

Комитет по гидрометеорологии и мониторингу  
окружающей среды  
Министерства экологии и природных ресурсов  
Российской Федерации

ТРУДЫ

ГЛАВНОЙ ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ

ИМ. А. И. ВОЕЙКОВА

Выпуск 539

МЕТОДИКА МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ  
И ВОПРОСЫ ИХ ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Под редакцией  
канд. геогр. наук Т. П. Светловой



Санкт-Петербург Гидрометеоиздат 1992

178

УДК 551.501

Сборник посвящен вопросам технической реконструкции метеорологической сети, дальнейшего усовершенствования методики метеорологических, актинометрических и теплобалансовых наблюдений, обработки их данных и контроля, определения себестоимости программ гидрометеорологических наблюдений и цены на информацию.

Сборник содержит результаты исследований по привлечению данных численного моделирования приземного слоя атмосферы для расчета потоков количества движения и тепла, скорости ветра с целью учета многообразных физических процессов на границе раздела почва - воздух при построении алгоритмов контроля и восстановления информации.

Сборник рассчитан на специалистов научно-исследовательских учреждений и УГМ, занимающихся вопросами совершенствования системы получения и анализа гидрометеорологической информации, а также обеспечением народнохозяйственных организаций информацией о состоянии природной среды.

The publication deals with the problems of technical reconstruction of meteorological network, further improvement of techniques for meteorological, actinometric and heat balance observations, data processing and checking, determination of the cost of hydrometeorological observation programmes and the price of information.

The publication contains the results of studies on applying the data of numerical modelling of surface air layer to calculation of the fluxes of momentum and heat, wind velocity with the aim to take into consideration various physical processes at the soilair interface for construction of algorithms for checking and reconstructing information.

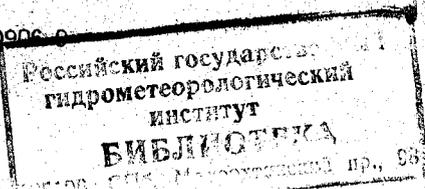
The publication is intended for specialists of research institutions and hydrometeorological offices covering the problems of improving the systems for obtaining and analyzing hydrometeorological information, as well as providing national economy organizations with information on the environment state.

35674A

M  $\frac{1805040400-31}{069(02)=92}$  32 = 9I(2)

© Главная геофизическая обсерватория, 1992

ISBN 5-286-00906-0



С.М.Персия, Л.В.Анискин, А.А.Васильев,  
Е.В.Гусарова

## МИКРОПРОЦЕССОРНЫЙ ПРИБОР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ВЫСОТЫ НИЖНЕЙ ГРАНИЦЫ ОБЛАКОВ

Высота нижней границы облаков (ВНГО) является одним из важнейших параметров для метеобеспечения авиации. Полученные с помощью инструментальных измерений значения, ВНГО позволяют судить о высоте обнаружения пилотом наземных ориентиров и возможности осуществления полетов при данных метеорологических минимумах.

Автоматизация измерений ВНГО является сложной задачей, в настоящее время не имеющей в полной мере удовлетворительного решения. Одна из основных причин этого заключается в сложной структуре нижней границы облачности [1], а также большой временной и пространственной изменчивости ВНГО.

В настоящее время в СССР для измерения ВНГО используются светолокационные приборы ИВО-1М и РВО-2. Для подключения к автоматическим станциям используется приставка ДВ-1М. Эти приборы не удовлетворяют современным требованиям к измерению ВНГО (не обеспечивается необходимый диапазон и непрерывность измерений, надежность работы в автоматическом режиме, устарела элементная база и т.д.). Все эти причины обусловили необходимость разработки нового прибора.

При разработке прибора, помимо технических задач, потребовалось решение ряда вопросов, связанных с методикой измерения ВНГО. В основу этой методики положена обработка данных однократных зондирования [2]. Обычные методы уменьшения влияния изменчивости, основанные на усреднении результатов, для ВНГО часто оказываются некорректными [3]. В условиях многослойной и разорванной облачности, и даже при наличии одиночных выбросов метеорологического и аппаратурного происхождения, усреднение данных измерений ВНГО может приводить к искаженным результатам. Здесь требуется более сложная логическая обработка, включающая контроль и классификацию данных. Подобные алгоритмы рассматриваются в работе [3].

С учетом приведенных соображений в приборе используется получение цифрового значения высоты облаков для каждого одиночного (одноимпульсного) зондирования и цифровая обработка этих результатов, включающая контроль и отбраковку выбросов и усреднение. При этом

достигается непрерывность измерения с малым интервалом обновления данных и повышение достоверности. Использование одиночных зондирований с малой частотой (1 Гц) облегчает режим работы импульсной лампы и на полтора порядка увеличивает ее ресурс в условиях непрерывной работы.

Для решения проблем, связанных с интерпретацией полученного сигнала в сложных метеорологических условиях, необходимы другие, более сложные технические решения, подробно рассмотренные в работе [4].

Назначение и общая структура устройства. Прибор предназначен для непрерывных измерений и регистрации ВНО и выдачи обработанного результата измерений потребителю. Общая структурная схема прибора для измерения ВНО (рис. I) включает передатчик, приемник, измерительный блок и дистанционный пульт управления (ДПУ). В качестве

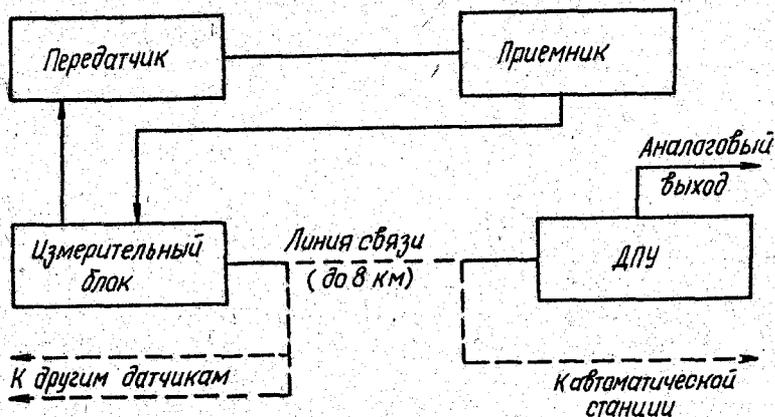


Рис. I. Блок-схема датчика высоты облаков

передатчика и приемника использованы серийно выпускаемые изделия из комплекта РВО-2М. Они подключаются к измерительному блоку. Последний осуществляет управление работой передатчика и приемника, преобразование времени задержки между зондирующим и отраженным импульсами в цифровой код, обработку и выдачу результатов измерений. По цифровому каналу связи результирующие данные могут быть переданы на расстояние до 8 км. Цифровой канал связи подключается к дистанционному пульта управления, либо к автоматической станции. Включение и выключение измерительного блока может осуществляться дистанционно, по цифровому каналу связи. По цифровому каналу связи осу-

еще является также включение и выключение обогрева стекол приемника и передатчика, включение и выключение зондирования. Измерительный блок имеет цифровую индикацию ВНГО в метрах, количества облаков в баллах.

Структурная схема измерительного блока приведена на рис. 2. Эхо-сигнал, отраженный от облаков, поступает из приемника на входной

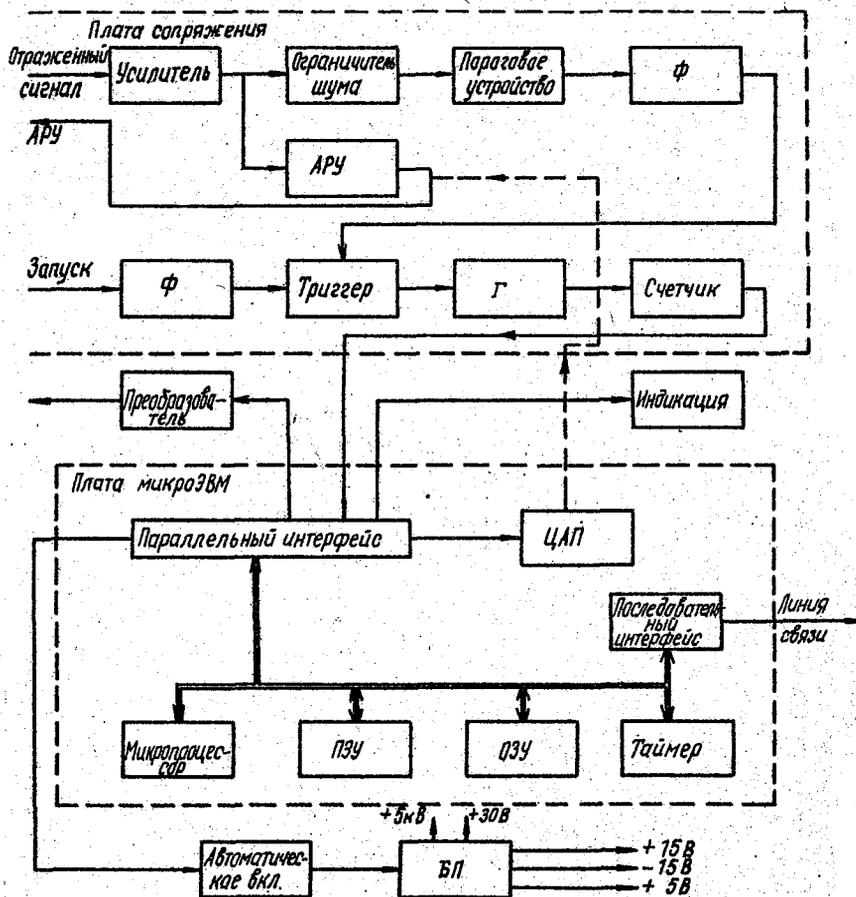


Рис. 2. Структурная схема измерительного блока (первый вариант)

усилитель измерительного блока, после которого сигнал поступает на вход схемы АРУ и на вход схемы ограничения шума.

Схема ограничения шума отфильтровывает помеху от солнечной засветки приемника. Затем сигнал поступает на пороговое устройство и формирователь, которые формируют импульс по половине переднего фронта отраженного эхосигнала. Импульс запуска от излучателя, вырабатываемый в момент послышки зондирующего импульса, приходит на формирователь и затем перебрасывает триггер. Импульс эхосигнала возвращает его в исходное состояние. Таким образом, на выходе триггера формируется импульс, длительность которого равна времени задержки между послышкой зондирующего импульса и эхосигналом, т.е. пропорциональна ВНГО. Длительность этого импульса при помощи счетчика и высокочастотного генератора (30 МГц) преобразуется в цифровой код, который поступает в плату микроЭВМ. Плата микроЭВМ состоит из следующих основных узлов: микропроцессора, ПЗУ, ОЗУ, таймера, последовательного и параллельного интерфейса и цифроаналогового преобразователя. Таймер определяет все временные задержки, необходимые для работы прибора, а также вырабатывает импульсы для управления работой передатчика (с частотой 1 Гц). Микросхема последовательного интерфейса организует работу цифрового канала связи. Параллельный интерфейс служит для обмена данными между платой микроЭВМ и другими блоками прибора (вывод результата измерений на индикацию, вывод управляющих импульсов, ввод данных зондирования со счетчика). ЦАП предусмотрен в составе микроЭВМ для реализации цифровой схемы АРУ. Он преобразует цифровой код в аналоговое напряжение, необходимое для регулировки коэффициента усиления входного фотоусилителя. Зная зависимость коэффициента усиления от напряжения, можно рассчитать коэффициент усиления для данного сигнала.

Кроме этого, в приборе имеется устройство управления блоком питания, высоковольтный источник напряжения и схема управления зажиганием импульсной лампы. Устройство управления блоком питания позволяет дистанционно, по цифровому каналу связи включать и выключать датчик ВНГО. Высоковольтный источник напряжения и схема управления зажиганием обеспечивают работу импульсной лампы излучателя с заданной частотой.

Реализован второй вариант прибора, в котором осуществляется измерение уровня шума усилительного тракта приемника, измерение амплитуды сигнала и длительности переднего фронта импульса. Блок-схема этого варианта представлена на рис.3.

Эхосигнал поступает из приемника на усилитель и далее на схему ограничения шума и на амплитудный детектор. Амплитудный детектор измеряет амплитуду входящего сигнала. Величина напряжения, про-

порциональной амплитуде сигнала, через АЦП подается для обработки в микроЭВМ. Напряжение шума (в качестве характеристики шума может быть выбрано среднеквадратическое, среднее абсолютное или максимальное значение) также через АЦП подается в микроЭВМ. Измерение длительности переднего фронта сигнала может быть сделано при помощи двух пороговых устройств, одно из которых настроено на 0,5 амплитуды

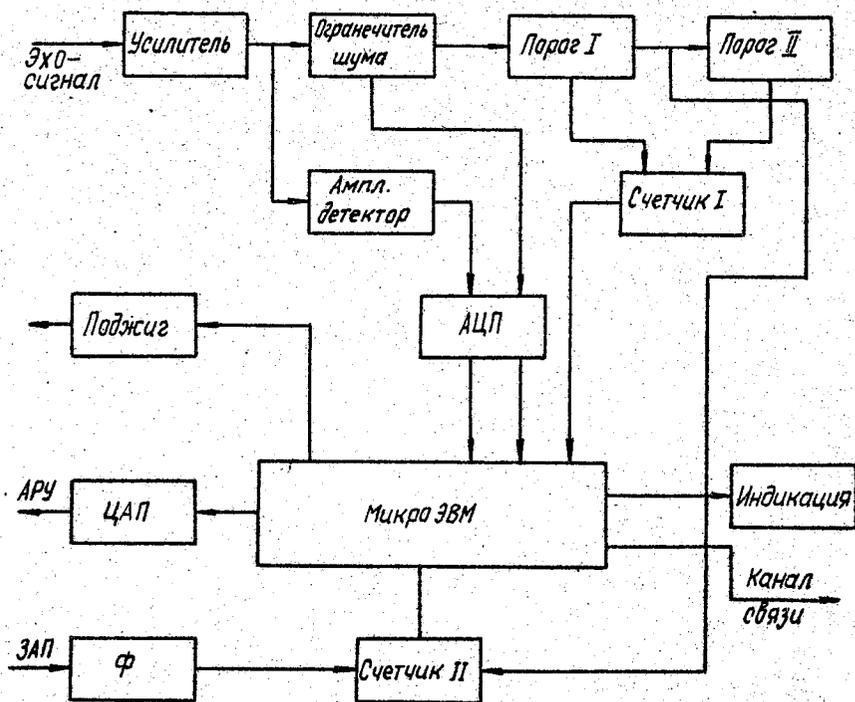


Рис. 3. Структурная схема измерительного блока (второй вариант)

сигнала, а второе, например, на 0,9. Время задержки между срабатыванием первого порогового устройства и срабатыванием второго подсчитывается счетчиком I и подается для обработки в микроЭВМ. В остальном блок-схема устройства осталась прежней.

Таким образом, при помощи описанной блок-схемы можно получить дополнительные характеристики приходящего отраженного сигнала.

Дистанционный пульт управления (ДПУ) предназначен для дистанционного управления работой ДВО в отображения информации о ВНО. Он подключается к цифровому каналу связи и обеспечивает дистанционную работу с датчиками до 10 км. ДПУ обеспечивает прием сообщений от

датчиков по цифровому каналу связи, их расшифровку и индикацию высоты облаков и количества облачности, индикацию режима работы датчика, выдачу на индикацию текущего времени по запросу пользователя, передачу в цифровой канал управляющих сигналов. ДПУ имеет аналоговый выход для подключения регистрирующих ВНГО приборов (самописцев). ДПУ реализован на такой же плате микроЭВМ, что и измерительный блок. С ДПУ можно вызывать информацию о ВНГО с любого из подключенных датчиков, управлять режимами работы датчиков, включать и выключать датчики, обогрев стекол.

Алгоритм обработки данных. Блок-схема обработки данных измерений ВНГО представлена на рис.4. Вначале определяется, какой из режимов работы задан пользователем. Прибор может работать в трех режимах:

1) выдача скользящего усредненного значения ВНГО за 30 с, периодичность обновления информации - раз в 15 с;

2) выдача скользящего минимума за 2 мин, периодичность обновления информации - раз в 15 с;

3) выдача текущего зондирования без обработки каждые 2 с. Если задан режим 3, начинается выдача в цифровой канал связи и на индикатор. В случае режимов 1 или 2 формируется скользящая выборка из данных 30 измерений, которая сдвигается после поступления каждого нового измерения. После этого выборка упорядочивается. Измерения располагаются в порядке убывания значений ВНГО. Подсчитывается число значений, выходящих за диапазон измерения прибора (число выбросов). Это число суммируется в течение 2 мин для получения значения количества облаков. Оставшиеся измерения группируются. В качестве среднего значения используется 50 %-ная порядковая статистика упорядоченной группы измерений. Получение таким путем среднего значения ВНГО исключает искажающее влияние арифметического усреднения результатов зондирований. Из этой же группы выделяется скользящий минимум ВНГО за 30 с. Если выбран режим 1, то среднее значение ВНГО выдается как результат. Из семи полученных минимальных значений формируется выборка для получения скользящего минимума за 2 мин. Выборка сдвигается каждый раз при получении нового минимального значения. Результат выдается в качестве значения ВНГО при выборе режима 2.

Во втором варианте прибора (см.рис.3) в обработку данных включаются дополнительные характеристики сигнала (длительность переднего фронта импульса, отношение сигнал/шум, напряжение АРУ).

Технические характеристики прибора. Прибор для измерения ВНГО используется как автономный прибор, а также в качестве датчика автоматических станций. Устройство работает в непрерывном режиме и обладает следующими характеристиками:

Диапазон измерения ВНГО	15...2000 м
Дискретность	5 м
Частота зондирования	1 Гц
Погрешность измерения в диапазоне:	
15...150 м	±10 м
150...2000 м	7 %
Источник излучения	импульсная лампа ИСП 100-3М
Измерительная база	8-10 м
Дистанционность между измерительным блоком и передатчиком, приемником	50 м
Периодичность обновления данных	15 с
Выходные сигналы измерительного блока и ДПУ	цифровой код, напряжение
Представление данных в измерительном блоке и ДПУ	шестизрядные цифровые индикаторы
Дистанционность цифрового канала связи (двухпроводная линия)	8 км
Число режимов работы	три
Питание	сеть 220 В, 50 Гц
Потребляемая мощность при отключенном обогреве	90 Вт

В настоящее время создан макет процессорного датчика высоты облаков по блок-схеме, изображенной на рис.4. Макет прошел натурные испытания на полевой базе ГГО в п.Воейково под руководством П.Я.Никишкова. Результаты измерений сравнивались с данными о ВНГО, которые получали опытные наблюдатели при помощи серийно выпускаемых приборов ИВО-1М, а также с данными метеостанции. Измерения ВНГО проводились через 30 мин. Сравнение проводилось между отсчетом, снятым с цифрового индикатора макета, и средним из трех значений, снятых по ЭЛТ ИВО-1М.

Сравнения показали хорошее совпадение результатов измерений. Корреляционный график сопоставляемых измерений приведен на рис.5.

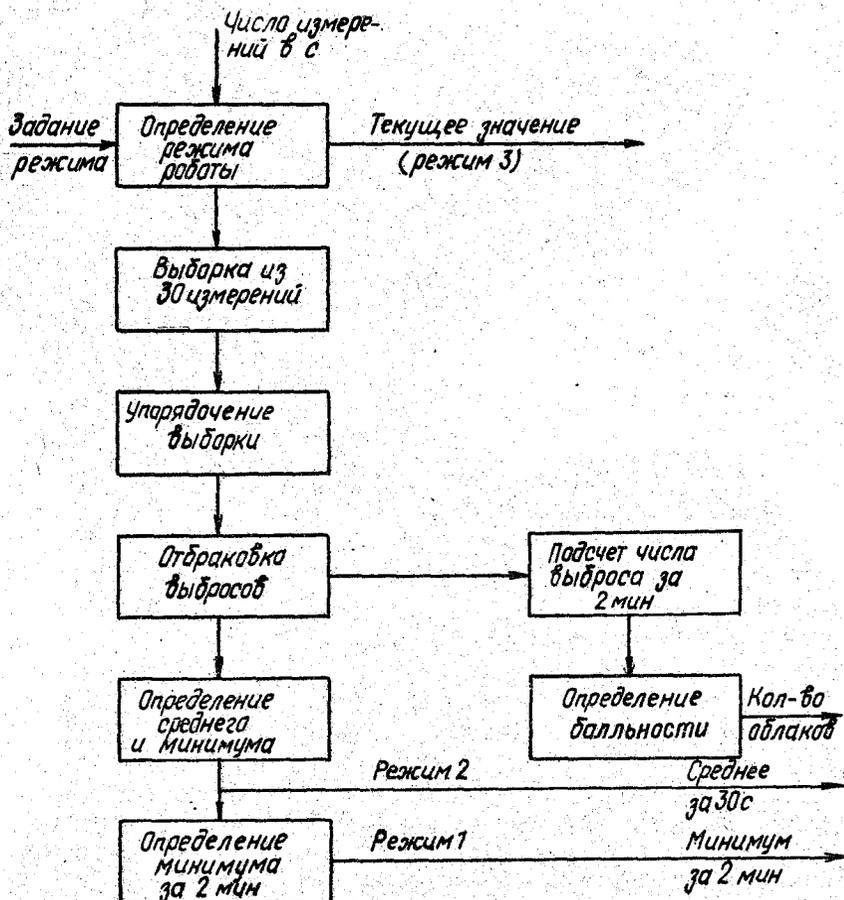


Рис. 4. Блок-схема алгоритма обработки результатов измерений

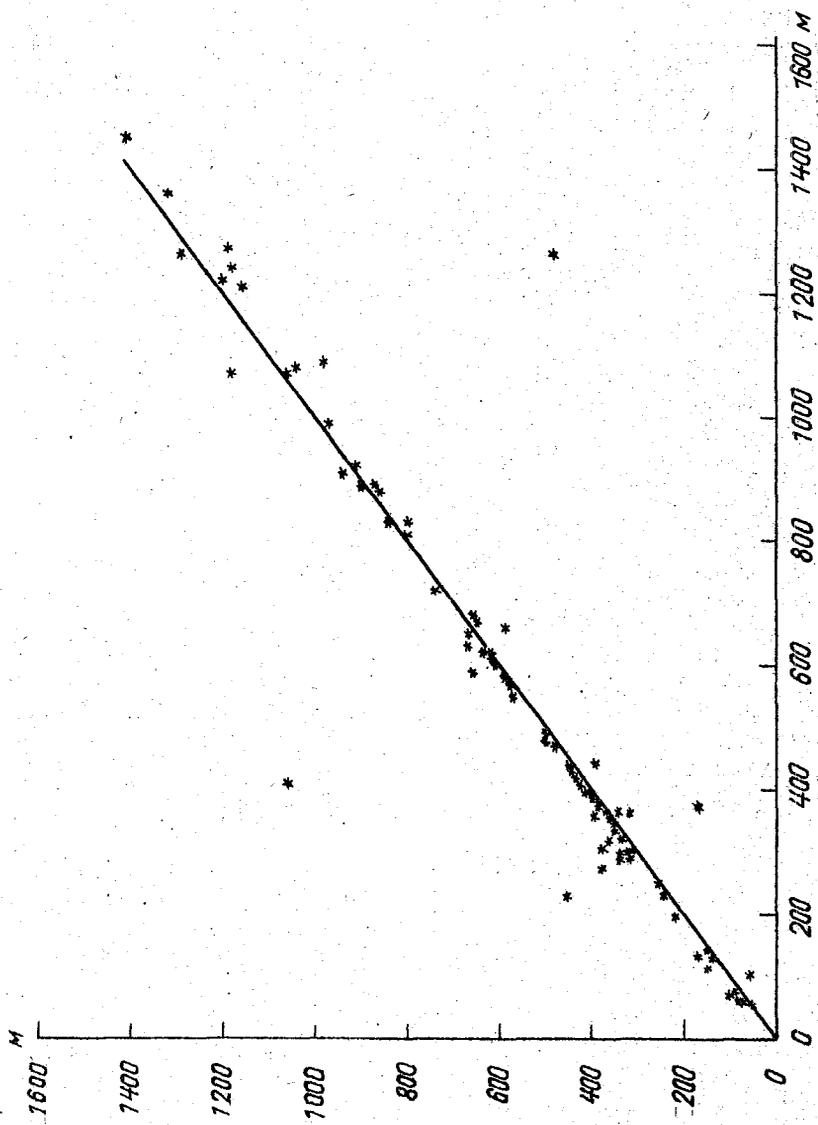


Рис. 5. Корреляционный график сравнительных измерений по прибору ИВ0-1М (абсцисса) и макету макропроцессорного прибора ДВ0 (ордината).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А б р а м о в и ч К.Г. Условия образования и прогноз низких облаков. - Труды ГМЦ, 1973, вып.78-124 с.
2. А н и с к и й Л.В., Б о р о в и к о в А.А., П е р с и н С.М. Исследование изменчивости высоты нижней границы облаков.- Труды ГГО, 1987, вып.512, с.92-107.
3. П е р с и н С.М. Измерение высоты нижней границы облаков и характеристик облачности как задача распознавания образов.- Труды ГГО, 1987, вып.512, с.79-91.
4. П е р с и н С.М., В а с и л ь е в А.А., Б о р о в и к о в А.А. Методы повышения достоверности измерений высоты нижней границы облаков.- См. настоящий сборник.

## МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ДОСТОВЕРНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ ВНГО

Высота нижней границы облаков имеет сложную структуру, что связано со спецификой ее формирования. Теоретически ВНГО должна совпадать с уровнем конденсации водяного пара. В действительности нижняя граница не совпадает с уровнем конденсации, а находится несколько выше его, так как для образования отчетливо видимой нижней границы необходимо, чтобы сконденсировалось несколько большее количество водяного пара, для чего требуется охлаждение воздуха немного ниже точки росы. ВНГО не является ровной и резко очерченной поверхностью, а представляет собой слой переменной оптической плотности. За ВНГО при определении ее с самолета принимается уровень, на котором исчезает видимость естественного горизонта и резко ухудшается видимость наземных ориентиров. Его можно разделить на две части: слой подоблачной дымки и нижнюю границу облака. Ухудшение видимости в этом слое происходит постепенно. Подоблачный слой может иметь толщину до 200 м. В отраслевом стандарте "Термины и определения. Метеорологические измерения" ВНГО определяется исходя из микрофизической структуры облаков. Согласно предлагаемому определению, ВНГО – это расстояние по вертикали от поверхности суши или воды в пункте измерения до нижней границы слоя атмосферы, содержащего капли воды или частицы льда размером не менее  $10^{-5}$  м и концентрацией не менее  $10^8$  м<sup>-3</sup>. Однако такие определения ВНГО, исходящие из микрофизической структуры облаков, практически невозможно использовать в оперативной работе, так как в настоящее время не существует достаточно простых методов и приборов для измерения характеристик облака, используемых в указанном определении ВНГО. В большинстве применяемых на практике методов значение высоты облаков определяется по потере видимости. Однако при этом ВНГО оказывается зависящей от целого ряда факторов: наклонной прозрачности атмосферы, контраста между наблюдаемыми объектами и фоном, времени суток, порога контрастной чувствительности глаза. ВНГО обладает сложной структурой и обычно значительно изменяется во времени и пространстве. Колебания ВНГО достигают 100 м и более (50 м от средней высоты). Кроме этого, на нижней границе облаков наблюдаются неупорядоченные волны большой и малой длины. Поэтому иногда за короткое время ВНГО может меняться на величину до 300 м.

Исследованиям временной изменчивости ВНГО посвящено много работ, например [1-6]. Однако на результаты очень большое влияние оказывают методы обработки и получения исходной информации. Данные, полученные наблюдателем, не соответствуют данным, получаемым при помощи автоматических систем измерения ВНГО. Это происходит из-за того, что всегда имеет место усреднение одиночных измерений прибором, при помощи которого производятся измерения.

Исследования показывают, что имеет место большой разброс изменчивости ВНГО при близких значениях средней высоты облаков, обусловленной влиянием синоптической ситуации и формой облаков. Например, величина среднеквадратического значения ВНГО  $\sigma_n$  при интервале центрирования  $T_c = 30$  мин для разных реализаций находится в диапазоне 8-48 м (величина  $\sigma_n$  для реализации в целом нехарактерна, так как зависит от длины реализации). Величина  $\sigma_n$  для всех реализаций убывает с уменьшением  $T_c$  и с ростом интервала усреднения  $T_u$ , однако влияние интервалов центрирования и усреднения для разных реализаций весьма различно. Различный характер зависимостей  $\sigma_n$  от интервалов центрирования и усреднения для разных реализаций определяется в первую очередь соотношением составляющих изменчивости процесса: высокочастотных флуктуаций и мезочастотной изменчивости или их тренда. Помимо тренда и непериодических изменений в некоторых реализациях в мезомасштабной области наблюдается гармоническая составляющая с периодом 5-15 мин. Большой вклад в высокочастотные флуктуации ВНГО вносят погрешности измерений.

Таким образом, для повышения достоверности данных о ВНГО необходимо усреднение. Однако простое арифметическое усреднение данных может приводить к ложным результатам из-за влияния выбросов, разрывов в облачности, двухслойной облачности и т.д. Необходимо не просто усреднение, а логическая обработка, включающая контроль и классификацию данных, представляющих собой одиночные зондирования.

В силу большой пространственно-временной изменчивости ВНГО, результаты одиночных измерений, осуществляемых в одной точке, оказываются недостаточно репрезентативны. Очевидно, для получения репрезентативных данных о ВНГО необходима обработка ряда данных измерений (в общем случае данных измерений ряда приборов). Только так можно осуществить частичную автоматизацию наблюдений за облачностью, т.е. автоматическое получение таких характеристик облачности, как высота и количество облаков для слоев облачности и общее количество облаков. Автоматизация наблюдений за облачностью представляет значительный шаг на пути к полной автоматизации метеорологических наблюдений.

При анализе алгоритмов обработки измерительных данных с целью получения высоты облаков и характеристик облачности следует рассмот-

реть два подхода. Первый из них - анализ формы эхосигнала светодлокатора с целью извлечения информации о ВНГО в виде цифрового значения. Второй подход основан на обработке цифровых значений, получаемых за ряд зондирований на определенном временном интервале. В общем случае при использовании цифровых методов выделения сигнала, основанных на дискретизации эхосигнала и его запоминании, задача сводится к обработке двумерного массива данных, получаемых дискретизацией эхосигнала по времени (т.е. по высоте зондирования) и набором таких реализаций за определенный временной интервал.

Проанализируем методы выделения сигнала, используемые в светодлокационных измерителях ВНГО. Во всех работах, выполненных в настоящее время в нашей стране приборах используются аналоговые методы выделения сигнала, включающие схемы автоматической регулировки усиления (АРУ), пороговые устройства, рассчитанные на выделение импульса по половине переднего фронта, схемы защиты от шума и помех. Такие приборы не используют информацию, содержащуюся в отраженном сигнале, что приводит к ошибкам при измерениях в условиях сильных осадков, дымки и тумана, многослойной разорванной облачности. Помимо этого, для нормальной работы приборы требуют точной оптической юстировки.

