртуть;
- b) безопасное обращение, хранение и утилизация других токсичных или опасных веществ, а также оборудования, содержащего эти вещества (например, жидкостных аккумуляторов);
- c) соблюдение мер безопасности в непосредственной близости от источника электроопасности;
- d) безопасное выполнение всех задач по калибровке при наличии угрозы безопасности;
- e) обеспечение безопасности (ограничение доступа и т. п.) калибровочной лаборатории и испытываемых приборов.

**Требуемые знания и навыки**

- a) процедуры безопасного обращения с ртутью;
- b) процедуры в области химической безопасности;

- c) процедуры в области электробезопасности;
  - d) требования в области безопасности и охраны труда;
  - e) СОП для поддержания безопасности персонала и безопасности лаборатории.
-

## **ПРИЛОЖЕНИЕ 5.D. СИСТЕМА КОМПЕТЕНЦИЙ ДЛЯ ПЕРСОНАЛА, УПРАВЛЯЮЩЕГО ПРОГРАММАМИ И СЕТЯМИ НАБЛЮДЕНИЙ**

Управление программами наблюдений и работой сетей в структуре НМГС или связанных служб может осуществляться различными квалифицированными специалистами, включая специалистов по планированию программ и менеджеров, метеорологов, специалистов по приборам и техников инженеров и специалистов по ИТ. Персонал сторонних организаций (например, частные подрядчики, поставщики услуг связи и агенты по обслуживанию приборов) и другие поставщики могут также предоставлять услуги по консультированию и управлению программами наблюдений и/или обслуживанию программ наблюдений.

В настоящем приложении изложена система компетенций для персонала, участвующего в управлении программами и сетями наблюдений. Не обязательно, чтобы все лица обладали полным набором компетенций<sup>1</sup>. Однако в конкретных условиях применения (как указано ниже), которые могут отличаться в зависимости от организации, ожидается, что любое учреждение, управляющее программами наблюдений и сетями, будет иметь членов персонала в структуре этой организации, которые вместе демонстрируют владение всеми этими компетенциями. Компоненты работы, также как и требования в отношении знаний и навыков, которые подкрепляют эти компетенции, должны формулироваться с учетом особого контекста организации. Однако общие критерии и требования, представленные здесь, будут применимы в большинстве случаев.

При планировании и управлении программой наблюдений и работой сети следует учитывать соответствующие нормативные требования и руководящие принципы, изложенные в [Наставлении по Интегрированной глобальной системе наблюдений ВМО](#) (ВМО-№ 1160) (например, добавления 2.1 и 2.5). Следует использовать процесс регулярного обзора потребностей ВМО (<https://community.wmo.int/en/rolling-review-requirements-process-2023-version>) в сочетании с ОСКАР (<https://space.oscar.wmo.int/>), с тем чтобы возможности программы наблюдений могли быть рассмотрены и улучшены для удовлетворения соответствующих потребностей в области данных в различных областях применений ВМО.

### **Условия применения**

Применение системы компетенций будет зависеть от следующих обстоятельств, которые будут различными в каждой организации:

- a) организационная среда, первоочередные задачи и потребности заинтересованных сторон;
- b) механизм использования собственного и внешнего персонала для предоставления обслуживания в области установки и обслуживания приборов;
- c) имеющиеся ресурсы и возможности (финансовые, людские, технологические и материально-технические), а также организационные структуры, политика и процедуры;
- d) национальное и ведомственное законодательство, правила и процедуры;
- e) руководящие принципы, рекомендации и процедуры ВМО в области управления программами наблюдений и сетями.

---

<sup>1</sup> В настоящем документе под компетенцией понимается эффективность, необходимая для действенного управления программой наблюдений с участием крупных сетей метеорологических наблюдений, таких как сети, включающие радиолокаторы и ветровые профилометры.

