

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР
ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ И КОНТРОЛЮ
ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

ТРУДЫ
ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ГЛАВНОЙ ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ
им. А. И. ВОЕЙКОВА

Выпуск

473

МЕТОДИКА
МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

Под редакцией
канд. физ.-мат. наук Д. П. БЕСПАЛОВА



ЛЕНИНГРАД ГИДРОМЕТЕОИЗДАТ 1983

66
778

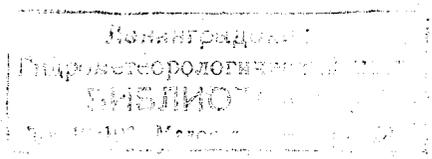
Посвящен вопросам усовершенствования методики метеорологических наблюдений, разработки аппаратуры, реализующей новые методы измерений и обработки результатов, а также результатам исследований по разработке объективных методов контроля качества и достоверности метеорологических данных и использования этих оценок в методическом руководстве сетью станций.

Сборник рассчитан на специалистов УГКС, а также на преподавателей и студентов вузов и техникумов по специальности метеорология и метеорологические измерения.

The publication contains works on improving the procedures for meteorological observations, development equipment, realizing new techniques for measurements and processing of the results, as well as the results of studies on the developing objective methods for checking the quality and reliability of meteorological data and using these evaluations in the methodical guidance of the network of stations.

The publication is intended for specialists of the Administrations of the USSR State Committee for Hydrometeorology and Control of the Natural Environment as well as the specialists of research institutes engaged in development of measuring equipment and systems of meteorological measurements.

32.4.852



Д. П. Беспалов, С. М. Персин, Н. Г. Протопопов, Н. П. Русин

ОСНОВНЫЕ ВОПРОСЫ РАЗРАБОТКИ СЕТЕВОЙ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ

Проблема автоматизации работы метеорологических станций на современном этапе выросла в проблему создания автоматизированной системы наблюдений, включающую в себя не только автоматизацию сбора, обработки и представления метеоинформации, но и ее анализ и обобщение. Это обусловлено новыми задачами, поставленными перед Госкомгидрометом в связи с программами мониторинга климата. Задача непрерывного слежения за развитием атмосферных процессов, выявления факторов и причин, обуславливающих наблюдаемую тенденцию их развития, наряду с точностью и достоверностью измеряемых параметров, требует оперативного анализа влияния их изменений на состояние и развитие процессов различного масштаба (от сотен метров до региональных и глобальных масштабов). Создаваемые для этих целей различного рода модели атмосферных процессов требуют больших потоков текущей метеоинформации, вводимой в вычислительные машины [6, 7].

Опыт эксплуатации автоматических метеорологических станций в Белорусском УГКС показал, что только полная автоматизация циклов работы по сбору, обработке и представлению метеоинформации имеет и экономический, и социальный эффекты [1, 5]. При этом было показано, что обслуживание народнохозяйственных организаций оперативной и справочной информацией по текущей и прошедшей погоде в принципе может быть сосредоточено в центре сбора и обработки метеоданных. Однако реализация такой формы обслуживания на порядок увеличивает загрузку линий связи, требует оснащения метеостанций абонентскими пунктами обращения к ЭВМ в центре обработки. Кроме того, существенно повышается загрузка центра обработки за счет нерегулярных обращений, что влечет за собой необходимость оснащения центров более мощными ЭВМ. Учитывая сравнительно высокую стоимость эксплуатации линий связи и далеко не всегда реальную обеспеченность устой-

чивой связи станций с ЭВМ центра обработки информации, целесообразно при создании второго поколения автоматизированной сети оставить за станциями основной объем работ по обслуживанию народнохозяйственных организаций.

Важной социально-экономической проблемой, решаемой при автоматизации работы метеорологической станции, является максимальное сокращение ручного труда с целью уменьшения обслуживающего персонала станций. Решению этой задачи препятствует большое количество визуальных наблюдений, входящих в программу работы станции.