В первых зарубежных лазерных высотомерах была сделана попытка получения цифровых данных, характеризующих обратное рассеяние атмосферы для всего диапазона зондирования. Для этой цели при каждом зондировании выделялся строб с определенной временной задержкой относительно начала зондирующего импульса и определялось значение эхосигнала, соответствующее положению этого строга. Недостатком такого способа является необходимость большого времени на анализ эхосигнала по всему диапазону, которое может оказаться больше, чем временная изменчивость ВНГО.

Намного лучше стали работать лазерные высотомеры нового поколения, в которых, благодаря применению быстродействующих АЦП и запоминающих устройств, осуществляется получение всего профиля эхосигнала за одно зондирование. Например, в приборе фирмы Вайсяля (Финляндия) получают 254 отсчета за каждое зондирование (в диапазоне 30-3700 м и с шагом 15 м, чему соответствует квантование через 100 нс). В приборе фирмы "Impulsphysik" (ФРГ) реализовано квантование с шагом 7,5 м (50 нс) в диапазоне 7,5-900 м.

Такая обработка позволяет использовать всю информацию, хранящуюся в отраженном сигнале. В сочетании с обработкой результатов ряда зондирований можно разработать эффективные алгоритмы подавления шума и различные методы выделения и интерпретации данных с целью получения интересных характеристик облачности.

Второй подход, как указывалось выше, заключается в обработке цифровых данных, полученных при анализе эхосигнала (второй уровень обработки). Для уменьшения погрешности, связанной с изменчивостью, и повышения достоверности данных в ряде работ предлагается усреднение данных. Усреднение используется в действующих на сегодняшний день приборах. Однако при наличии разрывов в облачности, двухслойной или многослойной облачности, а также ложных сигналов метеорологического и аппаратурного происхождения усреднение приводит к ложным результатам. Например, при двухслойной облачности может выдаваться какой-то промежуточный результат, затушевывающий наличие опасной для авиации низкой облачности. Даже одиночные грубые выбросы, вызванные, например, разрывом в облаках, могут резко повлиять на результат усреднения.

Указанное обстоятельство является одной из причин большого разброса результатов, получаемых от ИВО-1М и РВО-2М в автоматическом режиме, по сравнению с данными, выдаваемыми наблюдателем, который осуществляет визуальное осреднение на экране ЭЛТ с соответствующей обработкой сигнала (отбраковка выбросов, выделение сигнала из шума, сортировка сигналов по природе происхождения и по слоям).

В работе [8] предлагается использование дополнительной информации (в виде среднего квадратического значения ВНГО  $\sigma$ ) о возможных отклонениях от среднего значения  $\bar{H}$  и определение ВНГО в виде  $\bar{H} - k\sigma$ , где  $k$  — некоторый коэффициент. Нередко предлагается выдавать минимальное значение ВНГО за некоторый временной интервал. Однако репрезентативность такой характеристики недостаточна (минимальный выброс может быть вызван дымкой, осадками, соответствовать образованиям малого масштаба, не представляющим опасности для авиации, и др.).

В работе [9] предложено в качестве значения ВНГО выдавать не минимальное, а некоторое промежуточное значение из упорядоченной выборки объема  $n$  ( $i$ -ю порядковую статистику, соответствующую значениям  $i$ , равным  $(0, 3-0, 5)n$ ).

Плотность распределения  $i$ -й порядковой статистики для выборки объема  $n$  имеет вид

$$\psi_{i,n}(H) = \frac{n!}{(i-1)!(n-i)!} [F(H)]^{i-1} [1-F(H)]^{n-i} f(H), \quad (1)$$

а начальные моменты  $k$ -го порядка

$$\mu_{i,n}^k = \int_{-\infty}^{\infty} H^k \psi_{i,n}(H) dH, \quad (2)$$

где  $F(H)$ ,  $f(H)$  — соответственно интегральный и дифференциальный законы распределения ВНГО. Например, в случае нормального распределения

при  $n=7$  для значений  $i=1$  (выдача минимального значения),  $i=2$ ,  $i=3$ ,  $i=4$  (выдача среднего измерения в выборке) систематическое смещение от среднего значения ВНГО (начальный момент первого порядка) составляет  $-1,35\sigma$ ,  $-0,75\sigma$ ,  $-0,35\sigma$  и  $0$  соответственно, где  $\sigma$  - среднее квадратическое значение ВНГО. Дисперсия  $i$ -й порядковой статистики при  $i=1$  и  $i=4$  соответственно составляет  $0,35\sigma^2$  и  $0,21\sigma^2$ . Для сравнения укажем, что дисперсия среднего по  $n$  измерениям здесь составит  $0,14\sigma^2$ .

Очевидно, выдача  $i$ -й порядковой статистики при  $i$ , примерно равном  $(0,3-0,5)n$ , для однослойной облачности дает хорошие результаты и позволяет исключить влияние грубых выбросов и уменьшить случайную погрешность. При двухслойной и разорванной облачности такой подход дает неустойчивые результаты. Кроме того, имеет место систематическая погрешность, зависящая от коэффициента сплоченности облаков.

В работе [2] предлагается исключать выбросы, выходящие за величину  $k\sigma$  (или  $k\sigma'$ , что лучше) от скользящего среднего за некоторый интервал ( $\sigma$  и  $\sigma'$  - соответственно скользящее среднее квадратическое и среднее абсолютное значение на этом интервале). Такие методы позволяют уменьшить влияние выбросов, но обладают заметными недостатками в условиях двухслойной облачности.

Повышение достоверности данных о ВНГО тесно связано с определением требований к информации о высоте облаков. Требования к текущей информации о ВНГО определяются в разделе 2-4 из условия экстраполяции данных на определенную пространственную область (часть глиссады примерно от порога ВПП до зоны, близкой к высоте принятия решения), и временной интервал 1-2 мин. Масштаб облачного образования с малой горизонтальной или наклонной видимостью, представляющего собой опасность при посадке самолета, определяется исходя из времени ориентации пилота по наземным ориентирам или потери ориентировки порядка 3 с) и посадочной скорости. Этому масштабу (от 200 м и более - в зависимости от оптической плотности облачного образования) при скорости переноса порядка 10 м/с соответствует время усреднения порядка 30 с.

Учитывая временной интервал, на который осуществляется экстраполяция текущих данных, а также пространственную область, на которую распространяются измерения в данной точке (около 1 км, что эквивалентно временному интервалу 1,5 мин), получим, что в качестве текущего значения ВНГО целесообразно выдавать минимальное усредненное примерно за 30 с значение на скользящем интервале порядка 1-2 мин.

Понятие длительности выбросов для ВНГО нетривиально, поскольку непродолжительные разрывы в облачности могут мало влиять на условия обнаружения наземных объектов. Для ориентации пилота (после потери

ориентировки) необходимы (с учетом времени ориентации, скорости полета и угла наклонного визирования, не превышающего  $15^\circ$ ) просветы примерно такого же масштаба, что и полученные выше для облачных образований. В связи с этим в общем случае нетривиальна и задача усреднения при получении усредненного минимума.

Таким образом, для задачи определения текущих значений ВНГО необходимо использовать обработку измерений на скользком интервале 1-2 мин. Интервал дискретизации при измерениях может быть выбран порядка 3-5 с (т.е. обрабатывается 20-40 измерений), а дискретность выдачи данных - порядка 15 с. В качестве измерений целесообразно использовать результаты однократных зондирований, что исключает искажение самих исходных измерений из-за усреднения.

Основной трудностью при светолокационном зондировании атмосферы является интерпретация полученного эхосигнала и извлечение из него необходимой измерительной информации. Для короткого зондирующего импульса, который можно рассматривать как  $\delta$ -функцию, форма отраженного сигнала на входе приемника может быть выражена следующим уравнением светолокации:

$$P(z) = AP_0 x(z) \sigma(z) \frac{q(z)}{z^2} \exp \left[ -2 \int_0^z \alpha(x) dx \right], \quad (3)$$

где  $P(z)$  - средняя мощность эхосигнала в момент времени, соответствующий расстоянию до рассеивающего объема  $z$ ;  $P_0$  - энергия излучаемого импульса ( $P_0 = P'_0 \tau_n$ ;  $P'_0$  - импульсная мощность источника,  $\tau_n$  - длительность излучаемого импульса);  $A$  - постоянная, определяемая параметрами оптической системы;  $x(z)$  - индикатриса обратного рассеяния;  $\sigma(z)$  - показатель рассеяния;  $\alpha(z)$  - показатель ослабления;  $q(z)$  - функция геометрии системы, определяемая рядом факторов (диаграммой направленности излучателя и приемника, неоднородностью поперечной структуры светового луча). Геометрия оптической системы особенно сильное влияние оказывает на сигнал в ближней зоне светолокатора.

Наибольший интерес для обработки сигналов светолокаторов представляет интегральный метод. Как видно из выражения (3), при принятых выше допущениях скорректированный по  $z$  отраженный сигнал  $P(z) \frac{z^2}{q(z)}$  представляет собой производную выражения  $\exp(-2\bar{\alpha}z)$ , где  $\bar{\alpha}$  - среднее значение показателя ослабления в зондируемом слое. В соответствии с этим, находя интеграл от скорректированного сигнала в пределах зондируемого слоя, можно определить значение  $\bar{\alpha}$  для этого слоя. Из выражения (3) получим

$$\bar{\alpha} = \frac{1}{z_n - z_0} \int_{z_0}^{z_n} \alpha(x) dx = \frac{1}{2(z_n - z_0)} \ln \left[ 1 - \frac{2J}{AP_0 x e^{-\alpha_0 z_0}} \right], \quad (4)$$

где  $J = \int_{z_0}^{z_n} P(z) \frac{z^2}{q(z)} dz$ ;  $e^{-\alpha_0 z_0}$  - прозрачность слоя от излучателя световых импульсов до начала зондируемого слоя. Определяя максимальный уровень накопленного сигнала  $J_{max} = \int_{z_0}^{\infty} P(z) \frac{z^2}{q(z)} dz$  (асимптотическое значение), формулу (4) можно переписать в виде

$$\bar{\alpha} = \frac{1}{2(z_n - z_0)} \ln \left[ 1 - \frac{J}{J_{max}} \right]. \quad (5)$$

Следует отметить значительную помехоустойчивость рассматриваемого метода благодаря интегрированию отраженного сигнала. С точки зрения технической реализации недостатком является необходимость коррекции сигнала на величину  $z^2/q(z)$  и использование коротких зондирующих импульсов. Следует также отметить возрастание погрешности при оптической толщине зондируемого слоя более 1, в то время как необходимо зондировать оптические толщины порядка 3-4.

Важное достоинство интегрального метода для задач авиационной метеорологии заключается в непосредственном получении интегрального профиля коэффициента ослабления, что может быть использовано для расчета не только высоты облаков, но и высоты визуального контакта, наклонной или вертикальной видимости и других обобщенных характеристик, непосредственно связанных с задачей обеспечения взлета и посадки самолетов.

Определение ВНГО по задержке отраженного импульса в ряде случаев бывает затруднительно. Обычно в ближней зоне светолокатора отраженный сигнал имеет максимум (местный сигнал), обусловленный, с одной стороны, постепенностью пересечения полей зрения приемника и передатчика (монотонно возрастающая функция  $q(z)$ ), а с другой стороны - ослаблением сигнала, вызванным влиянием члена  $z^{-2}$  и ослабления атмосферой  $\int_0^z e^{-2\alpha(z)} dz$ . В зоне нижней границы облака отраженный сигнал имеет максимум, обусловленный резким скачком коэффициента ослабления  $\alpha(z)$ . При разнесенных приемнике и передатчике (измерительная база 8-10 м) резко уменьшается вклад в отраженный сигнал рассеянной в ближней зоне энергии. В такой простой ситуации легко определить высоту облаков по положению максимума сигнала. Так работают в настоящее время все используемые светолокаторы для определения ВНГО. Однако часто бывает ситуации, когда не наблюдается резкого скачка при переходе от подоблачной атмосферы к облаку. Наличие подоблачного слоя приводит к появлению затянутого переднего фронта эхосигнала (длительность которого увеличивается по мере ухудшения видимости), уменьшению амплитуды сигнала и размыванию максимума.

Приведенные выше уравнения справедливы для импульсов малой длительности, что справедливо применительно к лазерному зондированию. При светолокационном зондировании с использованием импульсной лампы (которое имеет место во всех используемых приборах) следует учиты-

вать длительность и форму зондирующего импульса. При этом результирующий эхосигнал может быть получен по формуле свертки

$$P_2(x) = \int_0^x f(z) P_1(x-z) dz, \quad (6)$$

где  $f(z')$  - мощность излучаемого импульса в функции от времени (форма импульса);  $P_1(z) = A P_0 x(z) \frac{q(z)}{z^2} \exp[-2 \int_0^z \alpha(x) dx]$ ;  $P_0 = \int_0^\infty f(x) dx$ .

Обработка отраженного сигнала, когда длительностью зондирующего импульса нельзя пренебречь, заметно сложнее. Прежде всего, это связано с тем, что значительно сложнее корректировать сигнал на  $z^2/q(z)$ , поскольку результирующий сигнал в данный момент времени определяется не значением функции  $P(x)$  для конкретного локального объема, а является, в соответствии с (6), результатом суперпозиции сигналов, поступающих от протяженной области по  $z$ , определяемой длительностью импульса. Поэтому для нахождения функции  $P_1(z)$  необходимо решение интегрального уравнения (6), что вносит значительные дополнительные погрешности и требует знания формы импульса  $f(x)$  и его стабильности. Можно сделать вывод, что для уменьшения погрешностей получения профиля коэффициента ослабления  $\alpha(x)$  желательно уменьшение длительности излучаемого импульса.

Как было показано для интегрального метода в работе [10], при принятых выше допущениях интеграл от скорректированного по  $x$  эхосигнала  $P(x)$  имеет следующий вид (для простоты примем  $z_0 = 0$ ):

$$J_1(z) = \int_0^z J(x) dx = A_1 \left[ 1 - e^{-2 \int_0^z \alpha(x) dx} \right], \quad (7)$$

где  $A_1$  - постоянная, определяемая параметрами оптической системы, мощностью импульсной лампы и другими факторами (загрязнением стекол и т.п.);  $J(x) = P(x) \frac{x^2}{\sigma_1 \sigma_1}$ .

Очевидно, функция (7) стремится к пределу, не зависящему от  $\alpha(x)$ . Эта функция является основной при интерпретации полученного эхосигнала и определения значения ВНГО и вертикальной видимости. Заметим, что независимость асимптотического значения от  $z$  может быть дополнительно использована в алгоритмах обработки. Примем допущение о горизонтальной однородности оптических свойств атмосферы. Тогда наклонная видимость под углом  $\phi$ , определяемая по формуле Кошидера, имеет вид

$$\epsilon = \exp \left[ -1 \frac{1}{\sin \phi} \int_0^z \alpha(x) dx \right], \quad (8)$$

где  $\epsilon$  - порог контрастной чувствительности глаза, принимаемый равным 0,05;  $z_1$  - значение высоты, соответствующее наклонной видимости  $L_1$  под углом  $\varphi (L_1 = \frac{z_1}{\sin \phi})$ .

Из выражений (7) и (8) следует, что значение наклонной видимости  $L$ , под углом  $\varphi$  или, что то же, соответствующее значение  $\varepsilon$  может быть непосредственно получено из выражения

$$\ln \left[ 1 - \frac{J_1(x_1)}{J_{1max}} \right] = 2 \sin \varphi \ln \varepsilon. \quad (9)$$

Таким образом, имея профиль  $J(x)$ , в предположении горизонтальной оптической однородности атмосферы можно по результатам вертикального зондирования получить значения наклонной видимости под произвольным углом  $\varphi$ . Следует также отметить, что сам алгоритм обработки (задание порогового критерия  $J_1(x_1)/J_{1max}$ , зависящего от угла  $\varphi$ ), не связан с видом профиля  $\alpha(x)$ . В частности, для углов визуального зондирования 3-15°, представляющих интерес для пилота, находящегося на глиссаде снижения, получим: при 3° (угол наклона глиссады) порог  $J_1(x_1)/J_{1max} = 0,27$  при угле 15° (близком к максимальному углу наблюдения)  $J_1(x_1)/J_{1max} = 0,79$ . Отсюда можно сделать вывод о том, что нередко используемый в действующих светолокаторах пороговый критерий  $J_1(x_1)/J_{1max} = 0,5$  является разумным.

При зондировании достаточно длинным импульсом с крутым передним фронтом в выражении (6) можно принять, что  $f(x') = const$ ; при этом  $P_2 \approx A \int_0^x f(x') dx'$ , т.е. выходной сигнал приближенно соответствует интегралу от эхосигнала в случае короткого зондирующего импульса ( $\delta$ -функции). Однако, в отличие от (6), получаемый интеграл берется от сигнала, не скорректированного по  $x$ . Однако в случае однослойной плотной облачности при хорошей видимости влиянием изменения множителя  $x^2/q(x)$  (т.е. влиянием подоблачной дымки и глубины проникновения в облако по сравнению с высотой облака  $x$ ) можно пренебречь и считать, что в этом случае получаемый при зондировании сигнал за исключением постоянного множителя соответствует  $J$  в выражении (9).

В высотомере фирмы Вайсяля, который признан на сегодняшний день лучшим прибором для измерения ВНГО, при обработке отраженного сигнала рассмотрено получение одной из трех характеристик облаков: характеристики, соответствующей нижней границе самых низких ключев облаков; высоты, соответствующей самому крутому нарастанию фронта отраженного сигнала; высоты, соответствующей максимуму отраженного сигнала. Однако программное обеспечение прибора предусматривает возможность других альтернатив, а также включает параметр сдвига по высоте о том, чтобы подогнать результаты автоматических измерений к практике работы персонала конкретного региона. Как отмечено выше, при зондировании атмосферы длинным импульсом более рациональна вторая альтернатива, т.е. работа по середине фронта импульса. Таким образом, алгоритм выявления сигнала должен включать:

усреднение данных ряда зондирований с целью получения усредненного профиля отраженного сигнала; алгоритмы обработки усредненного профиля с целью получения высоты облаков (выявления слоев); алгоритмы расчета вертикального профиля коэффициента ослабления по усредненному профилю отраженного сигнала для определения высоты облаков в сложных метеорологических условиях (определение ВНГО в осадках и при плохой видимости) и расчет вертикальной видимости в случаях, когда из-за плохой видимости сигнал не достигает нижней кромки облаков (туман, сильные осадки).

Следует заметить, что пока не существует хороших расчетных методов для определения вертикальной видимости. Положение осложняется тем, что значения вертикальной видимости, выдаваемые наблюдателем с земли, не соответствуют значениям, выдаваемым пилотом. Это объясняется тем, что наблюдения снизу вверх при отсутствии каких-либо контрастных объектов и, возможно, с подсветом сзади, дают меньшие значения вертикальной видимости, чем получаемые пилотом, имеющим возможность видеть ряд контрастных объектов на земле и источники света. Поэтому разрабатываемые алгоритмы должны быть привязаны к результатам, которые дают наблюдатели и пилоты.

Для получения более устойчивых характеристик облачности необходимо обрабатывать данные ряда измерений. Подробно алгоритмы статистической обработки данных ряда измерений, обоснование критериев разделения на слои рассмотрены в работе [7]. Там же приводится обоснование необходимого числа измерений, включаемых в обработку, временного интервала, в течение которого производится обработка, а также что необходимо выдавать в качестве текущего значения ВНГО.

Таким образом, для получения достоверных результатов измерения ВНГО по однократным зондированиям светолокатора, направленных вертикально вверх, необходима обработка этих зондирований, включающая два основных этапа:

1. Алгоритмы интерпретации полученного эхосигнала с целью получения результата однократного измерения.
2. Статистическая обработка полученных результатов с целью получения устойчивых характеристик облачности (разделение на слои, количество облаков, определение средних и минимальных значений ВНГО).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А б р а м о в и ч К.Г. Об изменчивости высоты нижней границы облаков.-Метеорология и гидрология, 1968, № 5, с.30-41.
2. А н и с к и н Л.В., Б о р о в и к о в А.А., П е р с и н С.М. Исследование изменчивости высоты нижней границы облаков.-Труды ГГО, 1987, вып 512, с.92-107.
3. В о л к о в Л.О. К вопросу об изменчивости нижней границы облачности в нижнем 500-метровом слое атмосферы. - Труды ЦВГМО, 1971, вып.1, с.III-124.
4. М и н е р в и н В.Е. Колебания высоты нижней границы облаков во времени. - Труды ЦАО, 1974, вып.106, с.54-56.
5. Р у б и н ш т е й н М.В. Некоторые характеристики изменчивости высоты нижней границы облаков. - Труды ГМЦ СССР, 1967, вып.13, с.43-59.
6. И т о Х. Измерение метеорологических элементов во времени и пространстве на аэродроме и в его окрестностях.-Гидрометеорология за рубежом, 1970, вып.9, с.38-55.
7. П е р с и н С.М. Измерение высоты нижней границы облаков и характеристик облачности как задача распознавания образов.- Труды ГГО, 1987, вып.512, с.79-91.
8. А б р а м о в и ч К.Г. Условия образования и прогноз низких облаков. - Труды ГМЦ, 1973, вып.78. - 124 с.
9. И е в л е в а Н.Н., К р у т л о в Р.А. Алгоритмы машинной обработки результатов измерений высоты нижней границы облаков.- Труды ГГО, 1980, вып.435, с.104-113.
10. К о в а л е в В.А. Анализ методов обработки сигналов лазерных локаторов при измерении прозрачности атмосферы. - Труды ГГО, 1976, вып.357, с.121-139.

В. И. Кондратюк, Г. Ю. Емельянова

## МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СЕБЕСТОИМОСТИ ПРОГРАММ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

Все отрасли народного хозяйства, в зависимости от характера и специфики решаемых или задач, при организации производства и принятии хозяйственных решений используют, в большей или меньшей степени, гидрометеорологическую информацию. Причем потребность в гидрометеорологической информации возрастает с каждым годом. Это объясняется тем, что с повышением организации производства, усложнением технологий зависимость между эффективностью работы большинства отраслей народного хозяйства и гидрометеорологическими условиями увеличивается. Естественно, повышаются и требования потребителей к качеству предоставляемой информационной продукции, ее специализации к условиям конкретного производства.

В настоящее время организациями и учреждениями Госкомгидромета СССР, выдается до тысячи гидрометеорологических характеристик, и тем не менее потребность отраслей народного хозяйства в гидрометеорологической информации остается удовлетворенной не полностью — многие потребители вынуждены самостоятельно рассчитывать необходимые им гидрометеорологические параметры. В то же время, почти половина гидрометеохарактеристик, выдаваемых Госкомгидрометом СССР, практически не используется потребителями.

Причина такого "перекоса" в гидрометеобеспечении потребителей заключается, с одной стороны, в слабой изученности потребностей народного хозяйства в различных видах гидрометеорологической информационной продукции, а с другой, в ограниченных возможностях организаций и учреждений Госкомгидромета СССР по расширению номенклатуры выдаваемых гидрометеорологических характеристик, поскольку увеличение бюджетного финансирования отрасли в последние годы не поспевало за ростом стоимости жизни.

Одним из возможных путей повышения заинтересованности работников организаций и учреждений Госкомгидромета СССР в расширении номенклатуры продукции и повышении ее качества является получение дополнительных средств непосредственно от заказчиков за счет реализации им необходимой гидрометеорологической продукции. Но для этого надо знать ее себестоимость и цену реализации.

В настоящей статье излагаются научно-методические основы определения себестоимости стандартных программ гидрометеорологических наблюдений в одном пункте сети Госкомгидромета СССР – исходных данных для определения себестоимости и цены отдельных гидрометеорологических характеристик.

Первое, что необходимо сделать, приступая к определению себестоимости любой продукции – это выбрать метод, который будет применен при расчете. Одним из наиболее распространенных в экономической практике методов определения себестоимости является нормативный, основанный на базе учета нормативных издержек производства [1, 2].

Преимущества нормативного метода в том, что он позволяет определить себестоимость продукции на уровне сложившихся к расчетному периоду общественно-необходимых затрат на ее производство. Тем самым достигается единообразие в уровне цен на одну и ту же или аналогичную продукцию, полученную различными ее производителями (в нашем случае – разными УГМ). Однако использовать данный метод для определения себестоимости стандартных программ гидрометеорологических наблюдений оказалось невозможным по нескольким причинам.

Во-первых, нормативы в системе Госкомгидромета СССР при планировании деятельности практически не используются и в большинстве случаев не разработаны. Существуют лишь разрозненные нормативные документы (на оснащение приборами и оборудованием пунктов наблюдений, на численность некоторых наблюдательных организаций, пооперационные нормативы трудозатрат на производство отдельных видов гидрометеонаблюдений и некоторые другие), явно не достаточные для проведения расчетов себестоимости по нормативному методу учета затрат.

Во-вторых, большинство пунктов наблюдений на сети Госкомгидромета являются комплексными, т.е. проводят наблюдения по нескольким программам. Например, в одном пункте могут проводиться метеорологические и агрометеорологические наблюдения, а также загрязнения атмосферного воздуха. Определить величину косвенных (накладных) расходов для таких пунктов (даже при условии существования нормативов косвенных расходов) очень сложно. Для этого нужно, как минимум, учесть многообразие "комплексности" пунктов наблюдений на всей территории СССР. На практике такая работа сопряжена со столь значительными трудозатратами, что ее выполнение оказывается нецелесообразным.

Сразу же следует указать еще на одну трудность, возникающую при любых расчетах "снизу" – в формах бухгалтерского учета Госкомгидромета не существует разделения затрат различных статей расходов по программам наблюдений (сетям). В связи с этим не представляется возможным использовать для расчета себестоимости программ гидрометеонаблюдений как метод учета фактических затрат УГМ на получение этих программ, так и смешанный нормативно-фактический метод, предполагающий расчет "снизу".

Поэтому в основу расчета себестоимости стандартных программ гидрометеорологических наблюдений положен метод учета полных затрат УГМ и распределения их по программам (сетям) и пунктам наблюдений, т.е. метод распределения фактических затрат УГМ "сверху", предполагающий широкое использование экспертных оценок.

В качестве экспертов к работе привлекались специалисты ГМЦ и ЦНЗПС УГМ (Северо-Западного, Молдавского, Приморского, Камчатского и др.), а также специалисты ГГО, ГГИ, ВНИИСХМ и других НИИ Госкомгидромета СССР.

Расчет себестоимости программ гидрометеорологических наблюдений производился отдельно для первичной (данных наблюдений) и вторичной (оперативной и режимно-справочной) информационной продукции, а затем полученные данные, отнесенные к одному пункту наблюдений, суммировались. Такой раздельный подход в расчете позволил в дальнейшем корректно определить себестоимость и цену данных наблюдений, их характеристики и документов вторичной информации.

Чтобы при изложении методики определения себестоимости стандартных программ гидрометеорологических наблюдений избежать терминологических разночтений, сразу поясним смысл, вкладываемый авторами в тот или иной термин или определение.

Первое. Вся гидрометеорологическая информация является продуктом деятельности системы получения данных о состоянии природной среды, состоящей из 23 сетей пунктов наблюдений и делится на первичную и вторичную.

К первичной относится гидрометеорологическая информация, полученная путем наблюдений и простейших расчетов в пункте наблюдений (пост, станция, лаборатория, судно).

Вторичная информация - это первичная информация, подвергавшаяся анализу, обработке, обобщению в ГМЦ, ЦМ, ЦНЗПС, ГМО, ГМБ, АМСГ, ВЦ, НИУ. Она является гидрометеорологической продукцией, которая в свою очередь делится на оперативную (прогностическую) и режимно-справочную.

Второе. Принято, что 23 сетям пунктов наблюдений соответствуют 23 программы гидрометеорологических наблюдений: метеорологическая, авиационная метеорологическая (АМСГ), актинометрическая, теплобалансовая, аэрологическая, радиометеорологическая (МРЛ), агрометеорологическая, гидрологическая речная, озерная, воднобалансовая, болотная, снеголавинная, селестоковая, морская гидрометеорологическая прибрежная и судовая, наблюдения за загрязнением природной среды (5 программ), озонметрическая, атмосферного электричества, ионосферная и геомагнитная.

Третье. Под стандартной программой наблюдений понимается комплекс гидрометеорологических измерений, проводимых в пункте наблюдений в сроки и в объеме, определенными нормативно-методическими документами Госкомгидромета СССР. Стандартная программа наблюдений конкретных сетей может различаться по количеству наблюдаемых характеристик, числу сроков и технической оснащенности. Естественно, что и себестоимость таких программ будет различна. Кроме того, уровень себестоимости существенно зависит и от физико-географического расположения пункта наблюдений - на труднодоступных станциях (ТДС) он будет особенно высок.

Учесть в расчетах все многообразие программ наблюдений и расположения станций на местности по 23 гидрометеорологическим сетям в настоящее время не представляется возможным, поскольку информация такого рода в документах Госкомгидромета СССР отсутствует. Поэтому мы ограничились определением средней себестоимости стандартных программ гидрометеорологических наблюдений. Забегая вперед, можно отметить, что, определив себестоимость отдельных наблюдаемых характеристик, несложно в обратном порядке рассчитать себестоимость программы наблюдений в пункте любого разряда.

Поскольку многие гидрометеорологические характеристики наблюдаются сезонно, в качестве расчетного периода был принят год. Выбранный временной интервал позволяет учесть затраты на наблюдения, анализ и обобщение всех гидрометеорологических характеристик, выдаваемых организациями и учреждениями Госкомгидромета.

Теперь перейдем непосредственно к изложению методики расчета среднегодовой себестоимости стандартных программ гидрометеорологических наблюдений.

Согласно разработанным подходам, расчет себестоимости программ производится по отдельным УГМ. При этом затраты на получение информации по стандартным программам наблюдений каждой сети в конкретном УГМ могут рассматриваться как местные нормы, ибо отражают специфику УГМ: физико-географическое положение, экономическое развитие региона, наличие труднодоступных станций, ВЦ, объем гидрометеообеспечения народного хозяйства и т.д.

В расчетах в качестве исходных данных использованы: штатно-окладное расписание УГМ, годовой отчет о движении основных средств УГМ (форма № 5), типовая табель приборов и оборудования для производства гидрометеорологических наблюдений, прейскурант цен на приборы и оборудование.

Анализ форм бухгалтерского учета УГМ показал, что затраты в них группируются преимущественно по экономическим элементам, поэтому при распределении средств УГМ применен поэлементный способ учета

затрат, а сами экономические элементы затрат объединены в три группы:

- заработная плата;
- эксплуатационные расходы;
- амортизационные отчисления основных средств.

Сумма затрат по трем выделенным группам экономических элементов каждой сети, отнесенная к одному пункту наблюдений, представляет собой себестоимость стандартной программы наблюдений той или иной сети в конкретном Управлении.

Таким образом, задача сводится к распределению затрат каждой группы по уровням информации (первичная и вторичная) и далее по программам (сетям) и пунктам наблюдений.