**Программа наблюдений и управление сетью: Компетенции высокого уровня**

1. планирование программы наблюдений;
2. закупка оборудования;
3. отбор и приобретение площадок;
4. установка компонентов сети;
5. управление работой сети;
6. управление программой наблюдений.

**Компетенция 1: Планирование программы наблюдений****Описание компетенции**

Определение требований к наблюдениям и формулировка планов развития программы наблюдений, которые отвечают этим требованиям, принимая во внимание технические, финансовые и людские ресурсы, необходимые для осуществления, непрерывной работы и долгосрочного устойчивого развития.

**Компоненты работы**

- a) оценка потребностей пользователей в наблюдениях (регулярный обзор потребностей);
- b) выполнение анализа пробелов в системе наблюдений с помощью ОСКАР;
- c) определение необходимых измерительных приборов для устранения выявленных пробелов;
- d) разработка топологии и структуры сети, требуемой для устранения выявленных пробелов, с учетом включения внешних (так называемых сторонних) источников данных;
- e) определение соответствующих людских ресурсов, которые необходимы (количество и компетенции) для устойчивого функционирования предлагаемой программы наблюдений;
- f) определение необходимой вспомогательной инфраструктуры (например, площадка, здания, коммуникации);
- g) подготовка плана жизненного цикла с полной стоимостью для устойчивого функционирования предлагаемой программы наблюдений;
- h) подробное документирование предлагаемой программы наблюдений и разработка плана осуществления;
- i) проверка соответствия окончательного варианта программы наблюдений изначально указанным требованиям (обзор и обратная связь от пользователей);
- j) разработка (или обновление существующего) плана действий на случай непредвиденных обстоятельств и плана обеспечения непрерывности ведения деятельности для программы наблюдений.

**Требуемые знания и навыки**

- a) потребности пользователей в данных в различных областях применений ВМО;
- b) метеорологические приборы и системы связи, установленные на сети наблюдений, коммерчески доступные альтернативные варианты и новые разработки;
- c) управление программой, включая знания в области планирования программ, организационной структуры, разработка и планирование задач и связи с заинтересованными сторонами;
- d) финансовое планирование и управление, включая знания различных моделей финансового учета, например, учет по методу начисления и кассовый метод, оценка на основе стоимости активов по сравнению с оценкой на основе расходов, анализ затрат и выгод и расчет затрат на протяжении всего жизненного цикла;
- e) понимание вопросов управления людскими ресурсами, включая знания в области планирования и развития людских ресурсов и т. п.;
- f) планирование действий на случай непредвиденных обстоятельств и аварийных ситуаций с системой;
- g) осведомленность о правилах, руководящих принципах и деятельности ВМО (например, *Руководство по приборам и методам наблюдений* (ВМО-№ 8), *Руководство по Глобальной системе наблюдений* (ВМО-№ 488), *Наставление по Интегрированной глобальной системе наблюдений ВМО* (ВМО-№ 1160), Регулярный обзор потребностей, испытательные центры ОСКАР и КПМН);
- h) осведомленность о Планах осуществления эволюции глобальных систем наблюдений и любых национальных стратегиях систем наблюдений;
- i) ISO 9001 (Системы менеджмента качества).

**Компетенция 2: Закупка оборудования****Описание компетенции**

Закупка приборов и связанной с ними инфраструктуры (включая системы связи, первоначальные запасные части и обучение персонала), как указано для осуществления, непрерывной работы и долгосрочного устойчивого развития программы наблюдений.

**Компоненты работы**

- a) подтверждение объема закупок с группой по планированию, включая наличие средств для покрытия капитальных и операционных расходов;
- b) проведение исследований рынка для выявления подходящих моделей приборов, отвечающих требованиям в области наблюдений;
- c) разработка технического проекта и/или составление функциональных спецификаций для приборов, которые подлежат закупке;

- d) инициирование тендеров или закупочных процессов для оборудования и инфраструктуры (получение необходимых разрешений), а также подготовка и выпуск закупочных документов:
  - оценка тендерных предложений;
  - рекомендация о покупке;
  - назначение поставщика;
- e) проведение приемных испытаний на заводе;
- f) проведение приемных испытаний на площадке (по необходимости);
- g) авторизация платежей при условии удовлетворительного выполнения условий контракта.