Известно, что в настоящее время полная программа наблюдений на сети метеостанций включает измерение и наблюдение примерно за 100 характеристиками метеорологических элементов и явлений. Из них половина наблюдается визуально. Технические трудности создания приборов (датчиков) для замены визуальных наблюдений инструментальными измерениями существенно тормозят дальнейшее развитие автоматизации. Созданные в настоящее время автоматические станции измеряют весьма ограниченное число метеопараметров. Большой объем информации по-прежнему получается путем визуальных наблюдений и последующего ввода данных в каналы связи. Такая технология получения информации не позволяет сократить обслуживающий персонал станций.

Многочисленные попытки создания аппаратуры для перевода наблюдений на инструментальную основу не имели успеха потому, что создание автономных приборов для каждого из наблюдаемых параметров и явлений неизбежно вело к чрезмерному усложнению системы в целом. Кроме того, большинство разработчиков, желая упростить измерительные средства, стремились идентифицировать какое-либо атмосферное явление по одному измеряемому информационному параметру (например, наличие тумана — по значению метеорологической дальности видимости). Это приводило к неоднозначности определения наличия того или иного явления.

Процесс визуального определения наблюдателем наличия какого-либо атмосферного явления — это решение логической задачи распознавания образа по наличию тех или иных признаков (предикторов). Например, туман определяется визуально по наличию взвешенных в воздухе мелкодисперсных капелек воды, ухудшающих метеорологическую дальность видимости до 1 км и менее. Создание автономного прибора, решающего эту же задачу, — технически трудная задача.

Возможность использования на современном этапе микропроцессорной техники открывает путь к решению проблемы перевода визуальных наблюдений на инструментальную основу более простым путем. Например, имеется возможность реализации метода логической диагностики наличия атмосферных явлений путем анализа погодной ситуации по совокупности измеряемых метеопараметров-предикторов, присущих определяемому явлению. В качестве предикторов могут быть использованы измеряемые метеорологические параметры и их производные (атмосферное давление,

температура, влажность, ветер и т. д.). Дополнительно могут быть организованы измерения новых параметров (кинетическая энергия осадков, наличие осадков на горизонтальной поверхности и их температура и т. п.). Для повышения надежности диагноза явлений необходимо привлекать для логической обработки параметры, характеризующие как условия образования, так и условия существования определяемого явления. Применительно к диагностике тумана может быть использована следующая информация:

- а) высокое значение относительной влажности воздуха (80—95 %) и тенденция ее повышения;
- б) тенденция к понижению температуры воздуха;
- в) наличие отрицательного радиационного баланса (для случая образования радиационного тумана);
- г) скорость ветра меньше некоторого критического минимума (для случая радиационного тумана);
- д) отсутствие атмосферных осадков на горизонтальную поверхность (определенной критической интенсивности);
- е) метеорологическая дальность видимости 1 км и меньше.

Первые четыре параметра относятся к условию образования, а два последних — к условию существования тумана.

Предварительная проработка вопроса перевода визуальных наблюдений на инструментальную основу, выполненная в ГГО, подтвердила принципиальную возможность логической диагностики подавляющего большинства атмосферных явлений. Одним из путей является рационализация программы наблюдений, направленная, с одной стороны, на ее упрощение за счет сокращения некоторых второстепенных наблюдений, а с другой — на замену одних видов наблюдений на эквивалентные им, но поддающиеся инструментальному наблюдению. Например, замена информации о среднем размере градин информацией о средней кинетической энергии.

Перечень измеряемых параметров-предикторов, необходимых для логического распознавания большинства атмосферных явлений, может быть следующим:

1. Атмосферное давление и его тенденция.
2. Температура воздуха и ее тенденция.
3. Влажность воздуха и ее тенденция.
4. Скорость ветра и ее изменение.
5. Направление ветра и его изменение.
6. Метеорологическая дальность видимости и ее изменение.
7. Высота нижней границы облаков и ее изменение.
8. Наличие грозы и ее пеленг.
9. Наличие осадков, их количество и интенсивность.
10. Наличие отложений на поверхности и предметах.
11. Температура поверхности почвы и ее тенденция.
12. Температура осадков и отложений.
13. Суммарная радиация и радиационный баланс.
14. Наличие гололедных отложений на ЛЭП.
15. Кинетическая энергия выпадающих осадков.