Распределение средств между уровнями информации по любой группе элементов затрат осуществлено экспертным путем. Далее в таблицах указываются конкретные значения экспертных оценок.

Первая группа элементов затрат включает заработную плату (или ее часть) работников всех уровней: пунктов наблюдений, отделов и подразделений УГМ, методических отделов НИУ.

Годовая сумма заработной платы пунктов наблюдений определяется на основе нормативной численности наблюдательных органов и средней величины должностных окладов по штатно-окладному расписанию УГМ. Это относится к метеорологической, актинометрической, гидрологической речной сетям и к сети наблюдений за загрязнением атмосферного воздуха.

Для сетей, например аэрологической, авиационной, метеорологической, МРЛ, воднобалансовой, болотной, снеголавинной, ионосферной и др., пункты наблюдений которых нормативной численности не имеют, в качестве базовой принята осредненная по УГМ фактическая величина заработной платы пунктов наблюдений этих сетей.

В пунктах комплексных наблюдений, где ведутся наблюдения по программе нескольких сетей, причем некоторые из них, например теплосбалансовые, морские гидрометеорологические прибрежные, загрязнения поверхностных вод суши, не обеспечены штатными наблюдателями, норма заработной платы пунктов наблюдений определяется экспертным путем - как часть зарплат сотрудников по основному виду наблюдений.

Учитывая, что пункты наблюдений некоторых сетей (гидрологической речной, озерной, агрометеорологической, загрязнения природной среды) имеют между собой и ГМЦ, ЦНЗПС, промежуточные звенья (станции, лаборатории), заработная плата сотрудников этих звеньев равномерно распределяется между пунктами наблюдений соответствующей сети.

В табл. I приведены формулы расчета заработной платы пунктов наблюдений сетей.

Таблица I

Схема определения фонда заработной платы (Ф.З.П.)  
пунктов гидрометеорологических наблюдений р.

Индекс программы (сети)	Наименование программы наблюдений в пункте (сети)	Месячный нормативный ФЗП пункта наблюдений	Способ расчета фактического ФЗП пункта наблюдений
I.	Метеорологическая: для сухопутных УИМ для морских УИМ	620	$\Phi ЗП_1 = (620 n_1 - 31 n_{16}) : n_1$ $\Phi ЗП_1 = (620 n_1 - 124 n_{14} - 31 n_{16}) : n_1$
2.	Авиационная метеорологическая	-	$\Phi ЗП_2 = 910$ , рассчитан по средней численности наблюдателей в пункте
3.	Актинометрическая: без теплосбалансовых наблюдений с теплосбалансовыми наблюдениями	260	$\Phi ЗП_3 = 260$ $\Phi ЗП_3 = (260 n_3 - 52 n_4) : n_3$
4.	Теплосбалансовая	-	$\Phi ЗП_4 = 0,2 \Phi ЗП_3 = 52$
5.	Аэрологическая	-	$\Phi ЗП_5$ определяется как усредненная по пунктам величина ФЗП
6.	Радиометеорологическая (МРЛ)	-	$\Phi ЗП_6$ то же
7.	Агрометеорологическая	120	$\Phi ЗП_7 = 120 + \sum_1^{n_7} \Phi ЗП_{\alpha}^{\phi} / n_7$
8.	Гидрологическая (речная)	100	$\Phi ЗП_8 = [(100 + \sum_1^{n_8} \Phi ЗП_{\alpha}^{\phi} / n_8) n_8 - 5 n_{7,8}] : n_8$
9.	Озерная	100	$\Phi ЗП_9 = 100 + \sum_1^{n_9} \Phi ЗП_{\alpha}^{\phi} / n_9$
10.	Воднобалансовая	-	$\Phi ЗП_{10}$ определяется как усредненная по пунктам величина ФЗП
II.	Болотная	-	$\Phi ЗП_{11}$ то же
12.	Снеголавинная	-	$\Phi ЗП_{12}$ то же
13.	Селестоковая	-	$\Phi ЗП_{13}$ то же
14.1.	Морская прибрежная	90	$\Phi ЗП_{14} = 90 + 0,2 \Phi ЗП_7 = 90 + 124 = 214$
14.2.	Открытого моря		
15.	Загрязнения атмосферного воздуха	100	$\Phi ЗП_{15} = 100 + \sum_1^{n_{15}} \Phi ЗП_{105}^{\phi} / n_{15}$

Индекс программы (сети)	Наименование программы наблюдений в пункте (сети)	Месячный нормативный ФЭП пункта наблюдений	Способ расчета фактического ФЭП пункта наблюдений
16.	Радиометрического загрязнения	-	$\Phi_{3П} \neq 0,05 \Phi_{3П} + \Phi_{3П}^{\phi} / n_{16} =$ $= 37 + \Phi_{3П}^{\phi} / n_{16}$
17.	Загрязнения поверхностных вод суши	-	$\Phi_{3П} = 0,05 \Phi_{3П} + \sum_{8} \Phi_{3П}^{\phi} / n_{17} =$ $= 5 + \sum_{7} \Phi_{3П}^{\phi} / n_{17}$
18.	Загрязнения морских вод	-	$\Phi_{3П}$ определяется суммарно на всю сеть
19.	Загрязнения почвы	-	$\Phi_{3П}$ то же
20.	Озонометрическая	-	$\Phi_{3П}$ определяется как осредненная по пунктам величина ФЭП
21.	Атмосферного электричества	-	$\Phi_{3П}$ то же
22.	Ионосферная	-	$\Phi_{3П}$ то же
23.	Геомагнитная	-	$\Phi_{3П}$ то же

- Примечания. 1.  $\Phi_{3П}$  - фонд заработной платы пункта  $i$  - й сети;  
 $n_i$  - число пунктов наблюдений  $i$  - й сети;  
 $\Phi_{3П}^{\phi}, \Phi_{3П}^{\phi}, \Phi_{3П}^{\phi}$  - фактический ФЭП соответственно агрометеорологической, гидрологической (речной), озерной станций;  $\Phi_{3П}^{\phi}$  - фактический ФЭП лабораторий;  
 $n_{\text{лаб}}$  - число соответствующих лабораторий в УГМ.
2. Для получения годовой величины ФЭП приведенные в таблице значения ФЭП пунктов наблюдений надо умножит на 12.

Распределение заработной платы отделов и подразделений УГМ по сетям (программам) гидрометеорологических наблюдений осуществляется экспертным методом с использованием штатно-окладного расписания УГМ. Схема распределения приведена в табл.2. Для конкретных отделов некоторых УГМ процентное соотношение заработной платы в зависимости от уровней информации, т.е. отдельно по первичной и вторичной информации, может отличаться от приведенных в табл.2 данных.

Заработная плата II уровня по сетям (программам) наблюдений распределяется отдельно для оперативной и режимно-справочной продукции, доля которых в затратах по зарплате II уровня устанавливается экспертно (по каждому отделу в штатно-окладном расписании). При этом учитывается наличие оперативной и режимно-справочной продукции в конкретной программе гидрометеорологических наблюдений (табл.3).

При распределении по сетям заработной платы работников АСПЦ был применен так называемый информационный коэффициент ( $J_j$ ), учитывающий не только число пунктов наблюдений, привлеченных к информационной работе, но и объем передаваемой с этих пунктов информации в течение года:

$$J_j = \frac{n_j}{n_m} \frac{V_j}{V_m} \frac{q_j}{q_m}, \quad (I)$$

где  $j$  - индекс программы наблюдений (сети);  $n_j$  - число пунктов наблюдений  $j$ -й сети, привлеченных к информационной работе;  $V_j$  - усредненный за год суточный объем передаваемой информации (число групп в телеграмме) с пункта  $j$ -й сети;  $q_j$  - среднее число сроков подачи информационных телеграмм в сутки с пункта  $j$ -й сети;  $n_m, V_m, q_m$  - соответственно то же по метеорологической сети.

Для гидрологической речной сети учтено, что только около 60 % пунктов наблюдений привлечено к информационной работе - при расчете информационного коэффициента гидрологической сети вводится коэффициент 0,6 на число пунктов наблюдений.

Доля заработной платы сотрудников НИУ находится экспертным путем и составляет 0,5-1,5 % фонда заработной платы сотрудников пункта наблюдений.

Расчитанные таким образом значения заработной платы суммируются по каждой программе наблюдений в пункте и умножаются на коэффициент 0,10, учитывающий усредненную по УГМ величину премиальных средств, выплачиваемых из фонда заработной платы.

В целях сравнимости результатов по разным УГМ районные коэффициенты, северные и прочие надбавки к заработной плате не учитываются.

Таблица 2

Схема распределения фонда заработной платы (%)  
отделов и подразделений УГМ

Наименование отделов и подразделений УГМ	Уровень		Способ распределения	Сети
	I	II		
Аппарат УГМ	50	50	Равномерно по сетям	Все сети
Руководство ГМЦ	30	70	То же	Свои сети
Руководство ГМО, ГМБ	40	60	"	То же
Руководство ЦНЗПС	50	50	"	"
Прогностические отделы, группы ГМЦ	20	80	Полностью на свои сети	"
Прогностические отделы, группы ЦГМ, ГМО, ГМБ	30	70	То же	"
Методические отделы, группы ГМЦ, ЦГМ, ГМО, ГМБ	60	40	"	"
Режимно-справочные отделы, ГМЦ, ЦГМ, ГМО	-	100	"	"
Отдел обслуживания народного хозяйства ГМЦ	20	80	Экспертная оценка	I;7;8;I4;
Отдел обслуживания народного хозяйства ЦНЗПС	40	60	То же	I5;I7;I8;
АСЦД (центр связи)	40	60	По информационному коэффициенту	Информационные сети
ССИ	90	10	Пропорционально пунктам	Все сети
ФОЛ	20	80	Равномерно по сетям	Все сети, кроме I6
ГФД и НТИ	30	70	То же	Все сети, кроме 3; I6
Флот	100	-	Экспертная оценка	I;8;9;I4; 20
РВП	80	20	Пропорционально пунктам	Все сети, кроме 2
Автохозяйство	100	-	То же	То же
База снабжения	100	-	"	Все сети
Обслуживающий персонал	60	40	Равномерно по сетям	Обслуживаемые сети

Таблица 3  
Типы гидрометеорологической продукции УИМ

Индекс	Наименование программы наблюдений	Продукция	
		оператив- ная	режимно-спра- вочная
1.	Метеорологическая	+	+
2.	Авиационная метеорологическая	+	
3.	Актинометрическая		+
4.	Теплобалансовая		+
5.	Аэрологическая		+
6.	Метеорологическая радиолокационная		+
7.	Агрометеорологическая	+	+
8.	Гидрологическая речная	+	+
9.	Озерная <sup>х</sup>	+	+
10.	Воднобалансовая		+
11.	Болотная		+
12.	Снеголавинная <sup>х</sup>	+	+
13.	Селестоковая <sup>х</sup>	+	+
14.	Морская гидрометеорологическая	+	+
15.	Наблюдения за загрязнением атмосферного воздуха <sup>х</sup>	+	+
16.	Радиометрического загрязнения воздуха		+
17.	Наблюдения за загрязнением вод суши		+
18.	Наблюдения за загрязнением вод морей		+
19.	Наблюдения за загрязнением почвы		+
20.	Озонометрическая		+
21.	Атмосферного электричества		+
22.	Ионосферная	+	+
23.	Геоматнитная	+	+

<sup>х</sup> При распределении заработной платы используются следующие коэффициенты: 0,2 - для оперативной продукции; 0,8 - для режимно-справочной.

Вторая группа элементов затрат УГМ - эксплуатационные расходы. Данные о них содержатся в форме 2-а бухгалтерского учета. Первая статья эксплуатационных расходов - заработная плата. Ее мы уже распределили по методике, изложенной выше. Вторая статья формы 2-а - начисления на заработную плату - распределяется пропорционально фонду заработной платы, рассчитанного к одному пункту по каждой программе наблюдений.

Распределение остальных статей эксплуатационных затрат УГМ, отнесенных к первому уровню информации по сетям, производится экспертным методом, а по пунктам (программам) наблюдений - равномерно. При этом учитывается, что средства по отдельным статьям некоторых УГМ используются в интересах соседних УГМ (например, затраты СЗ УГМ на ледовые авиаразведки следует относить и на прибалтийские УГМ). Имея в виду, что затраты на производственные работы, экспедиции, командировки, как правило, больше на гидрологических и морских гидрометеорологических сетях, а также на сетях наблюдения за загрязнением морских и речных вод, в указанные сети вводится коэффициент 2,0 (на число пунктов наблюдений).

В некоторых УГМ, где имеется сравнительно много станций с собственными средствами связи, доля средств АСПД, относимая на первичную информацию, увеличивается до 50-60 % (принятая экспертным путем норма - 40 %).

Схема распределения эксплуатационных расходов УГМ, кроме статей "заработная плата" и "начисления на заработную плату", приведена в табл. 4 и 5.

Распределение эксплуатационных расходов II уровня по сетям (программам наблюдений) осуществляется с помощью экспертных оценок (см. табл. 5) и с учетом наличия типов продукции - оперативной и режимно-справочной - в конкретной программе наблюдений (см. табл. 3).

И последняя группа элементов затрат, входящая в себестоимость стандартных программ гидрометеорологических наблюдений - амортизационные отчисления основных средств УГМ.

Величина амортизационных отчислений основных средств рассчитывается по нормам амортизации (нормам износа) от балансовой стоимости средств [3]. Сведения о балансовой стоимости основных фондов УГМ содержатся в форме 5 бухгалтерского учета.

Поскольку основные средства УГМ участвуют в создании и первичной, и вторичной информационной продукции, прежде всего следует распределить суммарную стоимость основных фондов УГМ по уровням информации. После этого по нормам амортизации определяется величина амортизационных отчислений по каждой группе основных средств УГМ.

Таблица 4

Схема распределения эксплуатационных расходов  
УИМ I уровня по сетям (программам наблюдений)

Наименование статьи расходов	Уровень		Способ распределения	Сети
	I	II		
Канцелярские и хозяйственные расходы	50	50	Пропорционально пунктам	Все сети
Научно-оперативная работа				
оперативная связь	40	60	По информационному коэффициенту	Информационные сети
оплата ГА за авиаработы	Экспертная оценка	Экспертная оценка	Экспертная оценка	Сети, пользующиеся услугами ГА
использование аэрологических материалов и расходы по радиолокации	100	-	5-95% 6-5 %	5;6
производственные расходы, экспедиции и производственные командировки	90	10	Пропорционально пунктам Сети 8-14, 17-19 с коэфф. 2,0	Все сети
содержание и ремонт плавсредств	100	-	Экспертная оценка	8-9;14;17; 18, в некоторых УИМ - 1; 5; 6
разработка опытных образцов приборов	100	-	равномерно по сетям	Все сети, кроме 2-6
Приобретение хозяйственного инвентаря и мебели	50	50	Пропорционально пунктам	Все сети, кроме 2
Приобретение мягкого инвентаря	80	20	Пропорционально пунктам	Все сети
Расходы на изобретательство и рационализацию	100	-	Равномерно по сетям	Все сети
Прочие расходы	100	-	Экспертная оценка	Все сети, кроме 2; 4; 16

Таблица 5

Схема распределения эксплуатационных расходов II уровня  
по сетям и типам информации, %

Наименование статьи расходов	Распределение по ти- пам информации		Распределение по се- тям (индекс сети - %)
	оператив- ная	режимно- справочная	
Канцелярские и хозяйст- венные расходы; коман- дировки и служебные разъезды	50	50	3-2, 4-0, 16-0, 20-2, 21-2, 22-2, 23-1, ос- тальные сети равномер- но
Оперативная связь	100	-	1-50, 2-30, 7-5, 8-5, 14-10 (для морских УИМ); 1-50, 2-40, 7-5, 8-5 (для остальных УИМ)
Оплата ГА за авиароботы	70	30	7, 8, 12, 13, 14 - равномерно и с исполь- зованием экспертных оценок
Экспедиции и производст- венные командировки	-	100	4-0, 16-0, остальные сети-равномерно
Приобретение хозяйствен- ного инвентаря и мебели	50	50	2-0, 16-0, остальные сети-равномерно
Приобретение мягкого ин- вентаря и обмундирования	30	70	3-0, 4-0, 20-0, 21-0, 22-0, 23-0, остальные сети-равномерно
Прочие расходы	50	50	1, 8, 9, 10, 14 - равномерно, эксперт- ная оценка

Такая последовательность расчета оказывается принципиально важной при создании амортизационных отчислений по субсчету формы 5 "Машины и оборудование". В этот субсчет входит стоимость приборов и оборудования пунктов наблюдений, полностью относимых на I уровень (первичную информацию), и часть стоимости средств АСПЦ, распределяемых на оба уровня информации.

Сети, на которые распределяются амортизационные отчисления основных средств УИМ, определяются с использованием экспертных оценок. Например, амортизация основных средств АСПЦ относится только к сетям, информация которых передается средствами АСПЦ.

В табл.6 приводятся экспертные оценки распределения балансовой стоимости групп основных средств УИМ по уровням информации, по сетям (программам наблюдений) и их нормативы амортизационных отчислений. По субсчетам "Здания" и "Сооружения" нормативы амортизационных отчислений были получены путем усреднения соответствующих данных по нескольким УИМ.

При наличии в УИМ ВЦ, стоимость его основных средств по уровням информации и программам наблюдений распределяется отдельно, пропорционально времени обработки соответствующих гидрометеорологических документов. Кстати, здесь следует отметить, что таким же образом распределяются и все остальные затраты УИМ за пользование услугами ВЦ - заработная плата работников вычислительного центра и эксплуатационные расходы ВЦ.

Таблица 6  
Способ распределения стоимости основных средств (%)  
УИМ по уровням информации

Наименование основных средств	Норматив амортизации	Уровень	
		I	II
Здания	2,5	65	35
Сооружения	4,5	100	-
Передающие устройства	4	100	-
Машины и оборудование	10	40*	60*
Белье	100	100	-
Транспортные средства	15	100	-
Хозяйственный инвентарь	10	50	50
Прочие	8,5	-	100

\* Кроме приборов и оборудования пунктов наблюдений, полностью относенных на I уровень.

Стоимость основных средств пунктов наблюдений состоит из 2 частей: стоимости основных средств непосредственно пункта наблюдений и стоимости основных средств УИМ, экспертным путем отнесенных на I уровень и приходящихся на I пункт наблюдений соответствующей сети.

Величина амортизационных отчислений основных средств самих пунктов наблюдений определяется методом прямого счета с использованием типового табеля приборов и оборудования [4] и преysкуранта цен на приборы и оборудование [5] по формуле

$$A_j^p = \sum_{l=1}^m r_l m_l \delta_l k_l, \quad (2)$$

где  $r_l$  - стоимость прибора  $l$ -го типа;  $m_l$  - число приборов  $l$ -го типа в пункте наблюдений (с учетом запаса в пункте);  $\delta_l$  - нормативный коэффициент амортизационных отчислений для прибора  $l$ -го типа;  $k_l$  - коэффициент взаимозаменяемости приборов  $l$ -го типа.

Для сетей наблюдений за загрязнением природной среды расчет амортизационных отчислений приборов и оборудования, находящихся в пункте наблюдений, имеет некоторые особенности, обусловленные тем, что на постах (пунктах наблюдений) только отбираются пробы, а анализ их выполняется в химических лабораториях. Поэтому формула расчета амортизации имеет вид

$$A_j^p = A_j^{p'} + \frac{A_j^{поб, лоб}}{n_j}, \quad (3)$$

где  $A_j^{поб}$  - величина амортизационных отчислений приборов и оборудования одной лаборатории  $j$ -й сети;  $n_j$  - число лабораторий  $j$ -й сети в УИМ;  $A_j^{p'}$  - величина амортизационных отчислений приборов и оборудования в пункте отбора проб;  $n_j$  - число пунктов отбора проб  $j$ -й сети.

В связи с тем, что число лабораторий в различных УИМ не одинаково, величина  $A_j^p$  будет разной в каждом УИМ. Для получения нормативной величины  $A_j^p$  ее необходимо усреднить по УИМ.

При расчете амортизации приборов и оборудования лабораторий принялось, что стоимость приборов и оборудования самостоятельных лабораторий равна половине стоимости приборов и оборудования головной лаборатории в ЦНЗПС.

Сложнее рассчитать вторую составляющую стоимости основных средств пунктов наблюдений. Распределять стоимость основных фондов УИМ, отнесенных к первому уровню, равномерно по сетям нет оснований, так как сети весьма различны. Делать это пропорционально пунктам наблюдений тоже необоснованно, поскольку пункты наблюдений по техническому оснащению различаются довольно заметно.

Анализ формы 5 бухгалтерского учета ряда УГМ показал, что 60-70 % суммы основных средств УГМ приходится на субсчет "Машины и оборудование". При этом основная доля стоимости (около 80 %) указанного субсчета приходится на приборы и оборудование пунктов наблюдений. Конечно, однозначной зависимости между стоимостью оснащения приборами пунктов наблюдений и стоимостью остальных основных фондов УГМ, приходящихся на пункт, не существует. Тем не менее ее наличие позволило сделать вывод о правомерности распределения амортизационных отчислений основных средств УГМ первого уровня, кроме субсчетов "Транспортные средства" и "Белье", пропорционально величине амортизации приборов и оборудования пунктов наблюдений сети. Амортизационные отчисления по субсчетам "Транспортные средства" и "Белье" распределяются равномерно по пунктам всех наблюдательных сетей УГМ.

Распределение амортизационных отчислений основных средств УГМ второго уровня по сетям (программам) и пунктам наблюдений имеет свои особенности и отличается от аналогичных расчетов по первому уровню.

Сумма амортизационных отчислений основных средств II уровня делится между сетями следующим образом: 75 % амортизационных отчислений отнесено на основные сети (метеорологическую, авиационную метеорологическую, гидрологическую, морскую гидрометеорологическую - доля на каждую из них устанавливалась экспертным путем), оставшиеся 25 % распределяются равномерно на остальные сети (табл.7).

Полученные величины амортизационных отчислений по каждой сети (программе наблюдений) делятся в соответствии с экспертными оценками (см. табл.7) на получение отдельно оперативной и отдельно режимно-справочной информации. Деление амортизационных отчислений II уровня по пунктам наблюдений осуществляется равномерно.

Произведенный расчет на базе I7 УГМ, расположенных в различных природно-географических зонах, показал, что рассчитанные значения себестоимости программ гидрометеорологических наблюдений первого уровня по разным УГМ хорошо согласуются между собой - отклонение от среднего по большинству сетей не превышает 20 %. В Тихинском, Камчатском УГМ функционирование пунктов наблюдений сопряжено с необходимостью дополнительных затрат, проявляющихся в более высокой стоимости строительно-монтажных работ, перевозок и т.п. В этих регионах себестоимость программ гидрометеорологических наблюдений, даже без районных коэффициентов и надбавок к заработной плате, выше на 50-80 %.

Как видно из данных табл.8, себестоимость программ метеорологических наблюдений в пункте колеблется от 12,1 тыс.р. в Молдавском

Таблица 7

Схема распределения амортизационных отчислений основных средств II уровня по сетям (программам наблюдений), %

Индекс	Наименование сети	УГМ		Информация	
		сухо-путные	морские	оперативная	режимно-справочная
1.	Метеорологическая	30	20	50	50
2.	Авиационная метеорологическая	20	15	100	-
3.	Актинометрическая	+	+	-	100
4.	Теплобалансовая	-	-	-	-
5.	Аэрологическая	+	+	-	100
6.	Метеорологическая радиолокационная (МРЛ)	+	+	-	100
7.	Агрометеорологическая	+	+	50	50
8.	Гидрологическая речная	20	15	50	50
9.	Озерная	5	5	20	80
10.	Воднобалансовая	+	+	-	100
11.	Болотная	+	+	-	100
12.	Снеголавинная	+	+	20	80
13.	Селестоковая	+	+	20	80
14.	Морская гидрометеорологическая	-	20	50	50
15.	Наблюдения за загрязнением атмосферного воздуха	+	+	20	80
16.	Наблюдения за радиометрическим загрязнением воздуха	-	-	-	-
17.	Наблюдения за загрязнением поверхностных вод суши	+	+	-	100
18.	Наблюдения за загрязнением морских вод	-	+	-	100
19.	Наблюдения за загрязнением почвы	+	+	-	100
20.	Озонометрическая	-	-	-	-
21.	Атмосферного электричества	-	-	-	-
22.	Ионосферная	-	-	-	-
23.	Геоманитная	-	-	-	-

Примечание. "+" - амортизация распределяется равномерно.

УГМ до 17,0 тыс.р. в Якутском УГМ, т.е. амплитуда колебаний составляет менее чем 40 % по абсолютной величине или 20 % от среднего.

Разница между максимальной себестоимостью программы пункта аэрологических наблюдений (187,5 тыс. р. в Узбекском УГМ) и минимальной (147,0 тыс.р. в Таджикском УГМ) равна 40,5 тыс.р., что составляет 22 % себестоимости (11 % среднего).

Для агрометеорологической, гидрологической и прибрежной морской гидрометеорологической сетей амплитуда колебаний себестоимости программы в пункте наблюдений не превышает 30-40 %, т.е. отклонения от среднего не превышают 20 %.

Анализ полученных значений себестоимости программ наблюдений в пунктах по остальным сетям также показал, что разброс значений находится в допустимых для экономических обобщений пределах и дает возможность рассчитать среднеотраслевую себестоимость стандартных программ гидрометеорологических наблюдений в пункте по всем сетям системы Госкомгидромета (см.табл.8). Усреднение производилось без арктических и Камчатского УГМ.

Чтобы на базе среднеотраслевого значения определить себестоимость программы гидрометеорологических наблюдений в УГМ, имеющих районные коэффициенты и надбавки к заработной плате, надо применить эти коэффициенты. Но поскольку для практического использования районные коэффициенты неудобны (всегда надо знать долю заработной платы в общих затратах), были рассчитаны "приведенные" к себестоимости районные коэффициенты по каждой программе гидрометеорологических наблюдений всех УГМ. В табл.9 представлены значения этих коэффициентов по некоторым УГМ. Колебания уровня "приведенных" к себестоимости коэффициентов относительно этих же коэффициентов, рассчитанных к заработной плате, зависят от структуры себестоимости (доли заработной платы), которая различна для разных программ гидрометеорологических наблюдений.

Для большинства стандартных программ гидрометеонаблюдений расходы на заработную плату составляют 50-70 % (табл.10). Резко выделяются большим процентом заработной платы в себестоимости программы наблюдений, только пункты воднобалансовой сети (96 %), болотной (94 %) и озонметрической (80 %). Это вполне закономерно, поскольку по названным программам, как правило, ведутся наблюдения в одном-двух пунктах, что всегда ведет к увеличению доли накладных расходов в части заработной платы. Например, в себестоимости программы воднобалансовых наблюдений заработная плата руководящих и методических органов УГМ и отделов НИИ составляет 46 %.

По радиометрической и аэрологической программам наблюдений в структуре затрат доля заработной платы принимает самые низкие зна-

Себестоимость стандар  
наблюдений :

Наименование программы наблюдений	Грузинское УГМ	Приволж УГМ
1. Метеорологическая	13,35	14,50
2. Авиационная метеорологическая	11,76	17,92
3. Актинометрическая	7,10	7,24
4. Теплобалансовая	3,93	3,47
5. Аэрологическая	168,78	180,10
6. Радиометеорологическая (МРЛ)	61,38	77,24
7. Агрометеорологическая	6,13	5,66
8. Гидрологическая (речная)	4,20	5,33
9. Озерная	6,85	7,22
10. Воднобалансовая	24,61	26,52
11. Болотная	-	-
12. Снеголавинная	43,02	-
13. Селестоковая	31,81	-
14.1. Морская прибрежная	6,26	-
14.2. Открытого моря	113,92	-
15. Загрязнения атмосферного воздуха	8,39	8,48
16. Радиометрического загрязнения	2,09	3,77
17. Загрязнения поверхностных вод суши	2,52	4,52
18. Загрязнения морских вод	2,68	-
19. Загрязнения почвы	1,71	3,57
20. Озонометрическая	9,70	8,91
21. Атмосферного электричества	-	-
22. Ионосферная	-	-
23. Геомагнитная	-	-

Примечания. 1. Себестоимость приведена без учета районных коэффициентов.  
2. Среднеотраслевая себестоимость рассчитана по данным УГМ (а не только тех, что приведены в таблице).  
3. По программе "Открытого моря" себестоимость приведена на экспедиционные работы (без учета НИСР и НИС НИУ) в целом по УГМ.

Таблица 8

грамм гидрометеорологических  
 юторых УГМ, тыс.р./год

Юрокое УГМ	Сев-Зап. УГМ	Узбекское УГМ	Камчатское УГМ	Тиксинс- кое УГМ	Якуто- кое УГМ	Средне- отрасле- вая себе- стоимость
,05	12,66	15,68	19,35	24,46	16,97	13,66
,92	14,44	19,55	11,57	23,48	13,42	15,71
,05	5,65	7,24	6,39	12,03	6,42	6,65
,37	3,30	4,47	-	-	3,11	3,50
,62	151,22	187,66	195,31	180,94	153,50	169,87
,08	71,13	76,00	80,89	107,82	69,24	67,75
,80	5,58	7,11	8,60	12,12	7,91	6,38
,99	4,05	6,22	7,26	13,31	5,33	4,88
,59	5,90	7,50	7,01	-	7,21	7,34
,79	-	28,17	-	-	-	24,30
	26,55	-	-	-	-	26,77
	-	57,40	55,87	-	-	48,56
	-	-	-	-	-	30,60
,57	6,27	-	9,39	-	-	6,65
,40	237,52	-	167,19	-	-	245,85
,08	7,95	9,58	10,07	20,59	8,77	8,34
,72	2,93	3,38	5,08	9,47	2,57	2,97
,71	3,46	4,08	5,48	10,12	3,11	3,47
,63	4,35	-	7,96	12,93	-	4,13
,29	-	2,90	-	-	-	2,24
,59	-	-	10,87	16,59	8,89	9,04
-	-	9,70	-	-	-	10,11
,67	-	18,93	14,05	24,82	-	14,49
,81	-	16,15	12,22	22,60	-	12,70

Таблица 9

Районные коэффициенты (к себестоимости программ наблюдений)

Индекс	Наименование программы наблюдений	Груз. УИМ	Прив. УИМ	Прям. УИМ	СЗ УИМ	Узб. УИМ	Камч. УИМ	Тисс. УИМ	Яку. УИМ
1.	Метеорологическая	1,01	1,02	1,36	1,05	1,04	1,83	1,80	1,57
3.	Актинометрическая	1,00	1,02	1,33	1,03	1,08	1,88	1,91	1,62
4.	Теплобалансовая	1,00	1,04	1,48	1,06	1,06	-	-	1,88
5.	Аэрологическая	1,00	1,01	1,15	1,04	1,01	1,33	1,34	1,25
6.	Радиометеорологическая (МРД)	1,00	1,02	1,16	1,05	1,02	1,44	-	1,37
7.	Агрометеорологическая	1,00	1,03	1,26	1,03	1,03	1,82	1,84	1,46
8.	Гидрологическая (речная)	1,01	1,01	1,31	1,07	1,02	1,81	1,78	1,61
9.	Озерная	1,12	1,05	1,35	1,10	1,00	1,97	-	1,81
10.	Воднобалансовая	1,00	-	1,46	1,07	1,00	-	-	-
11.	Болотная	-	-	-	1,00	-	-	-	-
12.	Снеголавинная	1,11	-	-	-	1,10	1,49	-	-
13.	Селестоковая	-	-	-	-	-	-	-	-
14.	Морская	1,00	-	1,48	1,01	-	1,64	1,63	-
15.	Загрязнения атм. воздуха <sup>■</sup>	1,00	1,02	1,34	1,03	1,06	1,93	1,91	1,63
20.	Озонометрическая	1,00	1,00	1,43	-	1,02	2,00	2,18	1,78
21.	Атмосферного электричества <sup>■</sup>	1,00	-	-	1,00	1,00	-	-	-

■ Для остальных сетей наблюдений за загрязнением природной среды коэффициенты аналогичны.