### **Требуемые знания и навыки**

- a) программа наблюдений, включая метеорологические приборы и системы связи, установленные на сети наблюдений;
- b) варианты технологий для производства наблюдений (как описано в настоящем Руководстве);
- c) варианты ИКТ;
- d) национальные и организационные правила и руководящие принципы в области закупок;
- e) управление проектами (особенно в случае значительных проектов по закупкам);
- f) ISO 31000 (Управление рисками: принципы и руководство по внедрению);
- g) требования в области безопасности и охраны труда для приборов и систем.

### **Компетенция 3: Отбор и приобретение площадок**

#### **Описание компетенции**

Выбор, приобретение и ввод в эксплуатацию площадок для производства наблюдений с целью установки приборов и систем связи.

#### **Компоненты работы**

- a) выявление подходящих площадок для долгосрочных наблюдений, которые отвечают требованиям в области наблюдений (например, провести обследование площадки, с тем чтобы убедиться в возможности получения репрезентативных измерений требуемых переменных для выполнения требований к данным соответствующих областей применения ВМО);
- b) детальное планирование площадки и приобретение площадки (обеспечение надежного электроснабжения и связи; определение оптимальной(ых) вида(ов) связи (спутник, медный кабель, оптоволокно, микроволновая связь, пакетная радиосвязь общего пользования, частное проводное соединение); доступ к дороге, размещение участка, предоставление участка в аренду, получение официального уведомления о выделении земли и т. п.);

- c) подготовка площадки или огороженной территории (например, строительные работы: очистка и выравнивание площадки, обеспечение электропитания и связи; обеспечение ограждения на площадке и подъездной дороги);
- d) предоставление плана площадки, схемы расположения оборудования для производства наблюдений, электропитания, линий связи и т. п.;
- e) проведение совместных инспекций площадки и приемных испытаний;
- f) подтверждение состояния площадки, например, плоскостность площадки, условия заземления (<10 Ом) для молниезащиты, слабый фон электромагнитных волн низкой частоты для детектора местоположения молнии, качество электропитания, ширина полосы связи, дороги и ограждения;
- g) завершение передачи площадки (например, получение акта приемки площадки);
- h) подготовка и передача метаданных площадки в ИГСНВ через ОСКАР.

### **Требуемые знания и навыки**

- a) *Руководство по приборам и методам наблюдений* (ВМО-№ 8) (например, том I, глава 1, в частности 1.3, и приложение 1.D «Классификация выбора места для наземных станций приземных наблюдений» (ВМО/ИСО); приложение 1.F «Описание установки станции»);
- b) ИГСНВ, в частности требования ОСКАР и процесс представления данных;
- c) ИКТ;
- d) процесс аренды площадки и навыки ведения переговоров;
- e) управление проектами;
- d) требования в области безопасности и охраны труда;

### **Компетенция 4: Установка компонентов сети**

#### **Описание компетенции**

Установка, тестирование и ввод в эксплуатацию основных<sup>2</sup> компонентов сетей наблюдений (например, метеорологических радиолокаторов, вертикальных ветровых профилометров).

#### **Компоненты работы**

- a) монтаж, испытание и калибровка компонентов сети (например, приборы, средства связи, системы поддержки) перед транспортировкой на площадку;
- b) транспортировка компонентов сети на площадку или координация доставки поставщиком;
- c) установка компонентов сети и проведение приемных испытаний для пользователя;

---

<sup>2</sup> Это указывает на компоненты, которые представляют собой значительный объем инвестиций для организации и, следовательно, требуют структурированного подхода к управлению проектами, в отличие от внедрения незначительных элементов инфраструктуры наблюдений, компетенции для чего охвачены компетенциями в области приборов.