Больше половины этих параметров может быть получено с помощью уже существующих датчиков в сочетании с вычислительным устройством. Для получения остальных параметров необходимо доработать существующие датчики (актинометрические, наличия грозы), а также создать ряд новых датчиков. Технические предпосылки для создания таких датчиков имеются.

Наибольшие технические трудности представляет перевод на инструментальную основу наблюдений за облачностью. Решение, очевидно, следует искать на путях дальнейшего совершенствования радиометеорологических методов измерения и развития метода, основанного на использовании радиационных свойств облаков.

Реализация метода логической диагностики наличия атмосферных явлений и визуально наблюдаемых метеопараметров требует постановки НИР и ОКР, в процессе выполнения которых необходимо решить ряд научно-методических и опытно-конструкторских задач, первоочередными из которых являются:

- совершенствование программы наблюдений с целью согласования ее с задачами полной автоматизации процесса получения метеоинформации;

- уточнение физических понятий и определений ряда атмосферных явлений и визуально определяемых метеопараметров с целью выработки отсутствующих в настоящее время количественных критериев, которые могут быть положены в основу требований к аппаратуре для инструментального определения их наличия и интенсивности;

- определение перечней минимально необходимого числа предикторов, требующихся для диагностики явлений с достаточной для практических целей достоверностью;

- разработка новых и усовершенствование существующих датчиков для измерения необходимого числа параметров-предикторов с помощью автоматической станции;

- разработка алгоритмов и программ логической диагностики явлений и визуально наблюдаемых метеопараметров.

Основным шагом при техническом переоснащении существующей сети гидрометеорологических станций должно быть создание унифицированной автоматической гидрометеорологической станции, построенной на базе микропроцессорной техники. Другой подход к созданию станции, заключающийся в использовании комплекта автономных дистанционных приборов и решения задач управления и обработки не программным, а оперативным путем, приводит к большой аппаратурной избыточности, причем не только в устройствах обработки, что, очевидно, но и в комплекте датчиков. Другим серьезным недостатком такого подхода является плохая приспособленность создаваемого аппаратурного комплекса к любым изменениям.

Одним из главных требований, предъявляемых к унифицированной автоматической сетевой станции, должна быть гибкость, т. е. приспособленность к изменению и расширению круга решаемых

мых задач (подключение новых датчиков, изменение программы работы, средств и форматов отображения и выдачи и т. п.) без значительных переделок станции. Как показывает анализ сложившейся системы метеонаблюдений, а также накопленный опыт эксплуатации станций М-106М на сети Белорусского УГКС и аэродромных станций КРАМС, только станция, обладающая широкими управляющими и вычислительными возможностями, структурной и информационной избыточностью, способна противостоять моральному старению в условиях постоянного изменения методики измерений, технических средств и требований выдаваемой потребителям информации.

Отсутствие в настоящее время необходимого комплекта датчиков и алгоритмов для логической диагностики атмосферных явлений не является препятствием к разработке и внедрению станции: сама станция и организация автоматизированной сети должны позволять непрерывное (поэтапное) повышение уровня автоматизации по мере создания новых датчиков и алгоритмов. В перспективе имеется в виду полная автоматизация большинства станций массовой сети с сохранением за оператором только функций техобслуживания станции.

Остановимся на некоторых принципах построения автоматической сетевой гидрометеорологической станции (АГМС) с учетом требований к объему и программам наблюдений. Автоматическая станция должна быть унифицированной и выпускаться в различных модификациях в соответствии с назначением и решаемыми задачами. Такая станция должна строиться по блочно-модульному принципу. Следует разработать основной, базовый вариант унифицированной станции, на базе которого создаются ее модификации: станции с дополнительными гидрологическими, актинометрическими, теплобалансовыми, атмосферно-электрическими и другими комплексами средств измерения.

Обеспечение требований гибкости, возможности наращивания функций, создания модификаций на базе основной модели требует построения станции на основе ЭВМ (микропроцессора). По производительности для сетевой станции пригодны все основные серийные микроЭВМ, в том числе однокристалльные микроЭВМ, «Электроника НЦ-80», «Электроника 05-31».