■ Для ионосферной и геомагнитной сетей коэффициенты аналогичны.

Таблица 10

Структура затрат, включенных в себестоимость стандартных программ гидрометеорологических наблюдений в пункте, %  
(по первичной информации)

Индекс	Наименование программы наблюдений	Заработная плата			Эксплуатационные расходы	Амортизационные отчисления
		Всего	наблюдат. органа	руков. УИМ, отделы НИИ		
1.	Метеорологическая	63	50	13	25	12
2.	Авиационная метеоролог.	73	-	62	27	11
3.	Актинометрическая	73	48	25	8	19
4.	Теплобалансовая	69	20	49	14	17
5.	Аэрологическая	20	17	3	52	28
6.	Радиометеорологическая (МРЛ)	33	26	7	17	50
7.	Агрометеорологическая	54	35	19	28	18
8.	Гидрологическая (речная)	55	39	16	26	19
9.	Озерная	55	36	19	25	20
10.	Водобалансовая	96	50	46	2	2
11.	Болотная	94	70	24	3	3
12.	Снеголавинная	56	22	34	38	6
13.	Селестоковая	71	42	29	24	5
14.1.	Морская прибрежная	57	35	22	27	16
14.2.	Открытого моря	43	-	43	46	11
15.	Загрязнения атмосферного воздуха	60	39	21	9	31
16.	Радиометрического загрязнения	51	16	35	25	24
17.	Загрязнения поверхностных вод суши	49	21	28	22	29
18.	Загрязнения морских вод	53	13	40	30	17
19.	Загрязнения почвы	56	11	45	29	15
20.	Озонометрическая	80	36	44	7	13
21.	Атмосферного электричества	76	31	45	6	18
22.	Ионосферная	58	28	30	7	35
23.	Геомагнитная	65	34	31	8	27

чения - соответственно 33 и 20 %. Одновременно в себестоимости программ этих наблюдений наиболее высокая доля амортизационных отчислений основных средств (50 % - радиометеорологическая программа) и эксплуатационных расходов (52 % - аэрологическая программа).

В целом доля амортизации по программам наблюдений колеблется от 15 до 25 %, а доля эксплуатационных расходов составляет в среднем 20-30 %.

Таким образом, анализ структуры затрат включенных в себестоимость программ гидрометеорологических наблюдений показывает, что снижение себестоимости производства гидрометеорологической продукции возможно прежде всего за счет сокращения фонда заработной платы как аппарата управления, так и наблюдательных органов. Последнее осуществимо при сокращении персонала наблюдательных пунктов в результате автоматизации гидрометеорологических наблюдений.

Что касается величины себестоимости программ гидрометеорологических наблюдений второго уровня (на получение вторичной информации), то по разным УИМ она существенно различна. Это не позволяет рассчитывать среднеотраслевые затраты на получение вторичной продукции.

Такой разброс в уровне себестоимости программ объясняется неодинаковым объемом работ в разных УИМ. Вероятно, что себестоимость отдельных документов вторичной продукции будет различаться меньше, так как технология их подготовки во всех УИМ практически одинакова. Эту работу еще предстоит сделать.

Следует учесть, что приведенные в тексте численные результаты расчетов или обобщений получены на основе данных 1986 г. и в настоящее время требуется их уточнение.

Тем не менее разработанный авторами и изложенный выше метод распределения затрат УИМ "сверху" по уровням информации, программам (сетям) и пунктам наблюдений позволил впервые определить среднюю себестоимость стандартных программ гидрометеорологических наблюдений для всех сетей системы Госкомгидромета СССР.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ценовая политика в системе маркетинга. - М., 1980.
2. П а л и й В.Ф. Основы калькулирования. - М.: Финансы и статистика, 1987.
3. Г о д о в н е нормы износа по основным фондам учреждений и организаций, состоящих на государственном бюджете СССР. - М.: Союзучетиздат, 1974. - 59 с.
4. Т и п о в о й табель приборов и оборудования производства стандартных гидрометеорологических наблюдений и контроля загрязнения природной среды. - Л.: Гидрометеоздат, 1986. - 46 с.
5. П р е й с к у р а н т № I7-II. Оптовые цены на приборы гидрометеорологические, геофизические и геологоразведочные. - М.: Прейскурантиздат, 1981. - 463 с.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ СЕБЕСТОИМОСТИ И ЦЕНЫ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

До настоящего времени вопрос определения себестоимости и цены гидрометеорологической информации целенаправленно не решался. Тем не менее определение себестоимости и цены различных ее видов очень важно, особенно сейчас, в условиях происходящих экономических преобразований в стране, затрагивающих все отрасли народного хозяйства.

Постановлением СМ СССР от 23.II.88 г. определены условия перехода отраслей непроеизводственной сферы, в том числе Госкомгидромета, на новые условия хозяйствования. Этот шаг предполагает внедрение в организациях и учреждениях системы Госкомгидромета экономических методов управления. Возникает необходимость определения нормативов бюджетного финансирования отрасли, по сути являющихся ценой на продукцию Госкомгидромета. Кроме того, переход экономики СССР на рыночные отношения требует уже сейчас установления цен на выдаваемую организациями и учреждениями Госкомгидромета информацию.

Внедрение цен во взаиморасчеты с потребителями позволит в дальнейшем перейти к специализированному обеспечению отраслей народного хозяйства всеми видами гидрометеорологической продукции. Таким образом будет изменена организация информационного обслуживания потребителей, что несомненно повысит качество и эффективность самого обслуживания. При этом информация общего пользования, т.е. используемая большинством отраслей народного хозяйства, но не учитывающая их индивидуальных требований, будет как и прежде выдаваться заинтересованным потребителям бесплатно.

Надо отметить, что аналогичный подход, основанный на разделении гидрометеоинформации на "платную" и "бесплатную", используется и нашими зарубежными коллегами - они различают информацию, используемую для "общего блага" и информацию коммерческую, способствующую получению прибыли [1].

При установлении цен на информационную продукцию существует два принципиально отличных подхода.

Первый состоит в том, что цена информационного ресурса определяется экономическим эффектом, достигаемым при его использовании, второй заключается в определении стоимости получения самого информа-

ционного ресурса [1]. Очевидно, что более предпочтителен первый метод, поскольку позволяет наиболее полно оценить потребительские качества информационного продукта. Однако воспользоваться им для определения цены гидрометеорологической информации в настоящее время невозможно, поскольку нет разработанных методик оценки народнохозяйственного экономического эффекта использования различных видов гидрометеороинформации.

Второй способ позволяет достаточно просто определить цену информационной продукции через ее себестоимость и установленный для отрасли норматив рентабельности. Но это не значит, что именно по этой цене будут рассчитываться производитель и потребитель продукции. Здесь надо вспомнить о специфике любого информационного продукта, заключающейся в возможности его многократного использования. Поэтому цена реализации определяется с учетом числа потребителей на конкретный вид продукции.

В статье "Методические основы определения себестоимости программ гидрометеорологических наблюдений" (см. настоящий сборник) отмечается, что вся продукция, получаемая в организациях и учреждениях Глоскомгидромета СССР, делится на первичную (данные наблюдений) и вторичную. Сейчас мы будем говорить только о первичной информации — определении себестоимости и цены наблюдаемых гидрометеорологических величин и их характеристик.

В вышеупомянутой статье изложена методика и приведены некоторые результаты расчета себестоимости стандартных программ гидрометеорологических наблюдений в пункте для всех сетей. Зная среднеотраслевую себестоимость "программ", в принципе, несложно рассчитать себестоимость и цену всех наблюдаемых гидрометеорологических характеристик.

Каждой из сетей пунктов наблюдений соответствует свой набор величин и характеристик. Каждая величина (температура воздуха, воды, почвы, влажность воздуха, ветер, осадки, состояние сельскохозяйственных культур, расход воды, волнение, концентрация примесей, солнечная радиация и т.д.) описывается одной и более характеристикой. Например, температура воздуха — средняя, минимальная и максимальная; ветер — средняя и максимальная скорость; осадки — количество, продолжительность и интенсивность; волнение — направление, тип, высота, период, скорость, длина волны и т.д.

В качестве калькуляционной единицы первичной информации принята гидрометеорологическая характеристика в срок наблюдений в одном пункте.

При расчете себестоимости отдельных величин и характеристик учтены периодичность наблюдений, сезонный ход наблюдаемых величин, их природная повторяемость, а также техническая оснащенность конкретных

видов наблюдений. Расчет производится на основе данных и среднеотраслевой себестоимости (в части затрат на получение первичной информации) программ наблюдений по формуле

$$S_i = \tau_i \frac{C_j - A_j}{9 \sum_{j=1}^m \tau_j T_j k_1^1 k_2^2} + a_i^1, \quad (I)$$

где  $S_i$  - себестоимость  $i$ -й характеристики в срок наблюдений;  $\tau_i$  - нормативная трудоемкость  $i$ -й характеристики;  $w$  - число характеристик  $j$ -й сети;  $C_j$  - себестоимость годовой программы наблюдений  $j$ -й сети;  $A_j$  - величина амортизационных отчислений приборов и оборудования пункта наблюдений  $j$ -й сети;  $T_j$  - периодичность наблюдений  $i$ -й характеристики в сутки, месяц, год;  $9$  - коэффициент приведения периодичности наблюдений к году (равен 365; 12 или 1);  $k_1^1$  - поправочный коэффициент по  $i$ -й характеристике на число пунктов наблюдений;  $k_2^2$  - поправочный коэффициент на сезонность повторяемости  $i$ -й характеристики в году;  $a_i^1$  - величина амортизации тех приборов и оборудования, которые использованы при наблюдении за  $i$ -й характеристикой.

Для характеристик, наблюдения за которыми в соответствии с нормативными документами ведутся непрерывно, принятая дискретность наблюдений составляет 20 мин, т.е. число сроков в сутки равно 72 [2].

Для величин, регистрируемых самописцем, периодичность в сутки принимается равной 24 (ежечасно), а для плувиографа - 144 (10-минутные интервалы).

Учитывая, что приборы и оборудование пунктов наблюдений используются не для всех наблюдаемых характеристик, а также то, что стоимость различных приборов неодинакова, для расчета себестоимости характеристик в формуле (I) амортизация приборов и оборудования пункта наблюдений вычитается из себестоимости годовой программы наблюдений.

На каждую наблюдаемую характеристику относится амортизация тех приборов, которые используются при ее наблюдении [3]. Если какой-либо прибор привлекается для определения нескольких характеристик, то величина амортизационных отчислений этого прибора распределяется по характеристикам пропорционально времени и периодичности их наблюдений [4, 5]. Амортизация остальных основных средств распределяется по характеристикам совместно с другими составляющими затрат.

Расчет амортизации приборов и оборудования, приходящейся на  $i$ -ю характеристику ( $a_i$ ), производится по формуле

$$a_i = \sum_{l=1}^m r_l^i m_l \delta_l k_l, \quad (2)$$

где  $a_i^1$  - стоимость или часть стоимости прибора  $l$ , используемого при наблюдении  $i$ -й характеристики;  $m_l$  - число приборов  $l$ -го типа, используемых (находящихся в пункте наблюдений) при наблюдениях;  $\delta_l$  - амортизационные отчисления этого прибора;  $k_l$  - коэффициент, учитывающий наличие взаимозаменяемых приборов  $l$ -го типа.

Для приборов химических лабораторий амортизационные отчисления рассчитываются по формуле

$$a_i = \frac{n_j^{наб}}{n_j} \sum_{l=1}^m n_l^i m_l \delta_l k_l, \quad (3)$$

где  $n_j^{наб}$  - число химических лабораторий  $j$ -й сети;  $n_j$  - число пунктов (постов) наблюдений  $j$ -й сети.

Величина амортизационных отчислений приборов и оборудования пункта наблюдений  $j$ -й сети на один срок наблюдений определяется по формуле

$$a_i^1 = \frac{a_i}{q T_i k_i^2}. \quad (4)$$

Периодичность наблюдений может даваться для суток, декады, месяца, года - это зависит от технологии производства наблюдений  $j$ -й сети. Если на сети УГМ одна и та же характеристика наблюдается с различной периодичностью в разных пунктах, то подсчитывается средняя по УГМ периодичность.

Поправочный коэффициент на число пунктов наблюдений рассчитывается как отношение числа пунктов, на которых ведутся (или должны вестись) наблюдения за данной характеристикой к общему числу пунктов наблюдений  $j$ -й сети. Например, температура воздуха определяется на всех пунктах метеонаблюдений, следовательно,  $k_i^1 = 1$ ; высота волн определяется на 12 из 14 пунктах морских прибрежных гидрометеорологических наблюдений -  $k_i^1 = 0,86$ .

Поправочный коэффициент на природную повторяемость, рассчитываемый как отношение числа дней с этой характеристикой за год к общему числу дней в году, не зависит от периодичности наблюдений за этой характеристикой. Например, величина давления (любая) есть каждый день, поэтому  $k_i^2 = 1$ . А вот туман в среднем по УГМ отмечается 50 дней в году:  $k_i^2 = 50 : 365 = 0,14$ , хотя наблюдения за ним, согласно наставлению, ведутся непрерывно.

Трудоёмкость каждой характеристики определяется в соответствии с нормативами на производство и обработку наблюдений. В отдельных случаях используются экспертные оценки.

В табл. I приводятся результаты расчета себестоимости некоторых метеорологических характеристик.

Таблица I

Пример расчета себестоимости отдельных метеорологических характеристик

Гидрометеорологические величины и их характеристики	Число наблюдений в сутки ( $T_1$ )	Трудоемкость одного срока ( $T_2$ ), мин	Исправочные коэффициенты на		Амортизационные расходы за год, р.	Себестоимость ( $S_1$ ) одного срока наблюдения, р.
			число пунктов наблюдений ( $K_1$ )	сезонность повторяемости ( $K_2$ )		
I. Метеорологическая						
I.1. Температура воздуха срочная	8	1,6	1,00	1,00	28	0,16
I.2. Минимальная температура	8	1,7	1,00	1,00	21	0,17
I.3. Температура воздуха по самописцу	24	1,5	1,00	1,00	13	0,15
I.4. Продолжительность атмосферных осадков	72	0,6	1,00	0,18	-	0,06
I.5. Интенсивность жидких осадков	144	1,4	0,15	0,09	37	0,14
I.6. Высота снежного покрова на маршруте	0,1	25,3	0,80	0,50	6	2,67
I.7. Количество облаков	8	0,6	1,00	0,85	-	0,06
I.8. Высота нижней границы облаков	8	1,9	1,00	0,40	310	0,45
I.9. Вид атмосферного явления	72	0,6	1,00	0,25	-	0,06
I.10. Продолжительность обледенения проводов	16	2,6	0,90	0,04	4	0,26

Цена первичной продукции определяется величиной ее себестоимости и прибылью, позволяющей создавать фонды экономического стимулирования организаций Госкомгидромета СССР.

Норматив рентабельности для системы Госкомгидромета СССР составляет 30 % (соответственно коэффициент рентабельности 0,3).

Дифференциация цен на гидрометеорологическую информацию в зависимости от уровня региональных затрат на ее получение достигается применением к ценам районных коэффициентов (они изменяются от 1,0 до 2,6).

Цена реализации определяется с учетом числа потребителей.

Таким образом, разработанная ГГО им. А.И.Воейкова методика определения себестоимости и цены первичной гидрометеорологической информации позволила впервые рассчитать цены на все виды этой информации. На базе полученных расчетов разработан "Прейскурант цен на первичную гидрометеорологическую информацию".

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ж е р е б и н В.М., В е р ш и н с к а я С.М. Информационное хозяйство как объект исследования. - Экономика и математические методы, 1988, № 5, с. 864-872.
2. И н с т р у к ц и я гидрометстанциям по информации об опасных гидрометеорологических явлениях. - М.: Гидрометеоиздат, 1984. - 23 с.
3. Т и п о в о й табель приборов и оборудования для производства стандартных гидрометеорологических наблюдений и контроля загрязнения природной среды. - Л.: Гидрометеоиздат, 1986. - 46 с.
4. Г о д о в н е нормы износа по основным фондам учреждений и организаций, состоящих на Государственном бюджете СССР. - М.: Совзучетиздат, 1974. - 59 с.
5. П р е й с к у р а н т № I7-II. Оптовые цены на приборы гидрометеорологические, геофизические и геологоразведочные. - М.: Прейскурантиздат, 1981. - 463 с.
6. Е м е л ь я н о в а Г.Ю., К о н д р а т ь к В.И. Методические основы определения себестоимости программ гидрометеорологических наблюдений. - См. наст. об.

КРИТЕРИИ ДОСТОВЕРНОСТИ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ  
ИНФОРМАЦИИ

Возможность выявления ошибочных данных при пространственном критическом контроле режимной метеорологической информации [1] на основе анализа расхождений (невязок) между фактическими и интерполированными значениями метеорологических величин в значительной мере зависит от правильности выбора критериев достоверности.

Установлено, что для каждой метеорологической характеристики существует определенный уровень значений невязок пространственной интерполяции, соответствующий достоверной информации, т.е. информации, пригодной для дальнейшего использования. Этот уровень принято называть предельно допустимой невязкой. Допустимое значение невязки можно оценить эмпирическим путем на основе интерполяции в пространстве результатов наблюдений за предшествующие годы. Такие оценки для задачи контроля метеорологической информации были выполнены впервые при подготовке руководства [2] на основании интерполяции на середину отрезка или середину треугольника для большого количества групп станций, выбранных в различных частях Советского Союза.

Интерполяция осуществлялась для проконтролированных данных, чтобы установить, какие значения невязок соответствуют информации, не содержащей ошибок.

Для всех выбранных групп станций по каждой метеорологической величине вычислялись значения средних квадратических невязок интерполяции  $\sigma$ , а также их распределение по градациям. Было установлено, что статистическое распределение невязок интерполяции метеорологических величин для достоверной (т.е. проконтролированной и исправленной в соответствии с результатами контроля) информации близко к нормальному закону. В соответствии с этим законом вероятность того, что значения невязок интерполяции достоверных (правильных) данных будут находиться в пределах средней квадратической невязки  $\sigma$ , составляет 68%. В пределах  $2\sigma$  - 95%, а в пределах  $3\sigma$  - 99,7% всех значений невязок.

Исходя из задачи выявления недостоверной информации в результатах метеорологических наблюдений, в качестве предельно допустимых невязок были приняты значения невязок, равные  $2\sigma$ , так как в

этом случае вероятность превышения предельно допустимой невязки правильными данными составляет не более 5%. Соответственно невязка, превысившая предельно допустимое значение, может свидетельствовать об ошибочности контролируемого значения с вероятностью 95%.

Известно, что любой статистический критерий вполне обоснованным будет только в том случае, если исходная выборка, на основании которой он рассчитывался, не очень мала по объему и неслучайные различия по возможности устранены (или их наличие установлено, а затем учтено их влияние на результат расчетов).

Значения предельно допустимых невязок, рекомендованные для использования при критическом просмотре в качестве допустимого расхождения с данными соседних станций [2], были получены по большому числу групп станций, лет и разных сезонов, т.е. для большой представительной в статистическом отношении выборки исходных данных. По этой причине значения допустимых расхождений, применявшиеся при ручном контроле, были рекомендованы для использования в качестве критериев достоверности и при контроле режимной информации на ЭВМ.

Однако, учитывая, что в программах контроля информации на ЭВМ осуществляется интерполяция по большому числу окружающих станций, в дальнейшем была сделана проверка критериев достоверности применительно к интерполяции по группе станций, включающей 5-6 "влияющих" [3] для основных метеорологических величин и для дополнительных характеристик [4], используемых с целью повышения эффективности контроля.

Для основных метеорологических величин проверка осуществлялась для 20 групп станций, подобранных по принципу одинаковых физико-географических условий, расположенных на ЕТС и в Западной Сибири, на материалах наблюдений в один из месяцев каждого сезона за период 5 лет.

Проверка показала, что большинство допустимых расхождений, применявшихся при ручном контроле, могут использовать и при автоматизированном контроле. Отдельные критерии, например по количеству облачности, были изменены, так как они оказались завышенными для нижней облачности и летом, и зимой, а также для общей - летом.

Таким образом, критерии достоверности, приведенные в табл. I.5.1 [1], можно считать вполне обоснованными. По этим же причинам к использованию в качестве критериев достоверности значений средних квадратических невязок интерполяции (сигм), рассчитываемых в процессе контроля, следует подходить с большой осторожностью.

Указанные оценки "сигм" ни в коей мере не являются предельно допустимыми значениями невязок по целому ряду обстоятельств: малость выборки, наличие систематических различий исходных данных, так как

исходная для расчета "сигм" выборка содержит одновременно невязки, вычисленные по значениям метеорологических величин и по их отклонениям от нормы. Наконец, выборка, по которой рассчитывается "сигма", наряду с правильными содержит и ошибочные данные, что недопустимо, когда рассчитываются критерии достоверности. По этим причинам их можно использовать только в качестве ориентировочных.

Выборки метеорологических величин, в том числе и достаточно большого объема, плохо характеризуют явление в целом, в связи с чем даже критерии достоверности, приведенные в работе [1], не обеспечивают абсолютного распознавания ошибочной информации.

Эмпирические оценки возможных значений невязок интерполяции, используемые в качестве критериев достоверности, отражают только общие закономерности пространственной изменчивости метеорологических величин. При их применении к результатам контроля за конкретный месяц и для физико-географических условий, отличающихся от тех, по данным которых они были получены, распознать недостоверную информацию с абсолютной уверенностью удается не всегда. Более того, в сходных физико-географических условиях величины предельно допустимых невязок, при которых контролируемые значения могут еще считаться достоверными, в сильной степени зависят от густоты сети станций.

Все перечисленное выше затрудняет обнаружение ошибочных данных на основании анализа невязок интерполяции, так как одному и тому же значению невязки в разных физико-географических условиях и при существенно различной густоте сети станций могут в равной мере соответствовать и достоверные, и недостоверные результаты наблюдений.

Таким образом, использование единого фиксированного критерия в разных регионах и в различные сезоны делает процедуру контроля либо избыточной, когда эти критерии для рассматриваемых условий малы, либо недостаточной, когда они велики. В последнем случае происходит проникновение больших по величине ошибок в значения наблюдаемых величин, что противоречит требованиям к точности информации. Приведенные в табл. 1.5.1 [1] критерии достаточно надежно позволяют распознавать ошибочные значения величин только при контроле информации станций, расположенных в условиях внутриматериковых равнин. Однако и в этом случае их использование более эффективно при контроле информации репрезентативных станций.

Для станций, расположенных в особых микроклиматических условиях, использование критериев не гарантирует уверенного распознавания ошибочных данных; не случайно на долю таких станций приходится большее количество данных, выданных "на сомнение" и не подтвержденных при последующем дополнительном анализе.

Использование указанных критериев помогает, в первую очередь, определить, какую информацию следует подвергнуть более тщательному анализу, чем это позволяет сделать стандартный алгоритм контроля.

Таким образом, поскольку величина предельно допустимых невязок определяется, в первую очередь, естественной изменчивостью метеорологических величин, приведенные в работах [1-4] критерии верны только в среднем, и применение их в оперативной практике требует некоторых произвольных допущений из-за наблюдающихся различий местных особенностей расположения станций и различий складывающихся погодных условий. Использование их в условиях, отличных от тех, для которых они были получены, приводит к известному произволу при решении вопроса о достоверности данных. Несмотря на то что в процессе контроля расчет невязок выполняется ЭВМ однозначно, полученные результаты (невязки) могут по-разному трактоваться в зависимости от правильности выбора критерия достоверности и хорошего знания специалистом физико-географических особенностей региона и метеорологического режима отдельных станций. Так, например, невязка температуры воздуха, равная  $0,6^{\circ}\text{C}$ , в условиях Белгидромета является показателем наличия большой погрешности результата, в то время как для условий Якутии она в равной степени может быть следствием недостаточности густоты сети.

Исходя из сказанного выше, во всех УГМ, где есть станции, для которых доля данных, выданных на "сомнение", но не подтвердившихся при дальнейшем анализе, достаточно велика, необходимо уточнить соответствующие критерии достоверности.

Не случайно эффективность контроля выше в тех УГМ, где ориентировочные критерии своевременно уточняются применительно к особенностям региона.

Уточнение критериев достоверности целесообразно осуществлять на основании накопленных за возможно больший период оценок о невязках и "сигмах" невязок. При этом, если территория УГМ характеризуется достаточно однородным метеорологическим режимом, можно ограничиться простым усреднением "сигм" за некоторый период. Если же территория УГМ по метеорологическому режиму резко разделяется на несколько частей, необходимо предварительно проанализировать имеющуюся выборку невязок в отношении наличия систематических различий, вызванных указанной неоднородностью.

Если такие систематические различия значений невязок в выборке будут установлены, расчет средней квадратической невязки должен осуществляться не по всей выборке (не для всей территории УГМ), а отдельно для каждой ее части.

При использовании критериев достоверности дополнительных характеристик, приведенных в табл. 1.5.3 [I], следует иметь в виду, что они рассчитывались по выборке исходных данных, хотя и достаточной по объему, но заведомо не удовлетворяющей второму условию. Различия систематического характера, обусловленные местоположением станций, из исходной выборки не исключались, так как дополнительные характеристики, включенные в табл.2 результатов контроля [I], контролируются без учета норм.

При уточнении приведенных в табл. 1.5.3 [I] критериев достоверности необходимо иметь в виду следующее соображение: влияние микроклиматических особенностей на величину невязок обычно сказывается из месяца в месяц в течение года или, по крайней мере, в течение определенного сезона. Так, влияние различий форм рельефа на контролируемой и влияющих станциях наиболее резко сказывается на величине минимальной температуры, влияние крупных водоемов - на величине невязок среднего максимума и среднего минимума.

Особенно велико влияние на значения невязок крупных городов. Известно, что изменение радиационного баланса, дополнительное поступление тепла в атмосферу и малый расход тепла на испарение обуславливают более высокие температуры воздуха в городе по сравнению с окрестностями. Зимой эта разница меньше, чем летом.

Использовать приведенные в табл. 1.5.3 [I] критерии достоверности без их уточнения применительно к особенностям местоположения конкретных станций нельзя, так как они достаточно надежно позволяют выявлять недостоверную информацию только в результатах наблюдений равнинных станций, в первую очередь не относящихся к числу нерепрезентативных.

Применяя указанные критерии для контроля информации станций, резко отличающихся по своим условиям от окружающих, необходимо учитывать меру их нерепрезентативности по отношению к пространственному полю контролируемой величины и соответственно ей увеличивать или уменьшать критерии достоверности. В противном случае можно необоснованно отбраковать информацию о наиболее резких естественных аномалиях метеорологических величин, особенно ценную для дальнейшего использования.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. М е т о д и ч е с к и е указания по проведению критического контроля результатов метеорологических наблюдений на сети станций. - Л.: Гидрометеиздат, 1981. - 70 с.
2. Р у к о в о д с т в о по первичной обработке материалов метеорологических наблюдений. - Л.: Гидрометеиздат, 1957, - 300 с.
3. С в е т л о в а Т.П. Критерии достоверности при контроле на ЭВМ режимной метеорологической информации. - Труды ГГО, 1974, вып. 340, с.30-34.
4. К о п ы ч е в а В.С., С в е т л о в а Т.П. Критерии достоверности при контроле на ЭВМ дополнительных характеристик метеорологических элементов. - Труды ГГО, 1975, вып. 345. с.46-52.

## КОНТРОЛЬ ВЕТРА КАК ВЕКТОРНОГО ВЕРОЯТНОСТНОГО ПРОЦЕССА

Контроль наблюдений за ветром в действующей программе пространственного контроля осуществляется отдельно для каждой из его характеристик скорости и направления в соответствии с методикой, изложенной в работе [1].

Между тем, рассматривая ветер как поступательное перемещение воздушных масс, целесообразно принять, что ветер это вектор, существующий в реальном физическом пространстве, и характеризовать его модулем и направлением.

Известно, что перемещение масс воздуха в пространстве - явление многофакторное и разномасштабное. Из-за большой изменчивости и турбулентности этих движений представляется более обоснованным рассматривать их как случайные функции, и анализ изменений ветрового потока в пространстве осуществлять не отдельно для направления и скорости, а рассматривая ветер как векторный вероятностный процесс  $\vec{V}(t)$ .

В работе [2] было предложено для определения возможных значений такого векторного процесса воспользоваться математическим объектом более общего, чем вектор, строения, а именно тензором, представляющим собой модель векторов и отношений между ними. Подход к анализу результатов наблюдений за ветром через вектор перемещения физически более обоснован. Кроме того, использование тензорного исчисления позволяет получить более содержательную информацию о свойствах анализируемого векторного процесса, соответствующего тензору  $D_{\vec{V}}$ .

В качестве основных вероятностных характеристик векторного случайного процесса  $\vec{V}(t)$ , относящихся к определенному промежутку времени (в рассматриваемом случае - месяц), можно использовать следующие характеристики:  $\overline{\vec{V}}$  - математическое ожидание двумерного векторного процесса  $\vec{V}(t)$ .

Процесс можно считать двумерным из-за сравнительной малости вертикальной составляющей.

В стационарном приближении математическое ожидание следует рассматривать как вектор, характеризующий среднюю скорость перемещения масс воздуха в конкретной точке (на рассматриваемой станции).

Интенсивность направленных изменений скорости воздушного потока и их ориентацию в заданной системе координат можно характеризовать

дисперсией  $D_{\vec{v}}$ , рассчитывая ее как симметричный тензор

$$D_{\vec{v}}(t) = \begin{pmatrix} D_{v_1 v_1} & D_{v_1 v_2} \\ D_{v_2 v_1} & D_{v_2 v_2} \end{pmatrix}. \quad (1)$$

Таким образом, можно рассчитать вероятность того, что случайный вектор примет то или иное значение, вычислить математическое ожидание совокупности векторов и дать полную характеристику разброса, т.е. дисперсию векторов в заданной совокупности.