- d) обеспечение проведения обучения в соответствии с требованиями пользователя или эксплуатации (включая СОП и инструкции, наставления по системам, схемы подключения и т. п.);
- e) выполнение классификации площадки по соответствующей(им) переменной(ым); подготовка и представление метаданных о приборах в ИГСНВ через ОСКАР;
- f) переключение компонентов сети в рабочий режим.

### **Требуемые знания и навыки**

- a) знание общей метеорологии, как описано в БИП-МТ, включая метеорологические коды и настройку ИСВ;
- b) программа наблюдений, включая существующие компоненты сети или новые компоненты, которые подлежат установке на сети наблюдений;
- c) осторожное обращение с компонентами сети, в том числе во время транспортировки;
- d) электронное оборудование и ИКТ;
- e) корректное и безопасное использование механических и электрических инструментов;
- f) СОП, практика и система менеджмента качества;
- g) требования в области безопасности и охраны труда;

### **Компетенция 5: Управление работой сети**

#### **Описание компетенции**

Управление сетью наблюдений (включая наблюдения, калибровку и обслуживание приборов) для обеспечения ее непрерывной работы и своевременного обеспечения качественных данных наблюдений.

#### **Компоненты работы**

- a) осуществление обслуживания сети (профилактического, корректирующего, адаптивного), программ по инспекции площадок и калибровке приборов<sup>3</sup> для обеспечения корректной и устойчивой работы всего оборудования;
- b) разработка и применение инструментов обеспечения качества (для регулярной диагностики функций и параметров системы) для всех приборов, как *in situ*, так и при дистанционном зондировании;
- c) разработка и поддержание системы мониторинга качества данных (например, ручные и/или автоматизированные системы контроля качества данных) для обеспечения прослеживаемости данных и точности метаданных;
- d) координация с внешними источниками (партнерами, волонтерами и другими сторонними источниками, такими как краудсорсинг) в отношении предоставления их данных для обеспечения качества данных и однородности интегрированной сети;

<sup>3</sup> Включая оборудование для дистанционного зондирования. Внимание предлагается обратить, например, на то, что подробные руководящие указания по обслуживанию радиолокаторов и ветровых профилометров приводятся в *Руководстве по приборам и методам наблюдений* (ВМО-№ 8), том III, глава 7, 7.7, а также в публикации Dibbern et al. (2003), глава 4, соответственно.

- e) подготовка планов на случай непредвиденных обстоятельств для функционирования сети и получения данных, включая периодическое тестирование эффективности;
- f) мониторинг эффективности работы сети с использованием соответствующих инструментов и планов и выработка показателей для измерения производительности сети (например, доступность данных, своевременность);
- g) документирование всех эксплуатационных процедур (например, обслуживание сети, калибровка приборов, алгоритмы контроля качества данных, планы действий на случай непредвиденных обстоятельств);
- h) поддержание реестра активов.

### **Требуемые знания и навыки**

- a) метеорологические приборы и системы связи, установленные на сети наблюдений;
- b) знакомство с руководящими принципами и правилами ВМО в отношении метеорологических наблюдений (например, *Руководство по приборам и методам наблюдений* (ВМО-№ 8), *Наставление по Интегрированной глобальной системе наблюдений ВМО* (ВМО-№ 1160) и Рамочный план осуществления ИГСНВ);
- c) обстоятельные знания в области оперативного управления программами и организационной структуры и т. п.;
- d) планы действий на случай непредвиденных обстоятельств (для обеспечения бесперебойности сети наблюдений);
- e) стандарты управления активами, например, ISO 55000 (Управление активами. Общее представление, принципы и терминология) и Глобальный форум по обслуживанию и управлению активами;
- f) требования в области безопасности и охраны труда для сети наблюдений.