Стоимость современных микроЭВМ того же порядка или даже меньше стоимости одного прибора, используемого на станции (например, ИВО, РДВ, М-63М-1), поэтому применение микроЭВМ не только резко расширяет возможности станции, но и позволяет значительно ее удешевить по сравнению со станцией с жесткой структурой (без ЭВМ). Применение микроЭВМ позволит упростить не только устройства автоматики, но и датчики, позволяя заменить ряд аппаратурных решений обработкой данных.

Упрощенная блок-схема станции показана на рис. 1. Базовая АГМС должна обеспечивать автоматизацию основных видов гидрометеорологических измерений, ручной ввод данных, не измеряемых пока автоматически, обработку измерений, возможность кон-

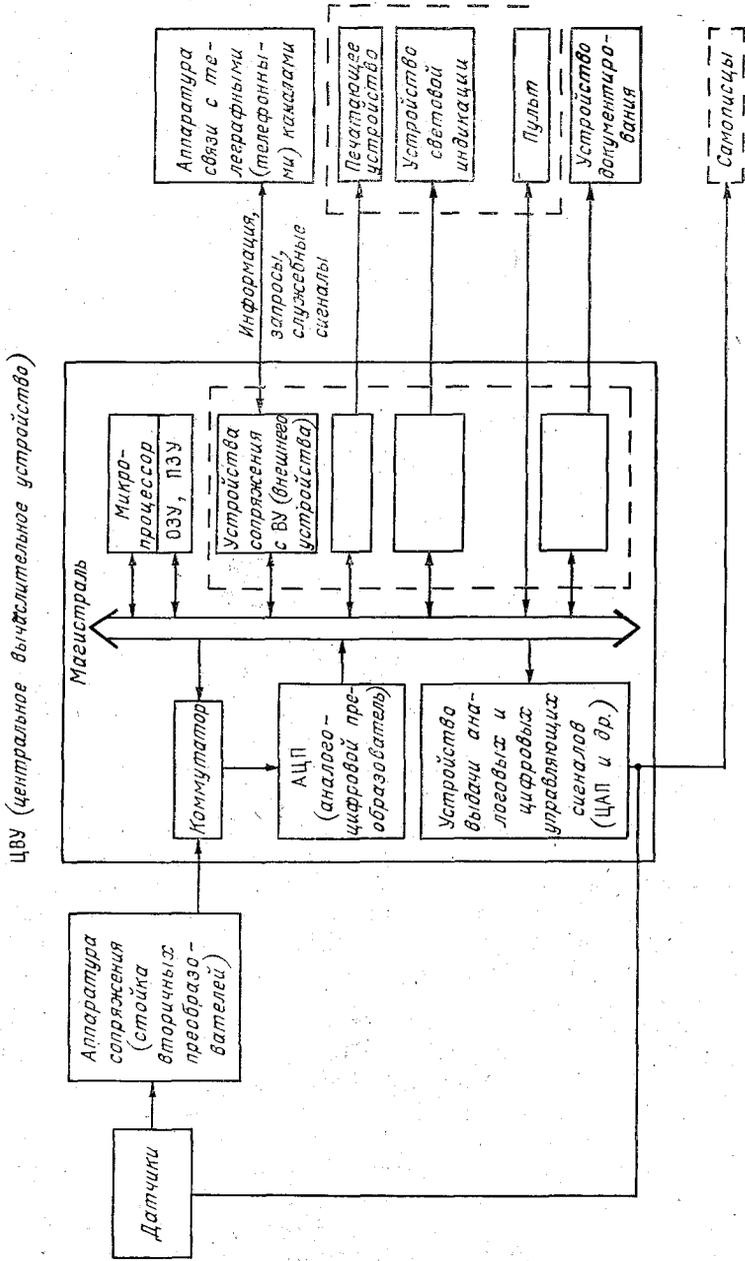


Рис. 1. Структура сетевой станции.

троля и редактирования информации оператором, формирование синоптических и штормовых телеграмм, документирование всей информации, включая режимную, на техническом носителе.