Для удобства интерпретации геометрического представления дисперсии процесса  $\vec{V}(t)$  в заданном направлении  $\varphi$  через его инварианты  $I_1$  и  $I_2$ , т.е. через функции, не зависящие от выбора системы координат, тензор  $D_{\vec{v}}$  можно выразить формулой

$$D_{\vec{v}}(\varphi) = I_1^{(D)} \cos^2 \varphi + I_2^{(D)} \sin^2 \varphi. \quad (2)$$

Здесь  $I_1$  и  $I_2$  — инварианты, являющиеся экстремальными значениями дисперсий проекции  $\vec{V}(t)$  на полярные оои.

Свойства процесса  $\vec{V}(t)$  наиболее полно раскрываются через совокупность инвариантных скалярных величин  $I_1$  и  $I_2$ , поэтому для изучения отдельных свойств структуры векторного процесса принято конструировать из исходных инвариантов  $I_1$ ,  $I_2$  их комбинации.

При решении задачи контроля наблюдений за ветровым потоком для сопоставления между собой дисперсий анализируемых процессов использовались инварианты, вычисляемые с помощью алгебраических действий над величинами  $I_1$  и  $I_2$ :

$$\begin{aligned} \mathcal{I}_1 &= I_1 + I_2; & \mathcal{I}_2 &= I_1 - I_2; \\ \chi &= I_2 / I_1. \end{aligned} \quad (3)$$

Здесь инвариант  $\mathcal{I}_1$  является количественной характеристикой общей изменчивости векторного процесса независимо от того, меняется ли модуль или направление векторов  $\vec{V}(t)$ . Инвариант  $\mathcal{I}_2$  в рассматриваемом случае является индикатором формы тензорной кривой. Если  $\mathcal{I}_2 > 0$ , то кривая есть эллипс (в частном случае — окружность).

Инварианты  $I_1$  и  $I_2$  могут также интерпретироваться как большая и малая оси центральной (тензорной) кривой. Ориентация большой оси  $I_1$  относительно исходной координатной системы определяется углом  $\alpha$ , который характеризует лишь ориентацию интенсивности изменчивости, а не корреляционные свойства изменчивости ветрового потока.

Величина  $\chi$ , представляющая собой отношение главных осей тензорной кривой, уточняет степень вытянутости в направлении  $\alpha$  эллипса, соответствующего симметричной части тензора  $D_{\vec{v}}$  для случая, когда

$V_1$  - проекция вектора на меридиан, а  $V_2$  - проекция на параллель. Степень вытянутости эллипса может меняться от нуля до единицы и определяет преобладание изменчивости в направлении  $\alpha^D$ , при  $\alpha = 1$  изменения во всех направлениях равновероятны.

Рассчитывался также аналог коэффициента устойчивости по формуле

$$J = \frac{|\sqrt{J_1}|}{|\vec{\pi}_T|}. \quad (4)$$

Коэффициент устойчивости  $J$  указывает на соотношение постоянной и переменной составляющих воздушного потока. Чем меньше  $J$ , тем устойчивее поток.

Наблюдения за ветром в существующей подсистеме наблюдений проводятся в фиксированных точках (на станциях), а результаты наблюдений за ним имеют вид синхронно получаемых рядов наблюдений в виде роз повторяемости ветров различных направлений. Усреднение наблюдаемых в срок значений характеристик ветра во времени способствует выявлению характерных тенденций в изменении процесса, т.е. закона распределения вероятностей векторов скорости ветра.

Данные измерений скорости воздушного потока в любой точке (станции) территории можно рассматривать как реализацию нестационарного неоднородного векторного процесса  $\vec{V}(t)$ , полученные при определенном комплексе условий (высота места над уровнем моря, условия защищенности и т.д.).

Чтобы проиллюстрировать возможность использования вероятностного анализа для задач контроля поля приземного ветра, воспользуемся программой, приведенной в работе [3], и рассмотрим на конкретных примерах свойства анализируемых векторных процессов.

Программа [3] позволяет по имеющимся таблицам двумерных плотностей (розам) вектора ветра  $\vec{V}(z)$  рассчитать перечисленные выше значения и некоторые скомбинированные из них характеристики соответствующих выборочных совокупностей, по которым получена каждая исходная роза (таблица распределений).

Чтобы выяснить, насколько выбранный математический метод отражает свойства реального объекта (в рассматриваемой нами задаче таким объектом является режим ветра на некоторой территории), были рассчитаны основные вероятностные характеристики векторного случайного процесса для 46 станций Северо-Кавказского УГМ в мае 1986 г.

Как показало сопоставление рассчитанных значений вектора ветра и преобладающего направления ветра, вычисленного по методике [1], использованный метод позволяет достаточно правильно охарактеризовать ветровой режим различных станций. В 87% случаев указанные расхождения не превышали 1 румба.

В табл. 1 и 2 приведены характеристики ветрового потока по средним месячным значениям повторяемостей ветров различных направлений для отдельных станций. Нетрудно заметить, что все они меняются во времени и пространстве, при этом абсолютная величина инварианта  $J_1$ , являющаяся количественной характеристикой общей изменчивости векторного процесса (режима ветра), показывает, что интенсивность изменений воздушного потока на территории Северо-Кавказского УИМ колеблется в широких пределах. Поле инварианта  $J_1$  дает основание говорить только об одной физически обоснованной закономерности, а именно, что интенсивность изменчивости ветрового потока больше на горных станциях (см. например, ст. Бермамыт и Архыз), чем на равнинных (Эльтон, Горный Балыклей).

Величина  $\sqrt{X}$  для разных станций различна. Вместе с тем, если для равнинных станций Эльтон и Верхний Баскунчак (см. табл. 2) изменчивость ветрового потока в различных направлениях примерно одинакова в течение года, то для горных станций Бермамыт и, особенно, Архыз картина резко отлична - изменчивость процесса в меридиональном нап-

Таблица 1

Вероятностные характеристики вектора ветра на станциях, находящихся в сходных и различных условиях (май 1986 г.)

Станция	$\overline{m\overline{v}}$ м/с	$\sigma \dots^\circ$	$\sqrt{E_1}$ м/с	$\sqrt{E_2}$ м/с	$\alpha \dots^\circ$	$J_1$ м <sup>2</sup> /с <sup>2</sup>	$\sqrt{X}$	J
Сходные условия								
Горный Балыклей	1,3	4	5	3	70	35	0,6	4
Эльтон	0,8	356	6	3	76	40	0,5	8
Волгоград СХИ	1,4	325	4	4	68	33	0,8	4
Костычевка	1,1	12	4	3	356	24	0,8	4
Даниловка	1,1	38	4	4	75	32	0,9	5
Палласовка	0,9	12	5	3	88	38	0,7	7
Камышин, АМСТ	2,0	344	7	3	57	39	0,5	4
Камышин, озерн.	2,2	353	7	4	38	60	0,6	4
Различные условия								
Бермамыт	2,7	42	8	3	61	69	0,4	3
Архыз	0,3	107	7	2	68	57	0,2	22

равлении существенно больше для всех месяцев года. Для станций Архыз эта величина с января по август 1986 г. составила 0,2 и только для сентября-декабря оказалась равной 0,3.





Как показал анализ соотношений постоянной и переменной части потока ( $J$ ), на всех станциях преобладает переменная его часть.

Анализируя данные табл. I, где представлены вероятностные характеристики ветрового потока для двух групп станций, находящихся в сходных и различных условиях закрытости горизонта, нетрудно заметить, что для станций, находящихся в сходных условиях, почти все характеристики близки между собой. В то же время для станций Бермамыт и Архыз, хотя и близко расположенных, но с различной закрытостью горизонта, резко различаются величины  $\overline{M}_T$  и  $\mathcal{G}$ , а также  $J$ . Интенсивность же изменчивости потока  $\mathcal{I}$ , как и изменчивость потока в различных направлениях ( $\sqrt{\chi^2}$ ), примерно одинаковы, и для каждой из этих станций последняя больше в направлении продольной составляющей  $\alpha^2$ .

Большое значение коэффициента устойчивости на станции Архыз вызвано тем, что она расположена в долине, а роза ветров на ней представляет двухвершинную кривую, имеющую два максимума повторяемости направлений ветра.

Чтобы определить чувствительность рассчитываемых характеристик к ошибкам в исходных данных наблюдений, были проделаны некоторые опыты по искусственному искажению исходных роз ветра. Поскольку основным источником погрешностей при ветровых измерениях является неправильная ориентировка используемых приборов, исходные розы для станций Эльтон, Верхний Баскунчак, Архыз и Бермамыт сдвигались поочередно на 0,5; 1,0 и 1,5 румба, что соответствует погрешности установки прибора в 22,5; 45 и 67,5 градусов.

Сопоставление вероятностных характеристик ветрового потока, полученных для правильных и искаженных роз ветра (табл. 3), показывает, что величина изменения  $\mathcal{G}$  и  $\alpha$  строго соответствует размеру внешнего искажения, в то время как остальные характеристики остаются неизменными. Это означает, что неправильная ориентировка флюгера вызывает нарушение общего направления потока и направление изменчивости потока, однако не оказывает влияния на характеристики физических свойств потока, а именно, его интенсивность и соотношение постоянной и переменной части потока.

Указанное обстоятельство позволяет сделать вывод о возможности использования характеристик вероятностного анализа в алгоритмах контроля наблюдений за ветром. Подтверждением такой возможности являются и данные табл. 4, где сопоставляются данные для контролируемых станций Эльтон, Бермамыт и Архыз и их окружающих.

Таким образом, для описания ветрового режима станций метеорологической сети наблюдений при пространственном контроле режимной информации можно использовать векторно-алгебраический метод. Применение

Вероятностные характеристики направления ветра при нарушении ориентировки прибора на 22,5; 45; 67,5 (май 1986 г.)

Станция	Сдвиг влево						Сдвиг вправо										
	Величина на иска- жения, ДУМО.	$\overline{m\overline{v}}$ м/с	$\sigma_{\overline{v}}$ м/с	$\sqrt{V_4}$ м/с	$\sqrt{V_2}$ м/с	$\alpha_{...}$ град	$\beta_1$ град	$\sqrt{V_2}$ м/с	$\overline{m\overline{v}}$ м/с	$\sigma_{\overline{v}}$ град	$\sqrt{V_1}$ м/с	$\sqrt{V_2}$ м/с	$\alpha_{...}$ град	$\beta_1$ град	$\sqrt{V_2}$ м/с	$\beta_2$ град	
Эльбтон	0,8	356	6	3	76	41	0,5	8	0,8	356	6	3	76	41	0,5	8	
	0,5	0,8	19	6	3	99	41	0,5	8	334	6	3	54	41	0,5	8	
	1,0	0,8	41	6	3	121	41	0,5	8	311	6	3	31	41	0,5	8	
	1,5	0,8	64	6	3	144	41	0,5	8	289	6	3	9	41	0,5	8	
Верхний		0,3	308	5	2	64	32	0,5	16	0,3	308	5	2	64	32	0,5	13
Баскунчак	0,5	0,3	330	5	2	86	32	0,5	16	0,4	285	5	2	42	32	0,5	13
	1,0	0,3	353	5	2	109	32	0,5	16	0,4	262	5	2	20	32	0,5	13
	1,5	0,3	15	5	2	131	32	0,5	16	0,4	240	5	2	357	32	0,5	13
Архан		0,3	107	7	2	68	58	0,2	22	0,3	107	7	2	68	58	0,2	22
	0,5	0,3	190	7	2	91	58	0,2	22	0,3	84	7	2	46	58	0,2	22
	1,0	0,3	190	7	2	114	58	0,2	22	0,3	62	7	2	24	58	0,2	22
	1,5	0,3	175	7	2	136	58	0,2	22	0,3	40	7	2	1	58	0,2	22

Окончание табл.3

Станция	Средн. направо						Средн. влево									
	$\bar{m}_y$ M/C	$\varphi_{...}$	$\sqrt{V_1}$ M/C	$\sqrt{V_2}$ M/C	$\alpha_{...}$	$J_1$ M/C <sup>2</sup>	$\sqrt{X}$	$J$	$\bar{m}_y$ M/C	$\varphi_{...}$	$\sqrt{V_1}$ M/C	$\sqrt{V_2}$ M/C	$\alpha_{...}$	$J_1$ M/C <sup>2</sup>	$\sqrt{Z}$	$J$
Бармамет	2,7	42	8	3	61	69	0,4	3	2,7	42	8	3	61	69	0,4	3
	0,5	2,7	64	8	3	83	0,4	3	2,7	19	8	3	38	69	0,4	3
	1,0	2,7	86	8	3	106	0,4	3	2,7	356	8	3	16	69	0,4	3
	1,5	2,7	109	8	3	128	0,4	3	2,7	335	8	3	353	69	0,4	3

этого метода к анализу данных о ветре имеет определенные преимущества перед используемым в настоящее время методом контроля отдельных скалярных характеристик ветра, так как он позволяет более точно охарактеризовать свойства такого векторного процесса, как ветер.

Таблица 4

Вероятностные характеристики направления ветра, полученные по данным па контролируемой станции (числитель) и окружающих станциях (знаменатель), май 1986 г.

Станция	$\vec{m}_T$ м/с	$\varphi...^\circ$	$\sqrt{I_1}$ м/с	$\sqrt{I_2}$ м/с	$\alpha...^\circ$	$\gamma$ м <sup>2</sup> /с <sup>2</sup>	$\sqrt{\chi^2}$	J
Эльтон	0,8/0,8	356/15	6/5	3/3	76/69	40/26	0,5/0,6	8/7
Бермамыт	2,7/0,1	42/188	8/4	3/2	61/33	69/19	0,4/0,6	3/52
Архыз	0,3/0,8	107/21	7/3	2/3	68/15	58/20	0,2/0,9	22/5

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. М е т о д и ч е с к и е указания по проведению критического контроля результатов метеорологических наблюдений на сети станций. - Л.: Гидрометеоздат, 1981. - 70 с.
2. Б е л и ш е в А.П., К л е в а н ц о в Ю.П., Р о ж к о в В.А. Вероятностный анализ морских течений. - Л.: Гидрометеоздат, 1983. - 263 с.
3. М е т о д и ч е с к о е письмо по вероятностному анализу векторных временных рядов скоростей течения и ветра. - Л.: Гидрометеоздат, 1984. - 62 с.

Е.Г. Лапина, Г.П. Соколова, Е.Е. Федорович

СОПОСТАВЛЕНИЕ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ПРИЗЕМНЫХ ПОТОКОВ ТЕПЛА  
ВЛАГИ И КОЛИЧЕСТВА ДВИЖЕНИЯ ПО ДАННЫМ СТАНДАРТНЫХ  
МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

В настоящее время расчет приземных потоков тепла, влаги и количества движения, необходимых для оценки параметров взаимодействия атмосферы с подстилающей поверхностью выполняется на основе специальных многосуровенных метеорологических наблюдений, иногда еще называемых градиентными. Эти наблюдения весьма трудоемки и постановка их на обширной сети станций крайне затруднительна. В СССР только около 70 метеорологических станций параллельно со стандартной программой наблюдений выполняют градиентные измерения. В большинстве же стран мира регулярные градиентные наблюдения вообще не выполняются и расчет турбулентного режима приземного слоя атмосферы по территориям этих стран осуществляется с помощью разнообразных косвенных методов, имеющих, как правило, низкую надежность.

В то же время современные процедуры инициализации численных моделей атмосферных процессов различного масштаба, в первую очередь мезомасштабных и региональных моделей, предъявляют повышенные требования к точности задания начальных значений приземных метеорологических полей по данным стандартных наблюдений. При характерных значениях первого шага по вертикали в этих моделях порядка нескольких метров алгоритмы усвоения данных сети станций должны обеспечивать возможность восстановления в этом слое вертикальных профилей метеорологических величин и получения приземных потоков, основными из которых являются турбулентные потоки тепла, влаги, количества движения, поток тепла в почву и составляющие радиационного баланса земной поверхности. Аналогичные проблемы возникают и при разработке модельных схем параметризации турбулентного обмена в приземном слое атмосферы с учетом широкого диапазона вариаций потоков в суточном ходе и невозможности размещения большого числа расчетных уровней модели в нижних слоях атмосферы. Создание надежных схем восстановления приземных потоков и профилей по данным стандартных наблюдений может оказаться полезным и для решения задач климатологии теплового баланса с точки зрения повышения временного и пространственного разрешения восстанавливаемых пространственных распределений составляющих теплового баланса.

Помимо градиентных наблюдений, вычисление потоков по которым требует использования специальных процедур, вносящих неопределенность в результаты расчетов потоков, исследователи разных стран в последние годы все чаще применяют методы прямого измерения турбулентных потоков с помощью пульсационной аппаратуры. Большинство таких измерений требует специальных наблюдательных программ и вряд ли получит широкое распространение в ближайшие годы. Подчас результаты прямых измерений плохо согласуются с результатами обработки градиентных измерений (в первую очередь это относится к потоку влаги). Однако сравнение прямых измерений потоков с потоками, полученными другими способами, может оказаться полезным как для совершенствования методологии прямых измерений, так и для обозначения границ применимости теорий подобия, лежащих в основе большинства процедур обработки данных градиентных измерений.

Градиентные измерения могут быть достаточно разнообразны по своему составу. В простейшей конфигурации (именно такая используется на сети советских станций) они включают двухуровневые ( $z_1 = 0,5$  м,  $z_2 = 2,0$  м) измерения скорости ветра, температуры и влажности воздуха, температуры поверхности почвы и температуры на 3-4 уровнях внутри почвенного слоя в пределах нескольких десятков сантиметров [6]. Эти наблюдения дополняются измерениями составляющих радиационного баланса по стандартной программе актинометрических станций. Градиентные измерения, выполненные в экспедициях и на специальных станциях, могут включать больше число уровней измерений как в атмосфере, так и в почве.

Составляющие теплового баланса подстилающей поверхности связаны между собой известным уравнением теплового баланса

$$R = B + P + LE, \quad (1)$$

где  $R$  - радиационный баланс поверхности,  $B$  - поток тепла в почву,  $P$  - атмосферный турбулентный поток явного тепла,  $LE$  - атмосферный турбулентный поток скрытого тепла или затраты тепла на испарение ( $L$  - скрытая теплота парообразования,  $E$  - турбулентный поток влаги).

Вертикальные турбулентные потоки  $P$  и  $E$  определяются через ковариации пульсаций соответствующих метеорологических величин и вертикальной компоненты  $w$  скорости ветра:

$$P = \rho C_p \overline{w' \theta'}, \quad (2)$$

$$E = \rho \overline{w' q'}, \quad (3)$$

где  $\psi$  - потенциальная температура,  $q$  - удельная влажность воздуха,  $C_p$  - удельная теплоемкость воздуха при постоянном давлении,  $\rho$  - плотность воздуха.

Получение  $P$  и  $E$  прямым методом основано на непосредственном измерении  $w'$ ,  $v'$ ,  $q'$ , последующем перемножении пульсаций и осреднении. Градиентные же методы основываются на вычислении  $P$  и  $E$  по разностям  $\Delta u$  ( $u$  - горизонтальная компонента скорости ветра в приземном слое),  $\Delta \psi$  и  $\Delta q$  с использованием наборов так называемых универсальных функций, получаемых путем обработки прямых измерений пульсаций  $w'$ ,  $v'$ ,  $q'$  с привлечением аппарата теории подобия Монина-Обухова. В соответствии с положениями этой теории потоки  $P$  и  $E$  допускают следующее представление:

$$P = -C_p \rho v_* \psi_*', \quad (4)$$

$$E = -\rho v_* q_*', \quad (5)$$

где  $v_*$ ,  $\psi_*'$ ,  $q_*'$  - соответствующие масштабы скорости, температуры и влажности, определяющие вертикальные градиенты  $u$ ,  $\psi$  и  $q$  в приземном слое:

$$\frac{\partial u}{\partial z} = \frac{v_*}{z z} \varphi_u \left( \frac{z}{L} \right), \quad (6)$$

$$\frac{\partial \psi}{\partial z} = \frac{\psi_*'}{z z} \varphi_\psi \left( \frac{z}{L} \right), \quad (7)$$

$$\frac{\partial q}{\partial z} = \frac{q_*'}{z z} \varphi_q \left( \frac{z}{L} \right), \quad (8)$$

где  $z$  - постоянная Кармана, значение которой по данным разных авторов изменяется в диапазоне 0,35 - 0,41;  $z$  - вертикальная координата;  $\varphi_u$ ,  $\varphi_\psi$ ,  $\varphi_q$  - соответствующие универсальные функции безразмерного аргумента  $\xi = z/L$ ;  $L$  - масштаб длины Монина-Обухова:

$$L = v_*^2 / z (\beta \psi_*' + 0,61 q_*')$$

( $g$  - ускорение свободного падения,  $\beta$  - параметр плавучести,  $\beta = g/T$ ). Величина  $v_*$  связана с турбулентным потоком количества движения (касательным напряжением турбулентного трения)  $\tau$  соотношением:

$$\tau = \rho v_*^2. \quad (9)$$

Располагая явным видом зависимостей  $q_u(\xi)$ ,  $q_v(\xi)$  и  $q_g(\xi)$  и значениями градиентов, из (6) - (8) нетрудно получить соотношения для определения  $v_*$ ,  $v'_*$  и  $q$ . Например, для  $v_*$  такое соотношение имеет вид

$$v_* = \alpha \Delta u / (\Delta z \int_{z_*}^{z_2} \frac{q_u(\xi')}{z'} dz'). \quad (10)$$

Определив  $v_*$ ,  $v'_*$  и  $q_{**}$  соответственно и  $L$ , можно рассчитать как потоки  $P$ ,  $E$  и  $\tau$  по (3), (4), (9), так и профили  $u(z)$ ,  $v(z)$  и  $q(z)$ , выполнив интегрирование уравнений (6) - (8).

Процедура расчета потоков и профилей, представляющаяся достаточно простой и определенной при обработке данных градиентных наблюдений, в случае усеченных данных стандартных метеорологических наблюдений теряет некоторые свои достоинства в силу отсутствия ряда параметров, необходимых для непосредственного применения приведенных выше соотношений. Так, например, в наборе данных срочных метеорологических наблюдений присутствует лишь одно измерение ветра, относящееся к уровню 8-12 м (в зависимости от станции), нижним уровнем измерения температуры является оголенная поверхность почвы, а влажность воздуха измеряется лишь на одном уровне  $z = 2,0$  м. В связи со столь ограниченным составом исходных данных применение аппарата универсальных функций для расчета потоков и профилей требует ввода в расчетный метод ряда дополнительных параметров и соотношений, что, естественно, может сказаться на точности результатов.

Альтернативой алгоритмам, базирующимся на универсальных функциях, в случае ограниченного состава наблюдений может служить подход, основанный на усвоении сетевых данных с помощью численной модели приземного слоя атмосферы. В этом случае модель применяется для решения комбинированной задачи, когда не только производится традиционный для таких моделей расчет профилей  $u$ ,  $v$  и  $q$ , но выполняется также адаптация модели к разноуровневым измерениям в приземном слое, учитывая нелинейный характер связей между метеорологическими величинами. Вариант модели приземного слоя, предназначенный для упомянутых целей, был разработан в ГГО им. А.И. Воейкова [7]. По нашему мнению, численное моделирование как метод решения задач восстановления потоков, позволяет более подробно учесть многообразные физические процессы, вносящие вклад в формирование метеорологического режима приземного слоя (например, радиационный теплообмен) и обойти ряд трудностей, связанных с применением теории подобия в случае разных уровней измерения для  $u$ ,  $v$  и  $q$ .

Следует остановиться также еще на одном методе расчета составляющих теплового баланса, который, правда, применяется только при на-

личий данных градиентных наблюдений, но, тем не менее, представляет интерес с точки зрения сопоставления получаемых на его основе потоков с результатами их вычисления с помощью универсальных функций и моделей. Этот метод, называемый методом теплового баланса, еще в недавнем прошлом широко применялся на сети станций СССР, выполняющих градиентные наблюдения. Согласно методу теплового баланса значения  $P$  и  $LE$  определяются как доли от разности  $R-B$ .

Обратимся к наиболее распространенным наборам универсальных функций, применяемым для расчета потоков и профилей в приземном слое. Сначала остановимся на общем виде функций, а затем представим и обобщим дополнительные соотношения, необходимые для применения универсальных функций в случае разноуровневных измерений, выполняемых на стандартной сети наблюдений.

Проблема представления  $\varphi_u(\xi)$ ,  $\varphi_v(\xi)$  и  $\varphi_q(\xi)$  в виде явных зависимостей от  $\xi$  обсуждается в научной литературе со времени первых попыток их построения по результатам прямых измерений. Очевидно, что неопределенность поведения  $\varphi_i(\xi)$  в разных диапазонах  $\xi$  различна. В области малых по модулю  $\xi$ , что соответствует ситуации в приземном слое, близкой к безразличной, особых расхождений между  $\varphi_i(\xi)$ , предлагаемыми различными авторами, нет. Основная дискуссия здесь идет о том, можно ли считать, что  $\varphi_u(0) = \varphi_v(0) = \varphi_q(0) = 1$ . Многие авторы принимают это допущение, что, однако, подвергается сомнению в работах [1, 4, 5], где предлагаются свои оценки для соотношений  $\varphi_v(0) \varphi_u(0) = \varphi_q(0) / \varphi_u(0)$ . Следует отметить, что между авторами наборов наблюдается полное единодушие в части справедливости соотношения  $\varphi_v = \varphi_q$ .

Общее представление о наиболее популярных наборах можно получить из табл. 1 (неустойчивая стратификация) и табл. 2 (устойчивая стратификация). Обращает на себя внимание маленькая величина  $\alpha$ , предлагаемая в работе [8].

Многие из наборов функций, представленных в таблицах 1 и 2, уже применялись различными авторами при разработке методик расчетов турбулентных потоков, которые приводили свои соображения о достоинствах и недостатках наборов. Так, например, специалисты ГГО склоняются к предпочтительности комбинированного набора [1]. Кроме того, в научной практике ГГО широко применялся набор [5], прошедший проверку на ряде массивов данных, полученных в специальных экспедициях. При анализе различных наборов универсальных функций следует учитывать, что сами авторы наборов обычно ограничивают область значений  $\xi$ , для которой они считают свои результаты достаточно надежными. Поэтому не стоит удивляться существенным расхождениям в расчетных значениях потоков, полученных по разным функциям в случаях больших по модулю  $\xi$ , что довольно часто встречается в реальных условиях.

Таблица 1

## Универсальные функции для неустойчивой стратификации

Автор	$\alpha$	$\varphi_u$	$\varphi_D = \varphi_D$
Дайер, Хикс [9]	0,41	$(I-16\zeta)^{-1/4}$	$(I-16\zeta)^{-1/2}$
Бузингер [8]	0,35	$(I-15\zeta)^{-1/4}$	$0,74(I-9\zeta)^{-1/2}$
Ариель, Мурашова [I]	0,40	$(I-16\zeta)^{-1/4}$	$(I,44-16\zeta)^{-1/2}$
Леготина, Орленко [5]	0,40	$(I-16R_i)^{-1/4}$	$\varphi_D = \varphi_u f(R_i)$
Рихтер, Скайб [II]	0,40		
$\zeta \leq I$		$0,397(\zeta)^{-1/3}$	$0,397(\zeta)^{-1/3}$
$-1 < \zeta \leq 0,0625$		$0,5(\zeta)^{-1/4}$	$0,25(\zeta)^{-1/2}$
$0,0625 < \zeta \leq 0$		I	I
Кацер, Перепелкин [4]	0,40	$2,5 \left( \frac{I+0,1\zeta^2}{I-3\zeta} \right)^{1/3}$	$I,6 \left( \frac{3-\zeta}{I-4\zeta+8\zeta^2} \right)^{1/3}$

Таблица 2

## Универсальные функции для устойчивой стратификации

Авторы	$\alpha$	$\varphi_u$	$\varphi_D = \varphi_D$
Дайер, Хикс [9]	0,41	$I+5\zeta$	$I+5\zeta$
Бузингер [8]	0,35	$I+4,7\zeta$	$0,74+4,7\zeta$
Ариель, Мурашова [I]	0,40	$0 \leq \zeta < 0,7: I+7$ $\zeta \geq 0,7: 5,9$	$0,833+10\zeta+5\zeta^2$
Леготина, Орленко [5]	0,40	$0 \leq R_i < 0,04: (I-7R_i)^{-1}$ $R_i \geq 0,04: \frac{\sqrt{(I-7R_i)^2+16R_i^2}+7R_i-1}{8R_i^2}$	$\varphi_D = \varphi_u f(R_i)$
Рихтер, Скайб [II]	0,40		
$0 \leq \zeta < 0,125$		I	I
$\zeta \geq 0,125$		$8\zeta$	$64\zeta^2$

Понятно, что при увеличении толщины слоев, в которых определяются градиенты, а, в особенности, при использовании универсальных функций для обработки стандартных данных (градиент скорости ветра здесь определен в слое толщиной порядка 10 м), то есть при работе с большими  $|\zeta|$ , можно ожидать усиления эффектов стратификации и увеличения различий между характеристиками, рассчитываемыми по разным наборам функций.

Мы произвели сопоставление потоков, рассчитанных с помощью рассмотренных выше наборов универсальных функций по данным градиентных наблюдений в разных географических зонах. Потоки рассчитывались в каждый срок наблюдений и затем осреднялись за месяц или за период экспедиционных наблюдений, продолжительность которого составляла минимум десять дней. На рис. I а представлены кривые среднемесячного суточного хода потока тепла (июнь 1978 г.) на станции Колтуши под Ленинградом. Значения метеорологических величин измерены на уровнях  $z_1 = 0,5$  м и  $z_2 = 2,0$  м. На графике также приведены результаты расчетов по модели приземного слоя [7] и кривая, полученная по методу теплового баланса, которая, как можно заметить, расположена ниже основного семейства кривых. Рисунок дает наглядное представление о различиях в потоках, полученных с помощью разных наборов функций. Величина этих различий в максимуме суточного распределения достигает 30 %. Результаты модельных расчетов хорошо согласуются с расчетами по большинству универсальных функций. Аналогичное семейство кривых, построенных по данным экспедиционных наблюдений летом 1981 г. в п. Калмыз (Казахстан), представлено на рис. I б. Здесь диапазон различий в потоках, полученных разными способами, еще больше, чем в первом случае — он достигает 40 %. Сохраняется тенденция завышения потоков, полученных по методике авторов работы [5]. Метод теплового баланса в этом случае также приводит к завышению потока тепла по отношению к потоку, рассчитанному с использованием универсальных функций. В целом наши эксперименты показали, что для указанного метода такие вариации потока по знаку и величине достаточно характерны.