### **Компетенция 6: Управление программой наблюдений**

#### **Описание компетенции**

Управление программой наблюдений (техническими, финансовыми и людскими ресурсами и т. д.), с тем чтобы обеспечить безопасное и устойчивое выполнение требований программы наблюдений.

#### **Компоненты работы**

- a) разработка планов в области финансовых и людских ресурсов и обеспечение ресурсов, гарантирующих устойчивость программы наблюдений;
- b) регулярная оценка и повторная оценка эффективности работы персонала и проведение непрерывного обучения (при необходимости, с поддержанием связи с отделом по вопросам обучения) для обеспечения поддержания компетенций всех членов персонала, участвующих в программе наблюдений;
- c) координация действий с пользователями и по необходимости обновление требований к данным программы наблюдений (например, наблюдения в режиме реального времени, применения ЧПП и мониторинг климата);

- d) регулярный обзор краткосрочных и долгосрочных целей программы наблюдений, определение областей для ее непрерывного совершенствования (например, совершенствование в области стандартизации, оптимизация и развитие сети);
- e) изучение и внедрение технических решений, с тем чтобы работать в областях для совершенствования, выявленных с учетом технологических изменений приборов и методов передачи данных;
- f) повышение осведомленности и обеспечение соответствия всех сотрудников в вопросах требований безопасности и охраны труда.

### **Требуемые знания и навыки**

- a) финансовое планирование, включая знания различных моделей финансового учета (например, учет по методу начисления и кассового метода, оценка на основе стоимости активов по сравнению с оценкой на основе расходов, анализ затрат и выгод и расчет затрат на протяжении всего жизненного цикла);
  - b) обстоятельные знания в вопросах методов мониторинга и оценки программ;
  - c) понимание вопросов управления людскими ресурсами, включая знания в области управления эффективностью и развития людских ресурсов;
  - d) метеорологические приборы и ИКТ;
  - e) знакомство с правилами, руководящими принципами и деятельностью ВМО (например, *Технический регламент* (ВМО-№ 49), *Руководство по Глобальной системе наблюдений* (ВМО-№ 488), *Наставление по Интегрированной глобальной системе наблюдений ВМО* (ВМО-№ 1160) и ОСКАР);
  - f) требования в области безопасности и охраны труда.
-