Остановимся кратко на этих функциях.

1. Измерительная система станции должна строиться как многоканальная с одним или несколькими унифицированными электрическими измерительными параметрами, с коммутацией измерительных каналов и общим (одним или несколькими) аналого-цифровым преобразователем. Система должна иметь достаточное число резервных каналов или возможность ступенчатого наращивания их числа (общее число до 100 каналов), т. е. обеспечивать простое подключение новых датчиков с унифицированными выходными сигналами. Требование к быстродействию системы невысоки (цикл опроса 100 каналов — порядка 30 с). Для расширения возможности базовой станции (в частности, для гидрологической модификации) должна быть предусмотрена возможность вынесения групп датчиков на расстояние до 5 км с помощью групповой аппаратуры (дистанционных блоков).

2. МикроЭВМ в АГМС служит не только для обработки данных, но и для управления станцией и всеми внешними устройствами (датчиками, измерительной системой, устройствами отображения данных и др.). Должна быть предусмотрена возможность простого изменения программы работы станции посредством замены или наращивания программных модулей в запоминающем устройстве.

Получение данных по ряду атмосферных явлений, определяемых на основе логической связи с измеряемыми метеопараметрами, получение характеристик метеопроцессов (средних, экстремальных значений, тенденций и др.), получение комплексных характеристик погоды и других должно осуществляться в станции, как правило, не аппаратным (т. е. с помощью автономных приборов), а программным путем. Это резко упрощает станцию и повышает ее надежность.

Обработка информации, осуществляемая микроЭВМ, включает: ведение календаря, управление станцией в режимах контроля штормовой ситуации, получение и выдачу данных в сроки наблюдений, работу по запросу оператора и с канала связи, обработку измерений (коррекцию погрешностей, цифровую фильтрацию, контроль данных, определение средних и экстремальных значений, линеаризацию выходных сигналов датчиков, определение метеопараметров и наличия явлений по связям с измеряемыми параметрами, определение характеристик суточного хода ряда метеоэлементов и их тенденций, формирование данных для режимных целей и др.), формирование сообщений в каналы связи и на устройства отображения и регистрации.

В станции предусматривается режим постоянного слежения за штормовыми параметрами в соответствии с [3].

3. Станция должна осуществлять выдачу информации на печатающее устройство, устройство документирования данных на тех-

ническом носителе (перфоленга, магнитная лента), на устройство визуального отображения и в телеграфный канал связи. В зависимости от назначения станции часть этих функций и соответствующих внешних устройств может отсутствовать. Должна быть предусмотрена возможность автоматического приема запросов от ряда абонентов. Информация, выдаваемая в каналы связи (в сроки наблюдений, по запросу, при возникновении, усилении и прекращении штормовых явлений), должна быть однородна с данными, выдаваемыми неавтоматизированной сетью. Должны иметься два режима выдачи в телеграфный канал связи: автоматический и с предварительным контролем и необходимой коррекцией телеграмм оператором. Во втором случае телеграмма выдается после сигнала разрешения оператора.

На технический носитель осуществляется занесение режимных данных в соответствии с [5]. Устройство световой индикации (табло или простой дисплей) используется при контроле и коррекции данных оператором. Печатный текст используется персоналом метеостанции для оперативного обслуживания различных потребителей.

4. Станция должна допускать различные варианты ее использования (в том числе и без участия наблюдателя) без какой-либо модернизации, т. е. работать в полностью автоматическом режиме. Должна быть предусмотрена сигнализация оператору о характере метеорологической ситуации, например, о возможности появления опасных явлений. Такая сигнализация является предупреждением о необходимости проведения визуальных наблюдений за метеопараметрами, для измерения которых пока нет датчиков. Для расширения возможностей станции полезно предусмотреть графическую регистрацию на ленте самописцев ряда метеопараметров.

Модификации станции с дополнительными комплексами средств измерения (актинометрические, гидрологические и др.) должны строиться без изменения конструктивов базовой модели посредством подключения дополнительных модулей средств измерений и замены программных модулей.