Теперь обратимся к использованию универсальных функций для расчета потоков по данным стандартных наблюдений. Как мы уже говорили выше, для реализации расчетной процедуры в этом случае необходимо ввести ряд дополнительных соотношений и параметров. Нижними расчетными уровнями для метеорологических величин теперь будут служить уровни шероховатости для скорости  $z_{0u}$ , температуры  $z_{0\theta}$  и влажности  $z_{0q}$ . Ввиду того, что скорость ветра обращается в нуль на уровне  $z = z_{0u}$ , который, как известно, расположен выше, чем  $z_{0\theta}$  и  $z_{0q}$ , требуется определить характер изменения  $\psi$  и  $\varphi$  в

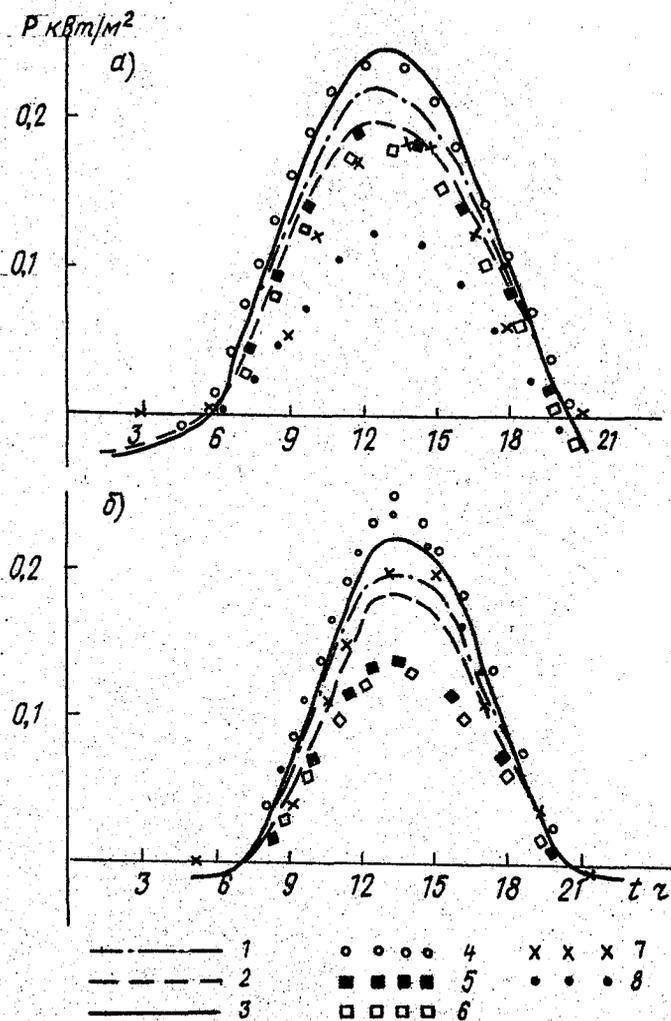


Рис. 1. Суточный ход турбулентного потока тепла ( $\rho$ , кВт/м<sup>2</sup>) по данным, полученным на 1978г. (а) и п.Калмаз за июль-август 1981 г. (б)  
 1- расчет по [9]; 2- расчет по [8]; 3- расчет по [1];  
 4- расчет по [5]; 5- расчет по II; 6- расчет по 4;  
 7- результаты расчетов по модели; 8- результаты расчетов по сетевой методике [6].

слоях  $z_{0v} < z < z_{0u}$  соответственно. В литературе предложено несколько соотношений для приведения температуры и влажности в этих слоях. Наибольшее распространение получили формулы, предложенные С.С. Зилитинкивичем [3] на основе обобщения экспериментальных данных Оуэна и Томсона [10]:

$$\Delta v = v_{z_{0u}} - v_{z_{0v}} = \frac{0,2 v_*}{x} \left( \frac{30 z_{0u} v_*}{\nu} \right)^{0,45}, \quad (II)$$

$$\Delta q = q_{z_{0u}} - q_{z_{0q}} = \frac{0,2 q_*}{x} \left( \frac{30 z_{0u} v_*}{\nu} \right)^{0,45}, \quad (I2)$$

где  $\nu$  - кинематическая вязкость воздуха, а также соотношения Братсера [2]

$$\Delta v = v_* \ln \left( \frac{1}{74 \exp(-2,46 \left( \frac{v_* z_{0u}}{\nu} \right)^{1/4})} \right), \quad (I3)$$

$$\Delta q = q_* \ln \left( \frac{1}{74 \exp(-2,25 \left( \frac{v_* z_{0u}}{\nu} \right)^{1/4})} \right). \quad (I4)$$

Следует сделать несколько замечаний по практическому применению соотношений (II) - (I4). Их использование в расчетной схеме существенно усиливает нелинейные эффекты, что, наряду с увеличением толщины слоев, в которых заданы градиенты  $u$ ,  $v^*$  и  $q$ , приводит к ухудшению сходимости итераций при решении системы уравнений для определения  $v_*$ ,  $v^*$ ,  $q_*$ . В первую очередь это относится к расчетным алгоритмам, включающим соотношения (II) - (I2). Если, исходя из этих формул, оценить значения отношений  $z_{0u}/z_{0u}$  и  $z_{0u}/z_{0q}$  при больших  $v_*$  можно получить величины порядка  $10^{15} - 10^{20}$ . Формулы Братсера приводят к более умеренным значениям этих соотношений, порядка  $10^8 - 10^{12}$ . Кроме того, соотношения (II) - (I4) содержат ряд эмпирически определенных коэффициентов, погрешность задания которых в условиях априорной неопределенности значений  $z_{0u}$  является источником дополнительных погрешностей при расчете потоков по данным срочных наблюдений.

Если в расчетном алгоритме отсутствует блок, описывающий перенос влаги в почве, его следует дополнить также соотношением, определяющим значение  $q_{z_{0q}}$ . Это можно сделать, исходя из предположения о характере изменения относительной влажности  $r_r$  в слое  $z_{0q} < z < 2,0$  м. Обычно используется предположение о постоянстве  $r_r$  в этом слое и для  $q_{z_{0q}}$  применяется формула

$$q_{z_{0q}} = r_r q_{m0}, \quad (I5)$$

в которой  $r_r$  - относительная влажность воздуха на уровне  $z = 2,0$  м,  $q_{m0}$  - удельная влажность насыщения при  $v^0 = v_{z0}^0$ . Выполненные нами численные эксперименты показали, что соотношение (15) в большинстве случаев приводит к существенному занижению турбулентного потока влаги, что соответственно ведет к уменьшению потока скрытого тепла  $LE$ . Несколько улучшить результаты расчета  $E$  позволяет отказ от формулы (15) и расчет влажности непосредственно на уровне динамической шероховатости:

$$q_{z_{0u}} = r_r q_{m0} \quad (16)$$

где  $q_{m0}$  - удельная влажность насыщения при  $v^0 = v_{z_{0u}}^0$ . Последняя величина рассчитывается в рамках общей вычислительной схемы.

Все изложенное выше в полной мере относится и к использованию модельного подхода к восстановлению потоков и профилей в приземном слое по данным стандартных наблюдений. Графики, представленные на рис. 2, позволяют сопоставить результаты модельных расчетов потоков количества движения с их значениями, полученными по градиентным данным, для условий северо-западной части страны (рис. 2 а) и Казахстана (рис. 2 б). Видно, что в обоих случаях результаты моделирования находятся близко к середине интервала разброса значений  $\tau$ , полученных другими способами. Таким образом, применение модели как для восстановления потока импульса, так и для расчета потока тепла (см. рис. 1) показывает, что модельный подход позволяет, при условии адекватного задания параметра шероховатости и соответствующего учета приповерхностных скачков  $\Delta v^0$  и  $\Delta q$ , получать разумные картины среднемесячного суточного хода потоков  $\tau$  и  $P$ .

Результаты применения некоторых наборов универсальных функций для восстановления среднего суточного хода потока тепла в период Калмазской экспедиции представлены на рис. 3. Для сравнения на графиках приведены также результаты расчетов  $P$  по градиентным данным. Ветер измерялся на высоте  $z_u = 8,6$  м, параметр шероховатости задавался равным 0,015 м. Параметризация приповерхностных скачков  $\Delta v^0$  и  $\Delta q$  выполнялась по формулам Братсера. Наряду с вычислением средних потоков, при обработке данных градиентных наблюдений с помощью универсальных функций и метода теплового баланса определялись также значения  $P$  и  $E$  по средним значениям градиентов. Полученные результаты позволяют утверждать, что расхождения между значениями потоков  $P$ , рассчитанными по разноуровневым усеченным данным стандартных наблюдений, имеют тот же порядок, что и расхождения между величинами  $P$  полученными разными методами по градиентным данным. Различия между средними значениями  $P$  и потоком тепла, рассчитанным по средним

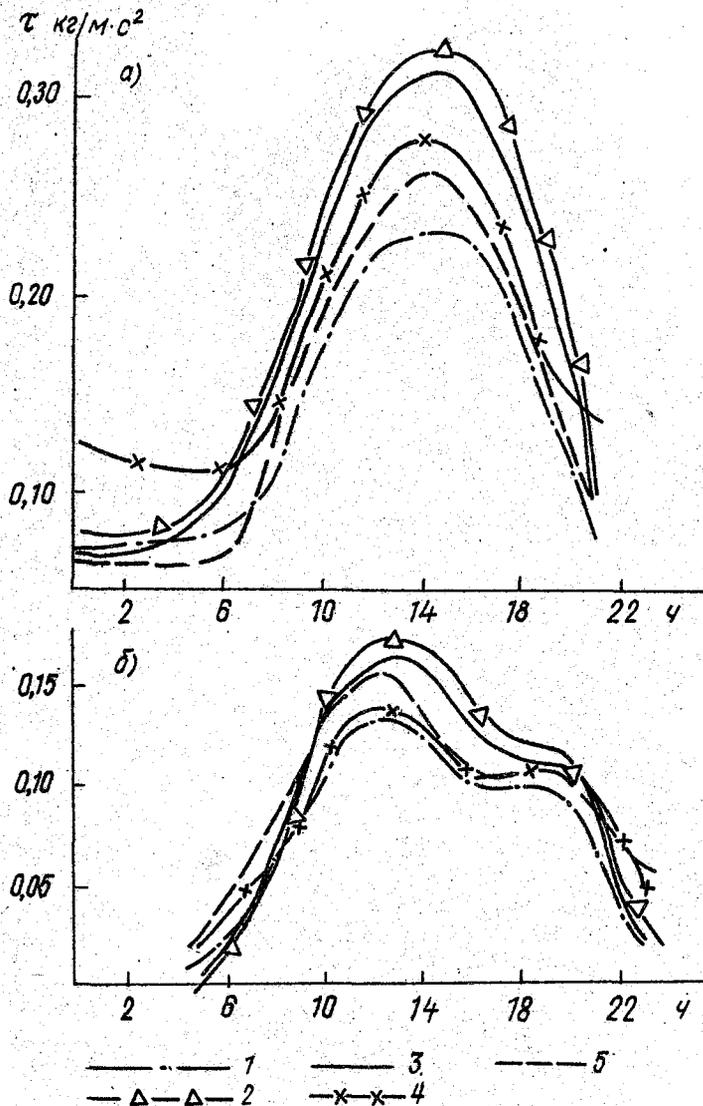


Рис.2. Суточный ход потока количества движения ( $\tau$  кг/м·с<sup>2</sup>) по данным ст.Колтуши за июль 1978 г. (а) и п.Калмыз за июль-август 1981 г. (б).  
 1-расчет по [8]; 2-расчет по [1]; 3-расчет по [5];  
 4-расчет по [11]. 5-результаты расчета по модели.

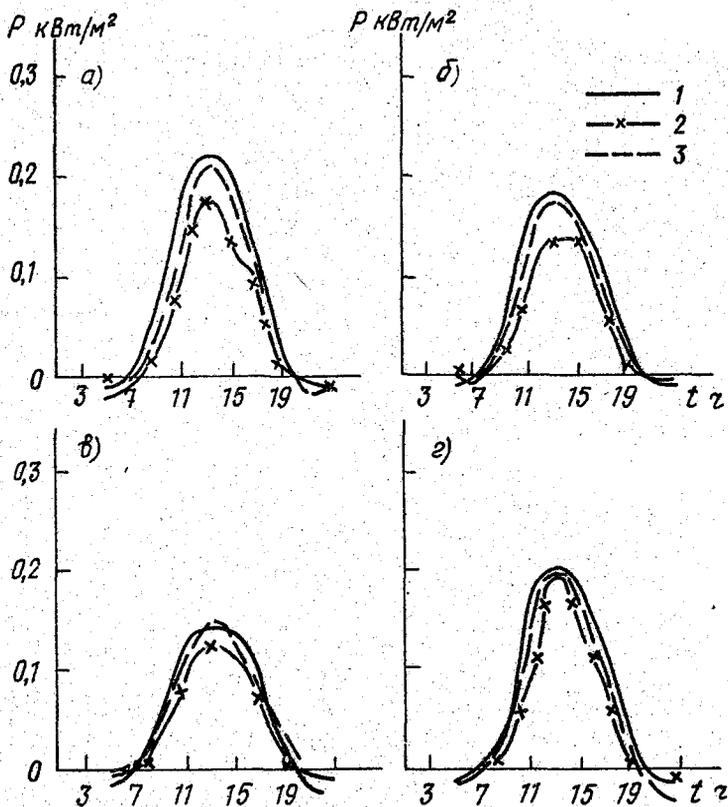


Рис.3. Результаты применения универсальных функций для расчета турбулентного потока тепла ( $P$  кВт/м<sup>2</sup>) на основе данных стандартных метеорологических наблюдений и градиентных измерений.

1 - по градиентным данным; 2 - по стандартным метеорологическим данным; 3 - по осредненным исходным градиентным данным.

градиентам  $\Delta v^{\circ}$  и  $\Delta u$  во всех представленных случаях незначительны - не более 10%. Как показали наши расчеты, относительные расхождения между потоками количества движения, полученными по разным наборам универсальных функций обычно меньше, чем расхождения между потоками тепла и влаги.

На примере одного из наборов универсальных функций рассмотрим чувствительность рассчитываемых по стандартным данным потоков  $\rho$  и  $LE$  к заданию параметра  $z_{0u}$  в соотношениях (II) - (I4). Результаты численных экспериментов о разных значениях  $z_{0u}$  при обработке данных Калмазской экспедиции (используется набор функций из [9]) представлены на рис. 4. Как видно из хода кривых на этих графиках вариации параметра шероховатости существенно сказываются на результатах расчета. Значения потоков, полученные с использованием для параметризации скачков  $\Delta v^{\circ}$  и  $\Delta q$  формул (II), (I2) существенно занижены по сравнению с данными расчетов на основе (I3), (I4), которые оказались гораздо лучше согласованными с результатами обработки градиентных измерений. В середине дня при больших значениях потоков  $\rho$  и  $LE$  для обоих способов параметризации характерна смена знака изменения потока с ростом  $z_{0u}$  и при  $z_{0u} = 0,05$  м как  $\rho$ , так и  $LE$  меньше, чем при  $z_{0u} = 0,015$  м.

Таким образом, полученные нами результаты по оценке чувствительности рассчитываемых потоков к параметру шероховатости  $z_{0u}$  и выбор способа параметризации скачков  $\Delta v^{\circ}$  и  $\Delta q$  показывают, что эти элементы вычислительного алгоритма в большинстве случаев влияют на точность расчетов потоков сильнее, чем выбор набора универсальных функций. Указанное обстоятельство несомненно должно учитываться при использовании универсальных функций и простых моделей для восстановления потоков и профилей в приземном слое по ограниченному набору данных. С точки зрения развития исследований представляет интерес установить границы применимости и оценить погрешности рассмотренных алгоритмов при расчете характеристик метеорологического режима.

В заключение авторы считают своим долгом выразить признательность Л.Р.Орленко и Н.З.Ариель за полезные дискуссии в процессе выполнения работы.

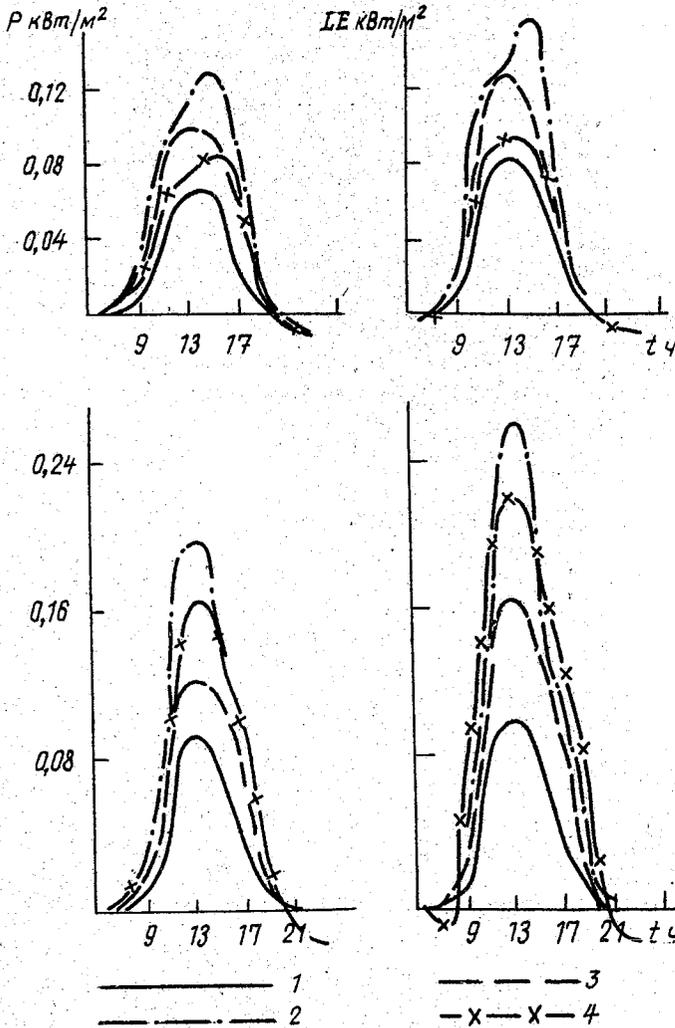


Рис. 4. Результаты расчета турбулентных потоков тепла и затрат тепла на испарение по данным стандартных метеорологических наблюдений (п. Калмаз) при разном задании параметра шероховатости  $z_0$  (м): 1 - по [3]; 2 - по [2]; 3 -  $z_0 = 0,005$  м, 4 -  $z_0 = 0,010$  м, 5 -  $z_0 = 0,015$  м, 6 -  $z_0 = 0,05$  м.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А р и е л ь Н.З., М у р а ш о в а А.В. Расчет уточненных номограмм для определения коэффициентов сопротивления, тепло- и влагообмена над морем. - Тр. ГГО, 1981, вып. 454, с. 35-48.
2. Б р а т с е р т В.Х. Испарение в атмосфере. - Л.: Гидрометеоздат, 1985. - 322 с.
3. З и л и т и н к е в и ч С.С. Динамика пограничного слоя атмосферы. - Л.: Гидрометеоздат, 1970, - 292 с.
4. К а д е р Б.А., П е р е п е л к и н В.Г. Влияние неустойчивой стратификации на профиль скорости ветра и температуры в приземном слое. - Изв. АН СССР, ФАО, 1989, т. 25, № 8, с. 787-795.
5. Л е г о т и н а С.И., О р л е н к о Л.Р. О расчете турбулентных потоков тепла и влаги по данным градиентных измерений. - Тр. ГГО, 1978, вып. 402, с. 29-39.
6. Р у к о в о д с т в о по теплобалансовым наблюдениям. - Л.: Гидрометеоздат, 1977. - 150 с.
7. С о к о л о в а Г.П., Ф е д о р о в и ч Е.Е. Применение численной модели для расчета турбулентных потоков и профилей метеорологических элементов в приземном слое атмосферы по данным стандартных метеорологических наблюдений. - Тр. ГГО, 1990, вып. 530.
8. В у с i n g e r J.A. e.a. Fluxprofile relationships in the atmospheric surface layer. - J. Atmos. Sci., 1971, vol. 28, N 2, p. 181-189.
9. D y e r A.J., H i c k s B.B. Flux-gradient relationships in the constant flux layer. - Quart. J. Roy. Met. Soc., 1970, Vol. 96, N 410, p. 715-721.
10. O w e n P.R., J h o n s o n W.H. Heat transfer across rough surface. - J. Fluid. Mech., 15, N 3, p. 321-334.
- II. R i c h t e r S.H., S k s i b G. Application of a method for the parameterisation of the turbulent exchange of energy in the atmospheric surface layer. - "International Turbulence Comparison Expedition INCE 1981", Tsimlyansk, USSR. - Geodatische, und geophysikalische Veröffentlichungen, Reihe II, Heft 26, Berlin 1984, p. 80-85.

Г. П. Резников

МЕТОД УЧЕТА ЗАВИСИМОСТИ ПСИХРОМЕТРИЧЕСКОГО  
КОЭФФИЦИЕНТА ОТ СКОРОСТИ ВЕТРА ИЛИ АСПИРАЦИИ

Одним из главных источников погрешности измерений влажности психрометрическим методом является несоответствие действительного значения психрометрического коэффициента  $A_{\mathcal{D}}$  номинальному, которое входит в уравнение измерения психрометром конкретного типа в виде постоянной  $A_{\mathcal{P}}$ . Отличие индивидуальных значений психрометрического коэффициента конкретных экземпляров психрометра от номинального для данного типа психрометра трансформируется в погрешность — систематическую для этого конкретного экземпляра и случайную для данного типа психрометра.

Для обеспечения единства измерений влажности психрометрическим методом, таким образом, недостаточно экспериментального определения и последующего нормирования психрометрического коэффициента данного типа психрометра. Необходимо нормировать дисперсию психрометрического коэффициента для конкретного типа психрометра.

Однако дисперсия действительных  $A_{\mathcal{D}}$  может достигать весьма больших значений, что приводит к сильному увеличению соответствующих составляющих погрешности измерений.

По результатам экспериментальных исследований [5, 10, 15] психрометра стационарного с естественной вентиляцией установлено, что значение психрометрического коэффициента может изменяться в пределах  $(1300 \dots 720) \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$  при номинальном значении  $A_{\mathcal{P}} = 795 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$  для номинальной скорости обдува 0,8 м/с [10]; соответственно для аспирационных психрометров типа МВ-4 и М-34, часто используемых в качестве образцовых средств измерения влажности, значение психрометрического коэффициента заключено в пределах  $(675 \dots 600) \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$  при номинальном значении  $A_{\mathcal{P}} = 662 \cdot 10^{-6} \text{ K}$ , отвечающем номинальной скорости аспирации 2,0 м/с [9, 16]

Таким образом, в первом примере относительное отклонение действительного значения  $A_{\mathcal{D}}$  от номинального может достигать 63 %, а во втором — 10 %. Видно, что  $A_{\mathcal{D}}$  наряду с давлением  $P$ , следует рассматривать как переменную величину. Возникает довольно необычная ситуация, заключающаяся в следующем. И психрометрический коэффициент  $A$ , и давление  $P$  занимают одинаковое положение в психрометрической

формуле. Следовательно, одинаковые относительные приращения психрометрического коэффициента и давления вызывают одинаковое изменение величины, характеризующей влажности, т.е.  $\Delta P/P = \Delta A/A$ .

Отсюда можно оценить, какому отклонению (или погрешности) давления соответствует отклонение (или погрешность) психрометрического коэффициента. Относительная погрешность измерения давления составляет порядка 0,1 %. Сопоставляя эту величину с вышеприведенными оценками, приходим к выводу, что одна из двух величин ( $A$ ), в одинаковой степени влияющих на результат измерения влажности, известна с точностью в сотни раз меньше, чем другая ( $P$ ).

Нетрудно убедиться, что абсолютная погрешность определения относительной влажности (при  $\varphi = 20\%$  и  $t = 10^\circ\text{C}$ ) может достигать 10 % только из-за неопределенности значения психрометрического коэффициента.

Очевидно, возможны два пути повышения точности измерений психрометрами: снижение пределов изменения (т.е. уменьшение дисперсии) психрометрического коэффициента  $A_j$  или определение  $A_j$  конкретного экземпляра психрометра с последующим учетом этого значения при определении влажности.

Выполняя обоснование того или иного выбора, важно учитывать физическую природу психрометрического коэффициента и его структуру. Известные многочисленные теоретические и экспериментальные исследования, как ранние [5,6], так и выполненные в недавнее время [9,15,17], указывают на то, что психрометрический коэффициент является функцией многих факторов и аргументов. Психрометрический коэффициент зависит от величин, характеризующих интенсивность тепло- и массопереноса. Последние же зависят от скорости газового потока, начиная с весьма малых значений. Поэтому во все выражения для психрометрического коэффициента, полученные как теоретически, так и эмпирическим путем, входит скорость потока. Для иллюстрации приведем несколько таких выражений [6]:

$$A = A_\infty \left( 1 + \frac{\varepsilon}{v^\psi} \right),$$

где  $A_\infty$  - постоянная, равная  $A$  при бесконечно большой скорости газового потока;  $\varepsilon$  и  $\psi$  - параметры, зависящие от конструкции и размеров психрометра;

$$A = A_\infty + K_1 v^{-0.5} + K_2 v^{-1}, \quad (5)$$

где  $A_\infty$  - постоянная, равная  $A$  при  $v = \infty$ ,  $K_1$  и  $K_2$  - параметры, зависящие от конструкции и размеров психрометра [5]; для термометров, применяемых в стационарном психрометре  $K_1 = 138 \text{ K}^{-1} \cdot \text{m}^{1/2} \cdot \text{C}^{-1/2}$ ,  $K_2 = 48 \text{ K}^{-1} \cdot \text{m} \cdot \text{C}^{-1}$ ;  $A_\infty = 593 \text{ K}^{-1}$  (все значения имеют множитель  $10^{-6}$ ).

$$A = B_c F_x F_v F_d,$$

$$F_x = 1 - \chi \frac{E_w(T_w)}{\rho},$$

$$F_v = 1 + 4,77 \cdot 10^{-8} T_m^3 d^{0,539} (\rho v)^{-0,461},$$

$$F_d = 1 + 0,0209 \cdot T_w^{0,5} v^{0,461} (\rho d)^{-0,539} F_x^{-1},$$

$$B_c = 5,864 \cdot 10^{-4} + 4,67 \cdot 10^{-7} (T_w - 273,15),$$

$$T = (t + 273,15); \quad T_w = (t_w + 273,15); \quad T_m = \frac{T + T_w}{2},$$

где  $d$  - диаметр термометра, мм;  $\rho$  - давление, гПа;  $\chi$  - мольная доля влаги;  $E_w$  - давление насыщенного водяного пара при температуре  $T_w$ , гПа;  $t$  - температура воздуха, °С;  $t_w$  (или  $t'$ ) - температура смоченной термометра, °С;  $v$  - скорость вентиляции, м/с [17].

Последнее выражение для  $A$  получено в результате многолетних теоретических и экспериментальных исследований с привлечением современной теории тепло- и массопереноса, техники эксперимента и обработки в Австралийском институте прикладной физики.

Формулы, входящие в  $A$ , получены для психрометра, у которого термометры с термочувствительным цилиндрическим элементом расположены поперек потока, в диапазоне давления  $\rho$  от 600 до 1200 гПа, температуры воздуха  $t$  от 0 до 50 °С, относительной влажности от 0 до 100 % при номинальной скорости  $v = 4,5$  м/с и номинальном диаметре  $d = 4,5$  мм. Эти формулы позволяют еще раз убедиться, что совокупное изменение давления, температуры и относительной влажности в указанном диапазоне при прочих равных условиях приводит к изменению психрометрического коэффициента не более чем на 1 %. Следовательно, упомянутые выше большие изменения действительного значения психрометрического коэффициента для конкретных экземпляров психрометра определенного типа обусловлены лишь скоростью вентиляции. И, таким образом, в принципе при определении влажности по психрометрической формуле можно рассматривать скорость вентиляции в качестве одной из переменных, наряду с переменной  $\rho$ .

Следует также обратить внимание на то, что все выражения для связи психрометрического коэффициента со скоростью при  $v = 0$  приводят к  $A = \infty$ , что противоречит физическому смыслу. Это учитывается соответствующими теориями психрометра, а при их практическом использовании следует нижний предел скорости при оценках ограничивать весьма малыми значениями, для которых  $A$  определено экспериментально, например 0,1 м/с.

В связи с поставленной задачей уменьшения разброса значения  $A_{\beta}$  можно на основании вышеизложенного заключить, что для уменьшения дисперсии  $A_{\beta}$  психрометров одного типа следовало бы уменьшить дисперсию их скоростей вентиляции. Однако, очевидно, что в случае психрометров с естественной вентиляцией это невозможно по смыслу. В случае же психрометров с принудительной вентиляцией (аспирационных) это влечет за собой усложнение технологии изготовления, регулировки, пооперационного контроля таких массовых приборов, что привело бы, по крайней мере, к удвоению их стоимости.

Отсюда следует, что второй из возможных путей повышения точности измерений психрометрами — использование конкретных значений психрометрического коэффициента, а с учетом его зависимости от скорости вентиляции — конкретных значений последней.

Использование зависимости  $A$  от  $v$  позволяет реализовать повышение точности в широких масштабах, поскольку трудоемкое экспериментальное определение действительного значения  $A_{\beta}$  заменяется несложным определением скорости вентиляции смоченного термометра. При этом следует отметить, что как в случае стационарного психрометра, так и в случае аспирационного информация о скорости вентиляции уже имеется для каждого экземпляра психрометра или может быть получена путем несложных преобразований.

Рассмотрим подробнее реализацию изложенного для этих двух типов психрометров. Примем во внимание, что стационарный метеорологический психрометр состоит из двух термометров, один из которых постоянно смачивается, и расположенной на уровне 2 м жалюзийной климатической защиты (будки), в которой установлены эти термометры. Вентиляция термометров внутри будки возникает за счет движения наружного воздуха — ветра. Скорость движения воздуха внутри будки, естественно, не измеряется. Но измерения влажности стационарным психрометром в подавляющем большинстве случаев выполняются в комплексе с другими метеорологическими измерениями, в частности, скорости ветра. Таким образом, для определения психрометрического коэффициента стационарного психрометра необходимо лишь установить параметры его связи со скоростью ветра. Их можно определить, сопоставляя непосредственные значения скорости ветра и соответствующие значения психрометрического коэффициента, либо сопоставляя скорость движения воздуха в психрометрической будке со скоростью ветра, поскольку связь между психрометрическим коэффициентом и скоростью вентиляции уже известна.

Известен ряд работ, посвященных установлению эмпирической зависимости между психрометрическим коэффициентом стационарного психрометра и скоростью  $v_{\beta}$  движения воздуха внутри будки, а также меж-

$A_{\beta}$  и скоростью ветра  $v_{\beta}$ , в частности, [4, 10, 15]. (Следует по-  
дточно отметить, что в работе [4] решается аналогичная задача повыше-  
ния точности измерений стационарным психрометром путем учета скороо-  
сти ветра. В настоящей статье излагается метод, использующий возмож-  
ности, зафиксированные в действующем государственном стандарте [1],  
что сокращает путь к практическому его использованию при метеонаблю-  
дениях.)

В табл. I приведены значения психрометрического коэффициента,  
определенные по формуле Н.А.Зворыкина и эмпирически Л.Ф.Шербаковой  
для различных значений скорости  $v_{\beta}$  в будке от 0,14 до 1,4 м/с.