## СПРАВОЧНАЯ И ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Craig, R. L., Ed. *Training and Development Handbook: A Guide to Human Resource Development*; McGraw-Hill: New York, USA, 1987.
- Dibbern, J.; Engelbart, D.; Goersdorf, U. et al. *Operational Aspects of Wind Profiler Radars* (WMO/TD-No. 1196). Instruments and Observing Methods Report No. 79; World Meteorological Organization (WMO): Geneva, 2003.
- Imai, M. *Kaizen: The Key to Japan's Competitive Success*; Random House: New York, USA, 1986.
- International Organization for Standardization (ISO). *Asset Management – Overview, Principles and Terminology*; ISO 55000:2014, 2014 <https://www.iso.org/standard/55088.html>.
- International Organization for Standardization (ISO). *Quality Management Systems – Requirements*; ISO 9001:2015, 2015a <https://www.iso.org/standard/62085.html>.
- International Organization for Standardization (ISO). *Quality Management Systems – Fundamentals and Vocabulary*; ISO 9000:2015, 2015b <https://www.iso.org/standard/45481.html>.
- International Organization for Standardization (ISO). *Quality Management – Quality of an Organization – Guidance to Achieve Sustained Success*; ISO 9004:2018, 2018a <https://www.iso.org/standard/70397.html>.
- International Organization for Standardization (ISO). *Guidelines for Auditing Management Systems*; ISO 19011:2018, 2018b <https://www.iso.org/standard/70017.html>.
- International Organization for Standardization (ISO). *Risk Management – Guidelines*; ISO 31000:2018, 2018c <https://www.iso.org/standard/65694.html>.
- International Organization for Standardization (ISO)/International Electrotechnical Commission (IEC). *Uncertainty of Measurement – Part 3: Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM:1995)* <https://www.iso.org/standard/50461.html>; ISO/IEC Guide 98-3:2008, Incl. Suppl. 1:2008/Cor 1:2009, Suppl. 1:2008, Suppl. 2:2011, Geneva, 2008. (Equivalent to: JCGM, 2008: *Evaluation of Measurement Data – Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement*. JCGM 100:2008, corrected in 2010, incl. JCGM 101:2008, JCGM 102:2011.)
- International Organization for Standardization (ISO). *General Requirements for the Competence of Testing and Calibration Laboratories*; ISO 17025:2017, 2017 <https://www.iso.org/publication/PUB100424.html>.
- Moss, G. *The Trainer's Handbook*; Ministry of Agriculture and Fisheries: Wellington, 1987.
- Walton, M. *The Deming Management Method*; Putnam Publishing: New York, USA, 1986.
- World Meteorological Organization (WMO). *Manual on Codes* (WMO-No. 306), Volumes I.1, I.2, I.3 and II. Geneva.
- Всемирная метеорологическая организация (ВМО) 2010 г. *Руководство по Глобальной системе наблюдений* (ВМО-№ 488). Женева, 2010 г. (обновлено в 2017 г).
- Всемирная метеорологическая организация (ВМО) *Руководящие указания для преподавателей в области метеорологического, гидрологического и климатического обслуживания* (ВМО-№ 1114), Женева, 2013 г.
- Всемирная метеорологическая организация (ВМО) *Руководство по применению стандартов образования и подготовки кадров в области метеорологии и гидрологии* (ВМО-№ 1083), Женева, 2015 г.
- Всемирная метеорологическая организация (ВМО) *Наставление по Интегрированной глобальной системе наблюдений ВМО* (ВМО-№ 1160), Женева, 2023 г. (обновлено в 2024 г).
- Всемирная метеорологическая организация (ВМО). *Технический регламент*, том II — Метеорологическое обслуживание международной авионавигации. (ВМО-№ 49). Женева, 2018 г. (обновлено в 2021 г)
- Всемирная метеорологическая организация (ВМО) *Руководство по внедрению систем менеджмента качества для национальных метеорологических и гидрологических служб и других соответствующих поставщиков обслуживания* (ВМО-№ 1100), Женева, 2017 г.
- Всемирная метеорологическая организация (ВМО) *Наставление по наблюдению за облаками и другими метеорами — Международный атлас облаков* (ВМО-№ 407). Женева, 2017 г.
- Всемирная метеорологическая организация (ВМО) 2017 г. *Наставление по Комплексной системе обработки и прогнозирования ВМО* (ВМО-№ 485). Женева, 2017 г.
- World Meteorological Organization (WMO). *A Compendium of Topics to Support Management Development in National Meteorological and Hydrological Services*, ETR-No. 24; Geneva, 2018.
- Всемирная метеорологическая организация (ВМО). *Руководство по компетенциям* (ВМО-№ 1205). Женева, 2018 г.

Всемирная метеорологическая организация (ВМО). *Развитие метеорологического и гидрологического обслуживания с помощью предоставляемых ВМО возможностей по образованию и подготовке кадров* ETR-№. 25. Женева, 2020 г.

World Meteorological Organization (WMO). *WMO Knowledge-sharing Portal*. <https://community.wmo.int/activity-areas/imop/knowledge-sharing-portal>.

World Meteorological Organization (WMO). *WMO Education and Training Programme Moodle Site*. <https://etrp.wmo.int/>.

---

За дополнительной информацией просьба обращаться:

## **World Meteorological Organization**

7 bis, avenue de la Paix – P.O. Box 2300 – CH 1211 Geneva 2 – Switzerland

**Strategic Communications Office**

Тел.: +41 (0) 22 730 83 14

Электронная почта: [sra@wmo.int](mailto:sra@wmo.int)

**wmo.int**