Внедрение автоматической сетевой станции требует определенной перестройки сети. Станция может быть использована:

1) в обсерваториях и на гидрометеорологических станциях с полным объемом наблюдений. В этом случае на станциях II разряда может сохраняться круглосуточное дежурство и полный штат наблюдателей; на обсерваториях и станциях I разряда количество персонала может быть сокращено.

Применение АГМС позволит резко повысить качество и оперативность метеоинформации (благодаря объективности и синхронности основных видов количественных измерений, непрерывному слежению за опасными явлениями, возможности более частых измерений и т. д.). Достигается существенное облегчение работы наблюдателя (особенно в темное время и в трудных погодных условиях), уменьшение его загруженности (прежде всего связанной с непрерывным слежением за погодой и выполнением раз-

личных операций по подготовке и передаче данных), повышение квалификации наблюдателя;

2) на автоматических станциях с сокращенным штатом наблюдателей и сокращенным объемом данных по параметрам, не измеряемым автоматически. В том числе:

а) станции без ночных смен. Количество персонала 3—4 человека. Уменьшается число наблюдателей, а также их загрузка в дневное время. Повышается качество метеоданных. В ночное время выдаются только данные, полученные на основе автоматических измерений;

б) станции без наблюдателя или с прерывистым рабочим днем у наблюдателя. Обслуживает станцию один человек. Его функция — осуществление наблюдений один-два раза в сутки и ввод их результатов в станцию, профилактика датчиков и присмотр. Станция имеет полный объем автоматически измеряемых параметров и сокращенный (один-два раза в сутки) объем данных ручного ввода.

Как указывалось, станции по пп. 1, 2а и 2б — это одна и та же станция в разных режимах работы (может быть различие лишь в комплектации).

Внедрение станций по п. 2б обозначает разрядку сети метеоданных по ряду метеорологических элементов, не измеряемых автоматически, а по п. 2а — разрядку по этим данным в ночное время. Процент станций, переводимых на режимы 2а и 2б, и методы восполнения недостающих данных (привлечение радиолокационных данных и др.) требуют проработки и обоснования. Грубо ориентировочно можно принять в первые 10 лет для режима 2б — 20 %, для режима 2а — 40 %. Это число будет возрастать по мере создания новых датчиков, разработки алгоритмов нахождения метеоэлементов на основе их связей с другими параметрами, накопления опыта эксплуатации автоматических станций. Полагая срок работы станций 10 лет, получим, что экономия на зарплате персонала станций 2а и 2б примерно окупает затраты на автоматику. В перспективе основным на сети (за исключением станций, работающих по международному обмену) явится режим работы станции с минимальным обслуживанием (станции 2б).

Разработку и внедрение унифицированной автоматической сетевой станции целесообразно осуществить в два этапа. По окончании первого этапа, реализуемого в достаточно короткий срок, станция должна включать выпускаемые промышленностью датчики и датчики, разработка которых может быть завершена в указанный срок. При этом, как отмечалось, станция должна быть приспособлена к простому подключению новых датчиков и изменению программы. Последующая модернизация осуществляется в процессе эксплуатации станций по мере разработки новых датчиков и алгоритмов и должна сводиться, в основном, к подключению датчиков и замене программных модулей. Автоматизированная сеть, состоящая из унифицированных станций с микроЭВМ, приспособлена также к изменению технологической базы, аппара-

туры автоматики, замене морально устаревших средств представления данных и даже микроЭВМ на новую серийную аппаратуру без болезненной перестройки производства и работы сети.

Рассмотренный выше подход к автоматизации сетевых гидрометеорологических измерений обеспечивает преемственность в работе сети и ее непрерывное развитие.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гломозда А. А. О комплексной автоматизации Гидрометслужбы БССР.— В кн.: Разработка и эксплуатация автоматических метеорологических станций. Л., Гидрометеиздат, 1974, с. 124—130.

2. Гольберг М. А. Использование данных автоматизированных средств измерений для режимных обобщений.— В кн.: Разработка и эксплуатация автоматических метеорологических станций. Л., Гидрометеиздат, 1974, с. 154—167.