Таблица I

$v_{\beta}$ м/с	...	0,14	0,2	0,3	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4
$A_{38} 10^{-6} \cdot K^{-1}$ ...		1305	1135	1000	927	851	805	780	759	740
$A_{44} 10^{-6} \cdot K^{-1}$ ...		1020	970	920	890	840	810	790	780	775

Экстраполируя экспериментальную зависимость  $A_{\beta}$  от скорости возду-  
ха в будке, получим, что при  $v_{\beta} = 0,1$  м/с  $A_{\beta} = 10^{-6} \times 1090 K^{-1}$  соот-  
ветствующее значение  $A$  по формуле составляет  $1509 K^{-1} \cdot 10^{-6}$ . (Эти  
отличия объясняются в работе [10] несовпадением динамических харак-  
теристик среды при выполнении исследований в лабораторных условиях  
[6] и в натуральных [10]. Такое объяснение находит подтверждение в  
последующих исследованиях. Например, в работе [8] собственные экс-  
периментальные результаты, свидетельствующие о занижении данных о  
влажности, полученных с помощью психрометров, исследователь связыва-  
ет с асимметрией пульсаций температуры, влажности и скорости воздуха  
в приземном слое атмосферы.)

С другой стороны, в той же работе [10] получена зависимость между  
скоростью  $v_{\beta}$  движения воздуха в будке и скоростью  $v_{\beta}$  ветра (табл.2)  
на уровне будки.

Кривая этой зависимости имеет форму, приближающуюся к S-образной.

Таблица 2

$v_{\beta}$ м/с .....	0,80	1,25	1,65	2,15	2,65	3,20	4,20
$v_{\beta}$ м/с .....	0,40	0,45	0,50	0,65	0,80	1,10	1,45

Сопоставляя эти две эмпирические зависимости, можно получить  
связь действительного значения психрометрического коэффициента псих-  
рометра стационарного со скоростью ветра.

Интересно отметить, что в диапазоне скорости ветра от 0,8 до  
3,6 м/с эта зависимость практически линейна. При значениях  $v_{\beta} < 0,8$  м/с

крутизна кривой резко увеличивается, а при  $v_g > 3,6$  м/с – резко уменьшается, причем значению психрометрического коэффициента, при того за номинальное  $A_H = 795 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$ , отвечает скорость ветра 2,8 м/с (т.е. наиболее часто встречающееся значение этой величины). Такое поведение зависимости  $A_g$  от  $v_g$  дает возможность выполнить ее кусочно-линейную аппроксимацию (рис.1). (Здесь и в дальнейшем за скорость ветра принимаем среднюю скорость движения воздуха на уровне психрометрической будки. Она, естественно, меньше скорости измеренной на высоте ( $\sim 10$  м) размещения ветрочувствительного измерительного элемента. Следуя работе [4], где использованы для оценки параметры связи этих скоростей указания [12], будем принимать с достаточной для решаемой задачи точностью, что скорость движения на уровне будки составляет 0,75 от скорости на уровне размещения измерителя ветра.)

Переходя к практическому использованию зависимости  $A_g$  станционного психрометра от скорости ветра, следует иметь в виду, что большинство ветроизмерительных приборов, применяемых при срочных наблюдениях, имеют нижней границей диапазона измерения 1 м/с (флюгеры о легкой доской типа ФВЛ, анеморумбограф М-64М).

С учетом этого обстоятельства участок зависимости в интервале скорости ветра от 1 до 3,6 м/с можно аппроксимировать уравнением

$$A_{g, 1..3,6} = [795 - 67(v_g - 2,8)] \cdot 10^{-6}$$

На этом участке, следовательно, действительное значение психрометрического коэффициента изменяется от  $916 \cdot 10^{-6}$  до  $741 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$  и может быть известно с погрешностью, зависящей от погрешности измерения скорости ветра.

На участке значений скорости ветра, меньших 1 м/с, ввиду отсутствия регулярной измерительной информации о скорости целесообразно использовать наиболее вероятное или среднее значение психрометрического коэффициента для этой области. При выборе верхнего предела  $A_g$  следует принять во внимание, что даже при отсутствии движения наружного воздуха скорость движения его внутри будки отличается от нуля. Физическим объяснением этого могут служить наличие восходящих вертикальных (конвективных) потоков, омывающих будку, разность значений температуры поверхностей, обращенных к Солнцу и находящихся в тени непрерывное испарение воды о фитиля. Учитывая экспериментальные данные [10], за наименьшее значение скорости движения воздуха внутри будки можно принять 0,1 м/с. Этому значению  $v_g$ , как оценено выше должно отвечать значение  $A_g = 1095 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$ . Следовательно, за среднее значение психрометрического коэффициента при  $v_g < 1$  м/с следует принять  $1005 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1} [(1095 + 916)/2] \cdot 10^{-6}$ . Относительны

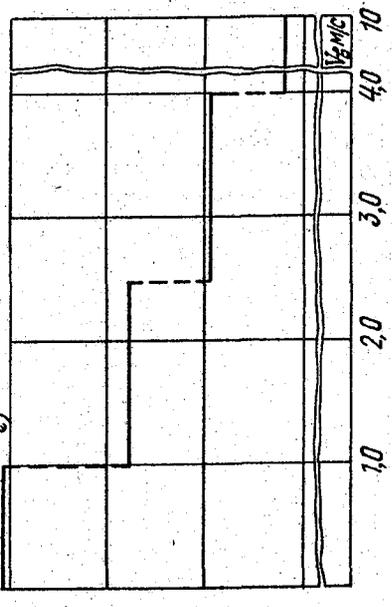
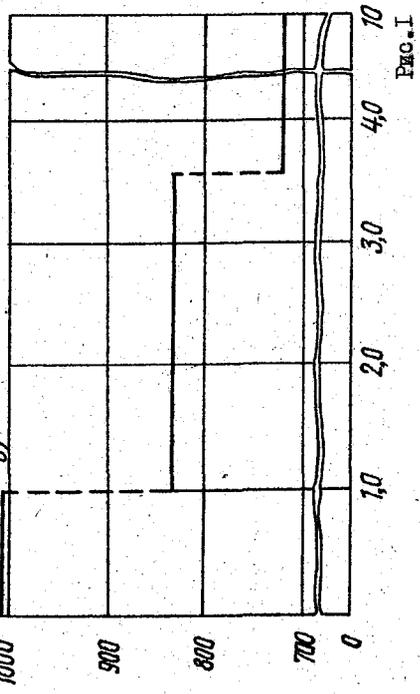
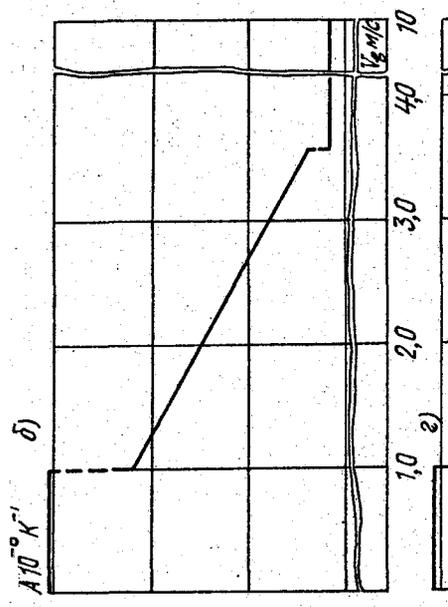
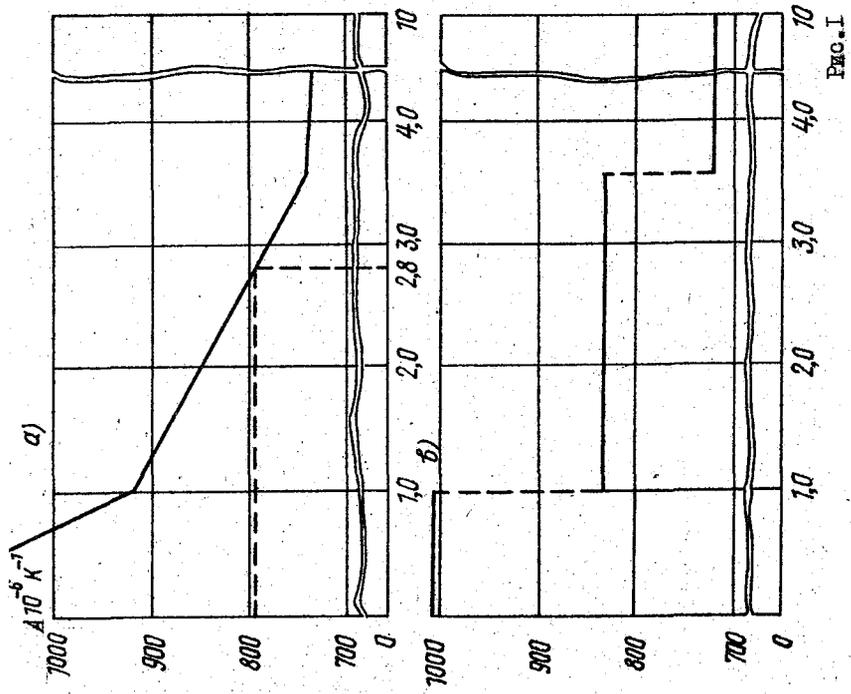


Рис. 1

отклонение психрометрического коэффициента, связанное с заменой действительного значения средним, случайное по своему характеру, составляет 8,5 %  $[(1095-1005)/1006 \cdot 100]$ , что более чем вчетверо (в 4,4 раза) меньше, чем отклонение при существующей методике, не предусматривающей учет связи  $A_{\beta}$  с  $v_{\beta}$ .

В последнем случае отклонение составляет 37 %  $[(1095-795)/795 \cdot 100]$ .

При значениях скорости обдува  $v_{\beta}$  смоченного термометра, превышающих 4 м/с, психрометрический коэффициент изменяется весьма незначительно. Этому значению скорости  $v_{\beta}$  отвечает скорость ветра около 10 м/с, что подтверждается также [4]. Таким образом, для больших значений скорости ветра значение психрометрического коэффициента оказывается возможным принять равным значению для 10 м/с. Как следует из результатов исследований [10], при значениях скорости  $v_{\beta} > 1$  м/с формула Зворыкина приводит к оценкам  $A_{\beta}$ , мало отличающихся от прямых экспериментальных значений для психрометрической будки. Поэтому в качестве нижнего предела психрометрического коэффициента на этом участке можно использовать значение, рассчитанное по той формуле при скорости  $v_{\beta} = 4$  м/с, т.е. округленно  $690 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$ . В силу слабой зависимости  $A_{\beta}$  от  $v_{\beta}$  на этом участке целесообразно применить тот же прием, что и на участке  $v_{\beta} < 1$  м/с, т.е. использовать на всем его протяжении односреднее значение, которое оказывается равным  $715 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$  (с округлением до единицы младшего разряда)  $[(741+690)/2 \cdot 10^{-6}]$ . Возникающее при этом относительное отклонение действительного значения психрометрического коэффициента от среднего составляет 3,8 %  $[(741-715)/715 \cdot 100]$ , что почти вчетверо (в 3,5 раза) меньше отклонения, имеющего место при существующей методике  $-13,2$  %  $[(795-690)/795 \cdot 100]$ .

Поскольку для крайних участков сделаны количественные оценки отклонений, то выполним их также и для среднего участка. Отклонение действительного значения психрометрического коэффициента от определяемого по формуле о использовании измеренной скорости ветра вызывается погрешностью ее измерения. Абсолютная погрешность, например упоминавшегося М-64М составляет

$$\Delta v_{\beta} = \pm (0,5 + 0,05 v_{\beta}).$$

Для действительного значения скорости 3,6 м/с  $\Delta v_{\beta} = 0,5 + 0,05 \times 3,6 = 0,68$  м/с. В этом случае измеренным значением может оказаться  $v_{\beta} = 2,9$  м/с. По формуле рассчитанное  $A_{\beta}$  для этой скорости равно  $788 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$ , тогда как действительное (соответствующее 3,6 м/с) составляет  $745 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$ . Следовательно, относительное отклонение равно 5,5 %. Вместе с тем, это почти втрое меньше относительного отклонения при обычном методе, которое достигает 15,7 %.

$[(916-795)/795 \cdot 100]$ , что подтверждает целесообразность учета скорости ветра на среднем участке.

Таким образом, зависимость  $A_{\partial}$  от  $v_{\partial}$  оказалась аппроксимированной ломаной линией из трех отрезков (рис. 1 б).

На первом и третьем участках в силу изложенных обстоятельств отрезки параллельны оси  $v_{\partial}$  а на среднем - эта наклонная, отображающая линейную связь  $A_{\partial}$  с  $v_{\partial}$ .

Сводная табл. 3, по существу, содержит и алгоритм измерения и обработки по новой методике. Он состоит в том, что при скорости ветра,

Таблица 3

	Скорость ветра ( $v_{\partial}$ ) м/с		
	< I	от I до 3,6	3,6
Психрометрический коэффициент $A_{\partial}$ , $10^{-6} K^{-1}$	1005	795-67 ( $v_{\partial} - 2,8$ )	715
Граница доверительно-го интервала относительного отклонения $\Delta A/A_{\partial}$ , %	8,5	5,5	3,8
Относительное отклонение при существующем методе $\Delta A/A_{\partial}$ , %	37	15,7	13,2

меньшей I м/с, используют значение психрометрического коэффициента  $1005 \cdot 10^{-6} K^{-1}$ ; при скорости в интервале от I до 3,6 м/с используют значение, рассчитываемое по формуле в этой таблице, а при скорости, большей 3,6 м/с, используют значение  $A_{\partial} = 715 \cdot 10^{-6} K^{-1}$ .

Помимо необходимой информации о скорости ветра в пределах от I до 3,6 м/с, реализация изложенного алгоритма требует либо выполнения вычислений психрометрического коэффициента и затем интересующих параметров влажности, либо психрометрических таблиц, предусматривающих учет не только давления, но и психрометрического коэффициента. Оба этих способа в настоящее время реализуемы. Первый - благодаря широкодоступным в настоящее время программируемым или специализированным микроЭВМ (отечественные типа - "Электроника БЗ-34", "МК-52", "МК-54", "МК-61"). Второй - благодаря разработанным под стимулирующим влиянием возможности, изложенной выше, методам универсализации психрометрических таблиц [3].

Принимая во внимание, что погрешность измерения скорости ветра при метеонаблюдениях довольно велика для задачи вычисления психрометрического коэффициента, представляется целесообразным и в диапа-

зоне скорости ветра от I до 3,6 м/с также не выполнять вычисления психрометрического коэффициента, а использовать среднее для этого интервала значение  $A_p$ , т.е.  $828 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1} [(916+74)/2 \cdot 10^{-6}] \cdot 10^6$ . В этом случае относительное отклонение составляет 10,5 %  $[(916-828)/828 \cdot 100]$ , что в полтора раза меньше, чем при использовании номинального значения  $A_n = 795 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$  при обычном методе, но вдвое больше по сравнению с вариантом вычисления психрометрического коэффициента по измеренной скорости ветра. Графическое отображение этой аппроксимации зависимости психрометрического коэффициента от скорости ветра выглядит как ступенчатая функция (рис. I в). Более точного результата (практически вдвое) можно достичь, аппроксимируя участок на интервале  $v_p$  от I до 3,6 м/с (округлено до 4 м/с) двумя значениями:  $A = 875 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$  (для интервала от I до 2,5 м/с) и  $785 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$  (для интервала от 2,5 до 4 м/с). Последнее можно заменить номинальным значением  $795 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$ , ввиду его близости (рис. I г.)

В последнем случае, следовательно, действительные значения психрометрического коэффициента  $A_p$  стационарного психрометра в каждом из интервалов скорости ветра можно представить в виде таблицы (табл. 4), в  $10^{-6} \text{ К}^{-1}$ :

Таблица 4

$v_p$ м/с.....	< I	I...2,5	2,5...4	4
$A_p \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$ .....	1005 · 10 <sup>-6</sup>	875 · 10 <sup>-6</sup>	795 · 10 <sup>-6</sup>	715 · 10 <sup>-6</sup>

Таким образом, возможны четыре варианта обработки результатов наблюдений по психрометру стационарному.

Для получения сведений о скорости ветра в диапазоне менее I м/с можно использовать серийно выпускаемые анемометры метеорологического назначения, например АСО-3, устанавливая их непосредственно рядом с психрометрической будкой. Это, однако, целесообразно делать не при стандартных метеонаблюдениях, а в особых случаях, например, при сличениях какого-либо гигрометра со стационарным психрометром (в частности при натурных исследованиях гигрометра).

Учет действительного значения психрометрического коэффициента при определении характеристик влажности в случае использования психрометрических таблиц основан на отмечавшейся эквивалентности положения  $A$  и  $\rho$  в психрометрической формуле. Она использована в работе [I]. Метод учета  $A_p$  заключается в том, что совокупную поправку  $\Delta e$  на отличие действительного (измеренного) значения атмосферного давления  $p_p$  от номинального  $p_n$  (принятого при расчетах таблиц равным 1000 гПа) и на отличие действительного, т.е. найденного изложенным

способом значения психрометрического коэффициента  $A_D$  от номинального  $A_H$  (принятого при расчетах таблиц равным  $795 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$ ) отсчитывают непосредственно в имеющейся таблице поправок на отличие  $p_D$  от  $p_H$ . Но при входе в эту таблицу в качестве значения используют не измеренное значение, т.е.  $p_D$ , а связанное с ним и  $A_D$  простым соотношением другое значение  $-p_D$ , названное эквивалентным. Поэтому психрометрические таблицы [II], дополненные помещающейся на одной странице таблицей  $p_D$  (входом в которую являются  $p_D$  и  $A_D$ ), приобретают свойство универсальности, поскольку могут использоваться для работы с любыми психрометрами с известным  $A_D$ .

Для примера в табл.5 приводятся значения  $p_D$  (гПа), соответствующие значениям  $A_D$  в табл.4, и трех значения  $p_D$ . Объединяя табл.4 и 5, можно получить таблицу значений эквивалентного давления  $p_D$  при разных значениях измеренного атмосферного давления и различных интервалов, в которые попадет значение скорости ветра (табл.6).

Таблица 5

$p_D$ гПа	$A_D, 10^{-6} \cdot \text{К}^{-1}$			
	1005	875	795	715
1100	1391	1211	1100	989
1000	1264	1101	1000	899
900	1138	991	900	809

Такая таблица с необходимым шагом, например 10 гПа, дает возможность учитывать скорость ветра при обработке результатов наблюдений по стационарному психрометру. Несложно убедиться, пользуясь психро-

Таблица 6

$p_D$ гПа	$v_D$ м/с			
	< 1	1...2,5	2,5...4	> 4
1100	1391	1211	1100	989
1000	1264	1101	1000	899
900	1138	991	900	809

метрическими таблицами и табл.6, в недопустимости игнорирования влияния скорости ветра на результат измерения. Пусть, например, при давлении 900 гПа и скорости ветра, меньшей 1 м/с, температура по сухому термометру 10 °С, а по смоченному 3 °С. Тогда по действующей методике определения влажности в результате получается 21 %. По предлагаемой методике при  $p_D = 900$  гПа и скорости ветра, меньшей 1 м/с,  $p_D = 1138$  гПа, а соответствующая ей поправка на давление водя-

ного пара по таблице поправок равна минус 0,78 гПа. Следовательно, действительное значение относительной влажности 10 %.

Как уже отмечалось, несмотря на средства принудительной вентиляции, дисперсия в скорости аспирации приводит к существенным погрешностям измерений и аспирационными психрометрами.

Использование принудительной (искусственной) аспирации направлено на стабилизацию психрометрического коэффициента путем обеспечения постоянной известной скорости смывания смачиваемого термометра анализируемым воздушным потоком. При этом, по данным проспектов и каталогов различных форм и стран, номинальные значения скорости аспирации устанавливаются от 2,0 м/с (М-34, Саф. з-д "Гидрометприбс СССР" [13] до 15 м/с (27 AM 300 E, *Kahl Sci. Instr. Corp.*, США), хотя в 8 типах аспирационных из 14 номинальная скорость аспирации не превышает 3,0 м/с [16].

Исследование отечественных аспирационных психрометров [9] показало, что на момент их изучения скорость аспирации в произвольной выборке психрометров одного типа могла изменяться от 1,7 м/с (при номинальном значении 2,0 м/с). Выяснилось, что зависимость действительного значения психрометрического коэффициента  $A_d$  конкретного экземпляра психрометра от скорости аспирации этого экземпляра может быть отображена формулой

$$A_d = A_n - \gamma(v_d - v_n),$$

где  $A_n$  - номинальное значение психрометрического коэффициента для аспирационного психрометра конкретного типа;  $v_n$  - номинальное значение скорости аспирации, соответствующее значению  $A_n$ ;  $\gamma$  - постоянная для психрометра конкретного типа.

Значения  $A_n$  и  $v_n$  определяются как средние арифметические из действительных значений этих величин на выборке психрометров. Объем выборки и правила ее формирования устанавливаются соответствующим стандартом [2].  $A_n$ ,  $v_n$  и  $\gamma$  должны определяться при государственных приемочных испытаниях и вноситься в нормативно-техническую документацию на психрометр. Для каждого же конкретного экземпляра аспирационного психрометра при первичной периодической поверке измеряют только скорость аспирации  $v_d$ , которую и указывают в паспорте или свидетельстве о поверке прибора. Таким образом, и в случае аспирационного психрометра благодаря доступной информации о действительном значении скорости аспирации для конкретного экземпляра психрометра становится известным его действительное  $A_d$  значение психрометрического коэффициента. При этом так же, как и в случае стационарного психрометра, нет необходимости выполнять определение  $A_d$  каждого экземпляра с использованием образцового средства измерения влажности, равно как не вводится каких-либо новых операций технологичес

кого или метрологического характера для достижения этой цели. Изложенная методика определения  $A_{\beta}$  была зафиксирована в упоминавшемся стандарте [1].

Следует отметить, что в случае аспирационного психрометра погрешность определения  $A$  зависит главным образом от погрешности определения  $v_{\beta}$ . Последняя измеряется пневмоанемометром ПО-30 с пределом допускаемой погрешности 0,1 м/с [7, 14]. Степень влияния такой погрешности на погрешность  $A_{\beta}$  и погрешность определения влажности можно проиллюстрировать численным примером. В результате эксперимента для И-34 было получено, что  $A_{\beta} = 662 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$ ;  $v_{\beta} = 2,0 \text{ м/с}$ ;  $\gamma = 55 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1} \text{ м}^{-1} \text{ с}$ , а при измерении  $v_{\beta} = 2,6 \text{ м/с}$  для одного из экземпляров. Выполнив расчет по последней формуле, получим, что у этого экземпляра  $A_{\beta} = 628 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$ , а приращение  $v_{\beta}$  на 0,1 м/с приведет к изменению  $A_{\beta}$  на  $5,6 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$ , т.е. на 0,96 %. Это меньше, чем относительный шаг дискретизации по давлению в таблице поправок (1 %). Для оценки погрешности определения относительной влажности пользуемся методом эквивалентного давления и, положив для примера  $p_{\beta} = 1000 \text{ гПа}$ , обратившись к психрометрическим таблицам, получим, что при  $t = 10^{\circ} \text{ C}$  и  $t' = 3^{\circ} \text{ C}$  погрешность  $\Delta \varphi = 2 \%$  (т.е. от использования  $A_{\beta} = 662 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$  вместо  $A_{\beta} = 628 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$ ). Такая погрешность, естественно, недопустима в случае прецизионных измерений, для осуществления которых часто используется аспирационный психрометр.

Резюмируя вышеизложенное, можно сказать, что, не прибегая к каким-либо конструктивным изменениям стационарного и аспирационного психрометра и не привлекая какой-либо дополнительной информации, сверх имеющейся при обычных измерениях, оказывается возможным существенно снижать погрешность определения действительного значения психрометрического коэффициента, а пользуясь обычными психрометрическими таблицами, дополненной таблицей эквивалентных давлений, как функций известных значений атмосферного давления и скорости вентиляции, определять влажность с повышенной точностью.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Г О С Т 8.524-85. Таблицы психометрические. Построение, содержание, расчетные соотношения. - М.: Изд. стандартов, 1985. - 34 с.
2. Г О С Т 18321-73. Статистический контроль качества. Методы случайного отбора выборок штучной продукции. - М.: Изд. стандартов, 1986.
3. Б е о п а л о в Д.П., Р е з н и к о в Г.П. Универсализация психометрических таблиц и повышение точности измерений влажности психрометрами. - В кн.: Тезисы докладов 7-й Всесоюзной научно-технической конференции по средствам и методам измерений влажности. - Кутаиси, 1984. - 365 с.
4. Б р а с л а в с к и й А.П., Ш а п о в А.П. Усовершенствование методики определения влажности воздуха с учетом влияния скорости ветра на показания стационарного психрометра. - Труды Казахского НИГМИ, 1975, вып.52, с.24-33.
5. З в о р ь к и н Н.А. Исследования о психрометре. - Уч.зап.Моск. ун.-та.-1984, вып.5. -54 с.
6. З в о р ь к и н Н.А. Определение влажности воздуха с помощью психрометра. - Записки АН, XI.-1981, № 6.
7. К л и м и н Н.Н. и др. Разработка и исследование методики градуировки и поверки пневмоанемометра для измерений скорости аспирации психрометра. /Н.Н.Климин, Г.П.Резников, Б.И.Толстухин. -Труды ГГО, 1981, вып.132, с.85-95.
8. К о н с т а н т и н о в А.Р. Оценка ошибок аспирационных и стационарных психрометров, измеряющих температуру и влажность воздуха в температурно-неоднородной атмосфере. - Труды Всесоюзного научно-метод. совещ. Т.9.-Л.: Гидрометеиздат, 1963, с.209-219.
9. Л е о н о в а Л.И. и др. Экспериментальные исследования аспирационных психрометров и их метрологический анализ. /Л.И.Леонова, Н.Н.Климин, Г.П.Резников, Л.А.Ядова - Труды ГГО, 1978, вып.414, с.58-94.
10. Щ е р б а к о в а Л.Ф. Скорость движения воздуха внутри психрометрической будки и ее влияние на точность измерения влажности. - Труды НИУ ГУГМС, ГГО, 1946, сер.1, вып.23.
11. Т а б л и ц ы психометрические /Под ред. Д.П.Беспалова.-Л.: Гидрометеиздат, 1981. - 270 с.
12. У к а з а н и я для УГМС по вычислению поправок к измеренным величинам атмосферных осадков, разд.1,2 - Л.: Гидрометеиздат, 1969, с.7-12.
13. ТУ 25-1607. 054-85. Психрометры аспирационные МВ-4 и М34.
14. ТУ 52-09-381-85. Пневмоанемометр ЦО-30 для измерения скорости аспирации.

15. F o I I a n d O.K. The psychrometer coefficient of the wet-bulb thermometer used in the meteorological office large thermometer screen.-Sci. Papers Meteorol. office, 1972, N 38.
16. S c o I s G. B e s t i m m u n g des Psychrometerkoeffizienten für das Aspirationspsychrometer nach Assman.-Zeitschrift für Meteorologie, 37 (1987), 229-230.
17. W y I i e R.G., L a l a s T. The WMO Reference Psychrometer.-CSIRO, Australia, 1981.

## К ВОПРОСУ ВИЗУАЛЬНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ДАЛЬНОСТИ ВИДИМОСТИ В ТЕМНОЕ ВРЕМЯ СУТОК

На сети метеорологических станций до настоящего времени видимость ночью определяется в основном двумя методами: визуально по огням и визуально-инструментально установкой М-71. На авиационных метеорологических станциях (АМСГ) и на немногих метеостанциях используется инструментальный метод (РДВ, ФИ) для определения метеорологической дальности видимости (МДВ) в диапазоне 0-6 км.

В связи с прекращением выпуска М-71 и отсутствием прибора, способного заменить его, в ближайшее время визуальный метод окажется основным при определении видимости в темное время суток.

Методика визуального определения видимости по огням [1] основывается на использовании закона Алларда для точечного источника света. При этом метеорологическая дальность видимости ( $S_M$ ) рассчитывается по формуле

$$S_M = - \frac{L \ln \zeta}{2\pi [I / (E_n L^2)]} \quad (1)$$

где  $L$  - расстояние до огня,  $\zeta$  - порог контрастной чувствительности глаза,  $I$  - сила света огня,  $E_n$  - пороговая освещенность (внешняя предельная освещенность). Подставив значение  $\zeta$ , равное 0,02, получим формулу (1) в виде

$$S_M = \frac{3,91 L}{2\pi (I / (E_n L^2))} \quad (2)$$

По формуле (2) различными авторами рассчитывалась МДВ ночью. В конце 50-х годов В.А.Березкиным был получен график видимости огней ночью на местности. При этом порог внешней освещенности ( $E_n$ ) принимался равным  $2 \cdot 10^{-7} \text{лк}$ .

Методика определения видимости по огням [2], разработанная с учетом этого графика, используется до настоящего времени. Однако за прошедший период был принят ряд изменений, связанных с визуальным определением видимости, одно из них коснулось порога контрастной чувствительности глаза  $|\zeta|$ .

По рекомендации ВМО в 1979 г. в СССР принято новое значение  $\zeta$  равное 0,05 [3]. В формуле (2) вследствие этого изменилась константа, и формула приняла следующий вид:

$$S_m = \frac{3L}{Ln(I/(E_n I^2))} \quad (3)$$

Изменение константы хотя и привело к нарушению однородности ряда данных, но не потребовало пересмотра комплекта огней на станциях.

В дальнейшем при издании Наставления ГМС и постам [1] была учтена рекомендация ВМО [5] и приняты три уровня порога внешней освещенности ( $E_n$ ). Вместо усредненного значения  $E_n = 2 \cdot 10^{-7} \text{лк}$  рекомендовано использовать  $E_{n, \text{сум}} = 10^{-6} \text{лк}$  (в сумерки или при опухом свете от искусственных источников),  $E_{n, \text{лун}} = 10^{-6,7} \text{лк}$  (при луне или когда еще не совсем темно),  $E_{n, \text{тем}} = 10^{-7,5} \text{лк}$  (при полной темноте или только свет от звезд).

В результате этого огни, выбранные по графику Березкина, во многих случаях перестали соответствовать требованиям "Наставления" [1].

Так, например, если ранее огонь № 5 соответствовал 5 баллам, то после проведенной дифференциации  $E_n$  по уровню внешней освещенности МДВ, определяемая по этому огню в сумерки, стала соответствовать 6 баллам.

Проведенные по всему набору огней расчеты с шагом  $L = 10 \text{ м}$  показали, что при всех трех уровнях внешней освещенности можно использовать для наблюдения за видимостью лишь первые три огня, выбранные по графику Березкина, и, следовательно, оценивать МДВ до 1 км. Пример расчетов конкретно для одного расстояния  $L$  до каждого огня приведен в табл. I.

Для определения видимости в оставшемся диапазоне (1-50 км), строго говоря, необходимо выбрать три новых комплекта огней: первый для определения МДВ в сумерки, второй - при луне и третий - в полной темноте, и в соответствии с условиями внешней освещенности пользоваться одним из них согласно требованиям "Наставления" [1].

По ряду причин, основной из которых является отсутствие достаточного количества огней в районе станции, на практике осуществить определение МДВ описанным выше способом оказывается невозможным. Опыт инспекторских проверок подтвердил, что данные о видимости, особенно при больших значениях, не достаточно надежны.

С учетом всего вышесказанного предлагается изменить методику визуальных наблюдений за МДВ ночью следующим образом.

Прежде всего, необходимо обеспечить для всех станций возможность определения по огням МДВ в диапазоне до 1 км. При отсутствии достаточного количества ориентиров ночной видимости и невозможности их

Таблица I

Пример изменения видимости ( $S_M$ ) в зависимости от величины порога внешней освещенности ( $E_M$ ) при визуальных наблюдениях за МДВ ночью

Номер огня	Расстояние до источника света, км	Сила света, кд		$S_M$ ( $E = 2 \cdot 10^{-10}$ лк)		$S_M$ в сумерки ( $E = 10^{-10}$ лк)		$S_M$ при луне ( $E = 10^{-10}$ лк)		$S_M$ при темноте ( $E = 10^{-10}$ лк)		Диапазон МДВ по границе Березкина
		км	баллы	км	баллы	км	баллы	км	баллы	км	баллы	
1	0,08	200	0,020	0	0,023	0	0,020	0	0,017	0	0-50 м	
2	0,400	100	0,127	1	0,186	1	0,149	1	0,121	0	50-200 м	
3	0,600	100	0,250	2	0,320	2	0,250	2	0,200	2	200-500 м	
4	1,150	60	0,660	3	0,940	3	0,660	3	0,490	3	500-1000 м	
5	2,0	40	1,530	4	2,600	5	1,530	4	1,040	4	1-2 км	
6	3,2	40	3,230	5	7,050	6	3,230	5	1,990	5	2-4 км	
7	5,5	40	8,740	6	59,0	9	8,720	6	4,420	6	4-10 км	
8	6,5	25	17,980	7	50	9	17,940	7	6,650	6	10-20 км	
9	8,0	25	35,850	8	50	9	35,720	8	9,550	6	20-50 км	

дополнения за счет огней, имеющихся на местности, следует на станциях установить столбы или мачты с электрическими лампочками на соответствующих расстояниях. Высота столбов или мачт может быть 2-3 до 5 м.

При этом, в зависимости от характера запросов потребителей и технических возможностей Управлений по гидрометеорологии и метеостанций, возможны несколько подходов к уточнению методики визуального определения МДВ ночью во всем диапазоне.

Вариант 1. По имеющемуся набору огней определяется МДВ от 0 до 3 баллов. При МДВ более 3 баллов видимость определяется по атмосферным явлениям, как указано в "Наставлении" [1], и используется лишь для оперативных целей.

Вариант 2. МДВ определяется по огням либо во всем диапазоне, либо в максимально возможном, а далее отмечается, что видимость больше чем та, которую позволяет определить последний огонь, и ставится знак " $\geq$ ". Этот вариант предполагает пересчет таблиц для определения  $S_M$  при новых уровнях внешней освещенности. Пересчет может быть произведен либо в Управлениях, либо в сокращенном варианте на местных метеостанциях.

В Управлениях по гидрометеорологии, располагающих вычислительной техникой и персоналом, можно произвести пересчет таблиц для определения МДВ по огням для трех уровней освещенности: сумерки ( $E_n = 10^{-6}лк$ ), тьма ( $E_n = 10^{-6,7}лк$ ), темнота ( $E_n = 10^{-7,5}лк$ ), рассчитывая для каждого из порогов значения  $S_M$  в зависимости от расстояния ( $L$ ) до источника известной силы света ( $I$ ). При этом рекомендуется задавать входные параметры:  $L$  от 10 м до 10 км с шагом 10 м, а от 10 км до 50 км с шагом 1 км;  $I$ , соответствующие гостированным значениям мощности электрических лампочек: 25; 40; 60; 75; 100; 150; 200 Вт.

Основываясь на рассчитанных таким образом таблицах, можно достаточно просто оценить соответствие имеющихся на каждой станции огней новым требованиям, произвести выбор недостающих огней, либо принять решение об определении МДВ в ограниченном каким-то баллом видимости диапазоне.

При невозможности получения указанных таблиц в УГМ, пересчет МДВ в связи с новыми значениями  $E_n$  может быть произведен лишь для имеющихся на станции огней. Зная расстояние  $L$  и силу света  $I$  для каждого огня по формуле (3) можно произвести пересчет МДВ и оценить, какие баллы видимости и при каких условиях внешней освещенности определяются по данным огням.

Основной трудностью, возникающей при использовании трех уровней пороговой освещенности, является отсутствие четких временных границ каждого уровня освещенности ( $E_n$ ).

Не вызывает двоякого толкования лишь третий уровень освещенности: "в темноте либо только при свете звезд" [1], который используется для расчетов при наблюдениях в безлунную ночь по огням, не расположенным на фоне зарева, на станциях, лежащих вне городов и крупных поселков, освещаемых всю ночь.

Границу между первым порогом освещенности (для сумерек) и вторым (для лунной ночи или когда не совсем темно) определить достаточно трудно из-за отсутствия измерений освещенности. Уточнение "когда еще не совсем темно", относящееся ко второму уровню [1], не совсем конкретно, так как в сумерки тоже не совсем темно.

Сделаем небольшое отступление и поясним, что называется сумеркам

Известно, что сумерками называют часть ночного времени, непосредственно примыкающую к дневной части суток и характеризующуюся плавным изменением уровня освещенности от яркого дневного света к ночному мраку и наоборот [6].

Различают гражданские, навигационные и астрономические сумерки. В нашем случае интерес представляют гражданские и навигационные сумерки.

Гражданские сумерки своими границами имеют, с одной стороны, моменты восхода и захода солнца, а с другой - глубина погружения Солнца  $-6^{\circ}$  или  $-7^{\circ}$  [7]. В моменты окончания вечерних и начала утренних гражданских сумерек освещение настолько слабое, что становится невозможно рассматривать мелкие детали предметов и читать у окна, в это время обычно включается уличное освещение.

Под навигационными сумерками понимается промежуток времени, в течение которого глубина погружения Солнца заключена между пределами  $-6^{\circ}$  и  $-12^{\circ}$  [6]. Вечером, в начале навигационных сумерек, силуэты крупных предметов видны вполне отчетливо, к концу этой фазы сумерек становится настолько темно, что даже крупные предметы перестают различаться зрением, и только линия горизонта остается отчетливо видимой.

Исходя из данных пояснений, под сумерками в "Наставлении" [1] понимаются навигационные сумерки, ибо только с их наступлением включается наружное освещение, то есть основное количество ориентиров ночной видимости метеостанций. Как следует из определения навигационных сумерек, в этот момент еще не совсем темно, различимы контуры крупных предметов. Таким образом, грань между двумя пороговыми освещенностями очень тонкая, а различия в рассчитанных значениях МДВ существенны, особенно при хороших условиях видимости (более 5 баллов).

Для того чтобы снять неоднозначность толкования второго и первого уровней освещенности, следовало бы использовать значение  $E_n = 10^{-6,7}$  при наблюдениях только в лунные ночи.

Таким образом, предлагаемая методика позволяет привести в соответствие наблюдения за МДВ рекомендациям ВМО [5].

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Н а с т а в л е н и е гидрометеорологическим станциям и постам. Вып.3., ч.1. - Л., 1985. - 300 с.
2. Н а с т а в л е н и е гидрометеорологическим станциям и постам. Вып.3., ч.1. - Л., 1958. - 223 с.
3. Т а б л и ц ы для обработки данных наблюдений над метеорологической дальностью видимостью по М-53 и М-71 (при пороге контрастной чувствительности глаза 0,05).
4. Н а с т а в л е н и е гидрометеорологическим станциям и постам. Вып.3., ч.1.-Л., 1969. - 307 с.
5. Р у к о в о д с т в о по метеорологическим приборам и методам наблюдений. Изд. 5-е.-ВМО - № 8.
6. К а л е н д а р ь естественного освещения на территории СССР.- М: Изд. ВНИИ МВД СССР. 1970.
7. Б а р т е н е в а О.Д., П о л я к о в а Е.А., Р у с и н Н.П. Режим естественной освещенности на территории СССР. - Л: Гидрометеоиздат, 1971. - 238 с.

Е.Е.Федорович, Е.Н.Чурина

ВОССТАНОВЛЕНИЕ МЕЗОМАСШТАБНЫХ ПОЛЕЙ СРЕДНИХ МЕСЯЧНЫХ  
ЗНАЧЕНИЙ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН И КОНТРОЛЬ  
РЕЖИМНОЙ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ С ПОМОЩЬЮ  
СПЛАЙН-АПРОКСИМАЦИИ НА ХАОТИЧЕСКОЙ СЕТКЕ

Проблема аппроксимации мезомасштабных полей метеорологических величин (характерный горизонтальный размер поля  $L_h$  порядка  $10^2 - 10^3$  км) возникает при решении ряда прикладных задач метеорологии и климатологии. К первой группе задач такого рода относятся пространственный контроль режимной метеорологической информации, составление климатических карт, построение изолиний полей и ряд других задач обеспечения народного хозяйства метеорологической и климатологической информацией. Во вторую группу можно объединить задачи в которых на основе алгоритмов аппроксимации производится расчет дифференциальных и интегральных характеристик полей, выполняется согласование полей, различных по своей физической природе, разрабатываются процедуры инициализации и схемы объективного анализа для мезомасштабных численных моделей.

Обе указанные группы задач тесно связаны друг с другом. Поэтому есть смысл стремиться к построению таких схем аппроксимации мезомасштабных метеорологических полей, которые допускали бы, с одной стороны, достаточно простые представления для аппроксимируемого поля, а с другой стороны, обладали бы определенной универсальностью. Важнейшими требованиями к алгоритмам аппроксимации, реализуемым на ЭВМ, является объективность получаемых на их основе решений, сведение к минимуму зависимости результата от качества выполнения подготовительных операций, определяющегося опытом или интуицией исследователя.

Существенной особенностью приземных метеорологических и геофизических наблюдательных систем являются их нерегулярные конфигурации. Пункты наблюдений расположены на поверхности земли в произвольном порядке и с различной плотностью. В этих условиях крайне трудно обеспечить однозначное решение задач аппроксимации поля и большинство традиционных алгоритмов аппроксимации (полиномиальная аппроксимация, оптимальная интерполяция) применимы для произвольных сетей наблюдений с большими ограничениями [4,5,6]. Ранее высказанные

ображения относительно объективности решения задачи аппроксимации именно в случаях хаотического расположения пунктов наблюдений выходят на первый план. Ряд исследований последних лет указывает на то, что многие недостатки традиционных методов аппроксимации полей, занятых в узлах нерегулярной сетки, преодолеваются при использовании вариационных подходов к построению алгоритмов аппроксимации, когда оказывается возможным сформулировать четкие критерии качества аппроксимации к единообразию, учесть общие свойства распределений, рассматривая их как условия связей [2]. Для аналитического представления поля в этом случае удобно использовать сплайны - кусочно-полиномиальные функции, построенные на хаотическом множестве узлов [1,3]. Функционал, определяющий такой сплайн, служит при такой аппроксимации одним из возможных критериев качества интерполяции поля. С этой точки зрения интерполяция сплайнами может интерпретироваться как частный случай вариационного подхода к задаче аппроксимации поля метеорологических величин.

Рассмотрим математическую постановку задачи сплайн-аппроксимации в области с хаотически расположенными интерполяционными узлами. Пусть  $\Omega$  - двумерная ограниченная область. Обозначим через  $\{r_i\}$  результаты наблюдений в точках  $\{P_i\}$  области  $\Omega$ ,  $i=1, \dots, N$ . Задача построения интерполяционного сплайна  $S(P)$  формулируется следующим образом:

$$S(P_i) = r_i, \quad \int_{\Omega} (\epsilon_{xx}^2 + 2\epsilon_{xy} + \epsilon_{yy}^2) d\Omega = \min. \quad (1)$$

Другими словами, требуется, чтобы построенный сплайн в промежутках между узлами обеспечивал минимальную контрастность поля градиентов аппроксимируемой функции. Требование такой гладкости можно считать достаточно общим для полей большинства метеорологических величин в условиях отсутствия дополнительной информации о характере поведения их пространственных распределений между узлами.

Если пункт наблюдений  $P_i$  в области  $\Omega$  имеет координаты  $(x_i, y_i)$ , то восстановление поля в точке с координатами  $(x, y)$  производится по следующей формуле [2]:

$$S(x, y) = 1/2 \sum_{i=1}^N \lambda_i [(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2] \ln [(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2] + \gamma_{00} + \nu_{10} x + \nu_{01} y, \quad (2)$$

где  $\lambda_i$ ,  $\nu_i$  - коэффициенты сплайна.

При восстановлении сплайна по формуле (2) в интерполяционном узле или его близкой окрестности возникает особенность, связанная с невозможностью вычисления логарифма от очень малого числа. Для устранения этой особенности соответствующий член суммы должен заменяться

нулем. Если количество точек, в которых рассчитывается сплайн, велико, его целесообразно восстанавливать в узлах частой регулярной сетки с дальнейшим применением простых линейных интерполяционных алгоритмов.

В качестве тестового фрагмента наблюдательной сети для проверки работоспособности алгоритмов сплайн-аппроксимации была выбрана сеть метеорологических станций Белорусской ССР. Данные этих станций образуют поля, по размерам отвечающие выделенному масштабному интервалу и традиционно используются для проверки вновь разрабатываемых методов контроля и обработки информации.

Численные эксперименты с полями метеорологических величин по территории Белорусской ССР проводились с массивами данных  $N=53$  станций. Аппроксимирующие сплайны строились для различных метеорологических величин, их статистических характеристик, отклонений от многолетних средних значений. Для температуры воздуха  $T_a$  за июнь 1984 г. были рассчитаны поля среднедекадных и среднемесячной температуры, поля осадков  $R_i$  за  $i$ -й месяц. В табл. I представлены средние (по совокупности станций) значения  $\bar{\delta} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \delta_i$  и абсолютные погрешности расчета  $\bar{\delta}_a = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |\delta_i|$  значения величины на какой-нибудь одной выделенной станции по данным других станций, а также среднее квадратическое отклонение поля рассчитанных величин от исходного поля  $\epsilon_{\delta_a} = \left[ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (|\delta_i| - \bar{\delta}_a)^2 \right]^{1/2}$ , где  $\delta_i$  - разница между значениями метеорологического поля, восстановленного сплайн-аппроксимацией, и исходного поля  $\varphi_i$ .

Данные табл. I позволяют сделать заключение о более успешном восстановлении поля средних месячных значений температуры по сравнению с полями средних декадных значений  $T_a$ . Относительные погрешности расчета  $T_a$  в узлах для достаточно гладких полей температуры лежат в пределах 1-3%. Более контрастные поля осадков восстанавливаются с большими погрешностями, переменность знаков которых для разных реализаций свидетельствует об отсутствии в погрешностях систематической составляющей. Примеры полей температуры и осадков представлены на рис. 1 и 2. Аналогичные оценки были сделаны для полей средних многолетних значений сумм осадков. Относительные погрешности расчета в этом случае (табл. 2) значительно меньше, чем в случае полей средних месячных величин. Существенно уменьшается также  $\bar{\delta}_a$  и  $\epsilon_{\delta_a}$ . Сплайн-интерполяция была использована также для расчета отклонений от средних многолетних значений (норм) на станции по отклонениям на остальных станциях, входящих в рассматриваемый фрагмент наблюдательной сети. Результаты таких расчетов для полей осадков приводятся в табл. 3. Для каждого поля отклонений были рассчитаны средние значения  $\bar{\varphi}$  и дисперсии  $\epsilon_{\varphi}$ , а также коэффи-

Таблица I

Характеристики погрешности восстановления метеорологических величин  
по территории Белорусской ССР (53 станции)

Характеристика	Метеорологическая величина									
	$T_a$ °C	$T_{aI}$ °C	$T_{aII}$ °C	$T_{aIII}$ °C	$R_6$ мм	$R_7$ мм	$R_8$ мм	$R_9$ мм	$R_{10}$ мм	$R_4$ мм
$\delta$	-0,01	-0,02	-0,01	-0,02	0,14	-0,11	-0,07	-0,56	-0,15	0,28
$\delta_a$	0,28	0,42	0,29	0,44	14,93	15,49	22,34	7,59	3,64	6,92
$\delta_{\%}$	0,34	0,49	0,35	0,78	17,05	21,58	29,73	9,92	5,07	8,02
$\bar{\sigma}_i$	14,10	15,86	12,02	14,54	23,12	78,58	113,83	43,04	13,22	32,36

коэффициент корреляции  $R_i$  между отклонениями от норм и их расчетными значениями. Как видно из табличных данных, коэффициент корреляции изменяется в зависимости от месяца в интервале от 0,4 до 0,78. Обращает на себя внимание хорошее согласование оценок средних и дисперсий для исходного и расчетного полей.

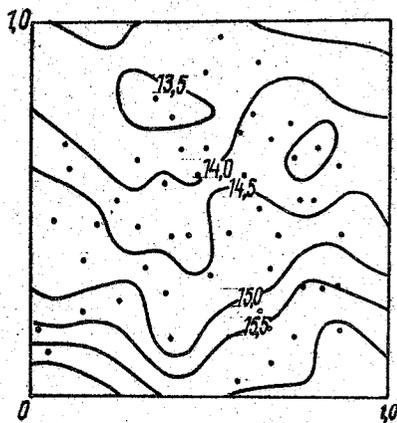


Рис.1. Поле изолиний средней месячной температуры воздуха ( $^{\circ}\text{C}$ ), полученное методом сплайн-аппроксимации, июль 1984 г. (53 станции).

Точками отмечено местоположение метеорологических станций

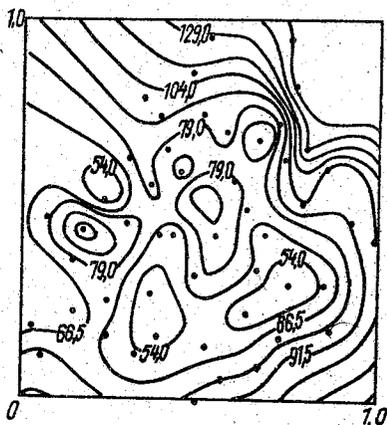


Рис.2. Поле изолиний средней месячной суммы осадков (мм), полученное методом сплайн-аппроксимации, июль 1984 г. (53 станциями).

Усл. обозначения см. рис.1

Таблица 2

Характеристики погрешности восстановления средних многолетних значений сумм осадков по территории Белорусской ССР (53 станции)

Характеристика	$R_6$	$R_7$	$R_8$	$R_{10}$	$R_4$	$R_8$
$\delta_a$ мм	4,33	5,51	3,64	4,12	2,76	5,55
$\delta_0$	-0,18	-0,06	-0,25	0,09	-0,02	-0,39
$\epsilon_{\delta a}$ мм	5,87	6,68	7,77	4,84	5,67	3,63

Для оценки возможности применения реализованного алгоритма онлайн-интерполяции в процедуре автоматизированного контроля режимной метеорологической информации было проведено сравнение полей невязок, отклонений от норм, полученных линейной интерполяцией, испол-

Таблица 3

Статистические характеристики погрешностей восстановления отклонений сумм осадков  $R_i$  за  $i$ -й месяц от средних многолетних значений на территории Белорусской ССР (53 станции)

Величина	Исходное поле		$R_i$	Расчетное поле	
	$\bar{\varphi}$ мм	$\sigma_{\varphi}$		$\bar{\varphi}$ мм	$\sigma_{\varphi}$
$R_6$	44,86	16,56	0,40	44,59	14,21
$R_7$	2,58	25,99	0,62	3,02	25,16
$R_8$	-38,20	38,73	0,73	-38,00	35,03
$R_9$	13,64	10,50	0,43	13,19	9,33
$R_{10}$	38,50	11,08	0,78	38,66	9,97
$R_4$	11,07	9,77	0,56	10,98	8,27

зуемой в действующей схеме контроля [7], и рассчитанных по сплайнам. В качестве тестовых массивов использовались усредненные за месяц значения температуры воздуха  $T_a$ , температуры поверхности почвы  $T_s$ , относительной влажности  $F$ , скорости ветра  $V$ , общего количества облаков  $N_o$ , количества облаков нижнего  $N_e$  яруса, атмосферного давления  $p$ , а также месячные суммы осадков  $R_i$  на станциях Белорусской ССР. Точность восстановления характеризовалась средней величиной невязки модуля отклонения от нормы

$$\Delta^2 \bar{\varphi} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |\Delta \varphi_i - \Delta \varphi_i|^2 \quad (3)$$

и величиной среднего модуля восстановленного отклонения

$$\Delta \bar{\varphi} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \Delta \varphi_i^2, \quad (4)$$

где

$$\Delta \varphi_i = |\varphi_i - \varphi_{0i}|, \quad \Delta \bar{\varphi} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \Delta \varphi_i, \quad (5)$$

$\varphi_i$  - значение метеорологической величины на  $i$ -й станции;  $\varphi_{0i}$  - среднее многолетнее значение метеорологической величины на  $i$ -й станции;  $\varphi_i^2$  - восстановленное по сплайну абсолютное значение отклонения;  $\Delta \varphi_i$  - отклонение, восстановленное по существующей методике [7];  $N$  - число станций.

Поле атмосферного давления ( $p$ ) аппроксимировалось в реальных величинах, так как действующая система контроля расчет норм не предусматривает. Результаты расчетов полей отклонений от норм для всех рассмотренных величин представлены в табл. 4. Средние величины

Таблица 4

Средние абсолютные отклонения от норм метеорологических величин, полученных разными способами по территории Белорусской ССР (ноябрь 1979 г.)

Величина	$\Delta \bar{\varphi}$	$\Delta \bar{\varphi}^2$	$\Delta^2 \bar{\varphi}$	$\Delta \tau \bar{\varphi}$
$T_a^{\circ C}$	1,41	1,40	0,25	0,19
$T_s^{\circ C}$	1,53	1,53	0,44	0,42
F %	2,04	2,06	1,50	1,11
$u$ м/с	0,71	0,73	0,59	0,43
$N_0$	0,46	0,52	0,22	0,21
$N_8$	0,81	0,76	0,53	0,46
R мм	14,3	14,2	4,34	4,31
P Па	-	1000,3	2,4	-

отклонений, как видно из соотношения значений  $\Delta \bar{\varphi}$  и  $\Delta \bar{\varphi}^2$ , приведенных в первых двух графах таблицы, хорошо восстанавливаются с помощью сплайна. Величины невязок по сплайну (третья графа таблицы) получаются несколько завышенными по сравнению с невязками, полученными в результате применения линейной интерполяции, хотя и близкими к последним. В значительной степени это объясняется большей кривизной аппроксимирующей поверхности в случае сплайна, а также использованием специальных процедур отбора станций в процессе расчета поля невязок методом линейной интерполяции.

Построенные сплайн-аппроксимации метеорологических полей на территории Белорусской ССР послужили основой для разработки процедур расчета средних значений метеорологических величин по площади республики или ее отдельных частей. Контуры областей осреднения задавались на мелкой сетке в пределах прямоугольной области интерполяции, включающей всю территорию республики.

Предварительно был выполнен ряд численных экспериментов по интегрированию модельных дискретных распределений, заданных в пределах единичного квадрата на сетке с произвольным расположением узлов. Аналитическое выражение для сплайна (2) можно проинтегрировать по прямоугольной ячейке  $\Delta x, \Delta y$ :

$$\int_{x_0}^{x_0+\Delta x} \int_{y_0}^{y_0+\Delta y} \sigma(x,y) dx dy = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \lambda_i \left[ \frac{1}{3} \Delta x^3 \Delta y - \Delta x \Delta y^3 * (\ln(\Delta x^2 + \Delta y^2) - \frac{2}{3}) + \right. \\ \left. + \frac{1}{8} \operatorname{arctg} \frac{\Delta x}{\Delta y} (\Delta x^4 - 5 \Delta y^4) + \frac{1}{6} \operatorname{arctg} \frac{\Delta y}{\Delta x} * (5 \Delta x^4 - \Delta y^4) \right] + \\ + \gamma_{00} xy + \gamma_{10} \frac{x^2}{2} y + \gamma_{01} x \frac{y^2}{2}. \quad (6)$$

ормировка этого интеграла на площадь области интегрирования позволяет получить среднее значение интересующей нас величины по площади.

Серия численных экспериментов была выполнена с четырьмя аналитическими заданными в единичном квадрате распределениями с различной контрастностью:

$$f_1(x, y) = y \sin 4\pi x + \sin \frac{\pi x}{2} \cos 4\pi x, \quad (7)$$

$$f_2(x, y) = y \sin 3\pi x + \sin \frac{\pi x}{2} \cos 3\pi x, \quad (8)$$

$$f_3(x, y) = y \sin \pi x + \sin \frac{\pi x}{2} \cos \pi x, \quad (9)$$

$$f_4(x, y) = y \sin \frac{\pi x}{3} + \sin \frac{\pi x}{2} \cos \frac{\pi x}{3}, \quad (10)$$

которые задавались на 52 нерегулярно расположенных узлах. Помимо лайнов для расчета интегралов от  $f_i(x, y)$  по площади использовались другие, более традиционные способы: метод полигонов и замена одного по площади средним арифметическим [4, 5]. Результаты расчетов, представленные в табл. 5, свидетельствуют о том, что интегрирование на основе сплайн-аппроксимации дает для всех  $f_i(x, y)$  значения средних, наиболее близкие к их точным аналитическим значениям.

Таблица 5

Значения средних по площади  $J_{f_i}$ , полученных различными способами для  $f_i(x, y)$ ,  $i = 1, 4$

Метод интегрирования	$J_{f_1}$	$J_{f_2}$	$J_{f_3}$	$J_{f_4}$
еднеарифметический	-0,043	-0,034	0,393	0,788
лайн-функция	-0,023	0,071	0,341	0,775
тод полигонов	-0,114	0,044	0,376	0,775
алитический	0,000	0,106	0,318	0,765

Эксперименты по сравнению различных способов расчета средних значений метеорологических величин по территории Белорусской ССР оводились с пространственными распределениями средних суточных и едних месячных значений метеорологических величин на сети, включающей 51 пункт наблюдений. Различия в осредненных по площади средних суточных значениях различных величин (для осадков - сумм за сут.), полученных тремя способами, можно проследить по табл. 6. Для температуры уточнение за счет применения сплайна составляет

Таблица 6

Средние суточные (01.01.84) значения метеорологических величин, усредненные по территории Белорусской ССР (51 станция) различными способами

Метод интегрирования	Метеорологическая величина			
	$T_a$ °C	$T_s$ °C	$v$ м/с	$R$ мм
Среднеарифметический	1,96	0,08	7,19	6,31
Метод полигонов	1,85	0,11	7,25	6,96
Сплайн-функция	1,83	0,002	7,50	7,08

порядка 0,1-0,2°, для скорости ветра 0,3-0,5 м/с. Средняя по площади республики сумма осадков, получаемая по сплайну, на 0,7-1,0 мм превышает сумму, рассчитанную простым усреднением. Максимальное уточнение интегрирования с использованием сплайн-аппроксимации по волеет получать при интегрировании конкретных полей. Этот вывод подтверждается результатами расчетов интегралов от пространствен распределений средних месячных значений различных элементов (табл

Таблица 7

Средние месячные (январь, июль) значения метеорологических величин, осредненные по территории Белорусской ССР (51 станция, 1984 г.) различными способами

Метод интегрирования	Метеорологическая величина				
	$T_a$ °C	$T_s$ °C	$F$ %	$v$ м/с	$R$ мм
	январь				
Среднеарифметический	-2,82	-3,65	83,9	4,23	78,1
Метод полигонов	-2,88	-3,66	83,9	4,27	48,4
Сплайн-функция	-2,88	-3,66	83,9	4,50	48,6
	июль				
Среднеарифметический	15,6	18,6	78,0	2,41	66,6
Метод полигонов	14,5	18,5	78,2	2,44	68,5
Сплайн-функция	14,5	18,4	78,5	2,60	69,1

Более гладкий рельеф таких полей проявляется в меньших, по сравнению с полями средних суточных значений величин, относительных различиях в интегралах, полученных разными способами. В целом метод полигон дает для большинства метеорологических величин значения средних более близкие к результатам расчетов по сплайну, чем использовани среднего арифметического значения.

Выполненные численные эксперименты с разработанными и реализованными на ЭВМ алгоритмами интерполяции и осреднения, основанными на методах сплайн-аппроксимации в области с произвольным расположением триангуляционных узлов, результаты применения этих алгоритмов к реальным полям метеорологических величин различной сложности подтвердили их практическую ценность для использования в процедурах контроля и восстановления метеорологической информации.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- В а с и л е н к о В.А. Сплайн-функции: теория, алгоритмы, программы. - Новосибирск: Наука, 1983. - 215 с.
- В о с о л о в В.В., Г о н т о в Д.П., П у с т ы л ь н и - к о в Л.М. Вариационный подход к задачам интерполяции физических полей. - М.: Наука, 1982. - 119 с.
- З а в ь я л о в Ю.С., К в а о о в Б.И., М и р о ш н и ч е н - к о В.А. Методы сплайн-функций. - М.: Наука, 1980. - 352 с.
- К а г а н Р.Л. Осреднение метеорологических полей. - М.: Гидрометеиздат, 1979. - 214 с.
- К о б ы ш е в а Н.В., Н а р о в л я н с к и й Г.Я. Климатологическая обработка метеорологических полей. - М.: Гидрометеиздат, 1978. - 295 с.
- К о с т ь к о в В.В. Объективный анализ и согласование метеорологических полей. - М.: Гидрометеиздат, 1982. - 181 с.
- М е т о д и ч е с к и е указания по проведению критического контроля результатов метеорологических наблюдений на сети станций. - Л.: Гидрометеиздат, 1981. - 70 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

Персин С.М., Анискин Л.В., Васильев А.А. Гусарова Е.В. Микропроцессорный прибор для измерения высоты нижней границы облаков.....	
Персин С.М., Боровиков А.А., Васильев А.А. Методы повышения достоверности измерений ВНГО.....	
Емельянова Г.Ю., Кондратюк В.И. Методи- ческие основы определения себестоимости программ гидрометеоро- логических наблюдений .....	
Емельянова Г.Ю., Кондратюк В.И. Опреде- ление себестоимости и цели гидрометеорологических характерис- тик.....	
Светлова Т.П. Критерии достоверности метеорологи- ческой информации .....	
Копычева В.С., Светлова Т.П. Контроль ветра как векторного процесса.....	
Лапшина Е.Г., Соколова Г.П., Федоро- вич Е.Е. Сопоставление методов расчета приземных потоков тепла, влаги и количества движения по данным стандартных метеорологических наблюдений.....	
Резников Г.П. Метод учета зависимости психметри- ческого коэффициента от скорости ветра или аспирации.....	8
Кашевар В.В. К вопросу визуального определения метео- рологической дальности видимости в темное время.....	10
Федорович Е.Е., Чурина Е.Н. Восстановление мезомасштабных полей средних месячных значений метеорологичес- ких величин и контроль режимной метеорологической информации о помощи онлайн-аппроксимации на хаотической сетке.....	10