3. Инструкция гидрометеорологическим станциям по информации об опасных гидрометеорологических явлениях.— Л.: Гидрометеиздат, 1972.— 14 с.

4. Меджитов Р. М. Использование данных автоматизированных средств наблюдений в оперативной работе.— В кн.: Разработка и эксплуатация автоматических метеорологических станций. Л.: Гидрометеиздат, 1974, с. 145—154.

5. Методические указания по машинной обработке и контролю данных гидрометеорологических наблюдений. Вып. 3, ч. 1, разд. I.— Обнинск, 1976.— 28 с.

6. Пененко В. В., Алоян А. Е., Лазриев Г. Л. Численная модель локальных атмосферных процессов.— Метеорология и гидрология, 1979, № 4, с. 24—34.

7. Численное моделирование микроклимата города/Г. И. Марчук, В. В. Пененко, А. Е. Алоян, Г. Л. Лазриев.— Метеорология и гидрология, 1979, № 9, стр. 5—15.

*Л. В. Анискин, А. Д. Бахменд, В. Е. Боханов, В. Е. Карпуша,
С. А. Капустин, Р. А. Круглов, Ю. М. Лобозинков,
Э. Л. Персина, М. С. Стернзат, Т. И. Ушакова*

АЭРОДРОМНАЯ ДИСТАНЦИОННАЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКАЯ СТАНЦИЯ

Для метеорологических измерений на аэродромах местных воздушных линий до последнего времени выпускалась только дистанционная метеорологическая станция М-49 [8]. Эта станция была разработана в конце 50-х годов и представляет собой достаточно надежное дешевое дистанционное устройство, которое обеспечивает измерение скорости и направления ветра, температуры и влажности воздуха. Однако в течение последних двух десятилетий требования к количеству и качеству метеорологической информации непрерывно возрастали, соответственно повышались требования к измерительным и другим метеорологическим техническим средствам. Вполне закономерно, что М-49 по своим техническим и метрологическим характеристикам перестала удовлетворять требованиям к составу и точности информации для метеообеспечения по-

летов. Поэтому в настоящее время М-49 используется только для оперативного получения ориентировочных сведений о значении измеряемых ею величин, а все необходимые данные получают с помощью стандартных метеорологических приборов, применяемых на сети гидрометстанций. Несмотря на потребность в современных технических средствах для метеообеспечения полетов на местных воздушных линиях, в течение долгого времени их разработке не уделялось должного внимания [9].

Лишь в 1977 г. ГГО совместно с РОЗ ГМП завершили разработку дистанционной станции, предназначенной для метеорологических подразделений некатегорийных аэропортов (аэродромов). В соответствии с назначением станция названа АДМС (аэродромная ДМС).

В 1981 г. запланирован выпуск первой серийной партии АДМС. АДМС имеет ряд принципиальных отличий от М-49. Она содержит устройства, обеспечивающие ее автоматическое действие как по заданной программе, так и по командам оператора; время получения и выдачи информации по значительному числу характеристик (более 10) в зависимости от установленного оператором режима работы АДМС занимает 1—5 мин. АДМС имеет высокие эргономические показатели. Оператор станции почти полностью освобожден от выполнения простых трудоемких работ, связанных с производством измерений и записью их результатов, от слежения за моментами производства измерений, что особенно трудно при частом обновлении информации.

Основные устройства АДМС

1. Датчики метеорологических величин, преобразующие эти величины в электрические сигналы, удобные для дистанционной передачи по проводным линиям связи.

2. Вторичные преобразователи метеорологических величин, которые преобразуют сигналы, получаемые от датчиков, в напряжение постоянного тока, пропорциональное значению измеряемой величины.

3. Блок управления преобразования и выдачи информации (БУПВИ), обеспечивающий управление всеми автоматически действующими датчиками, вторичными преобразователями и внешними устройствами, преобразование поступающей в него информации от датчиков, вторичных преобразователей и через пульт ручного ввода в кодовые сигналы, пригодные для приема внешними устройствами.

4. Блок питания (БП), содержащий источники всех видов напряжений, необходимых для функционирования БУПВИ и отдельных датчиков.

5. Внешние устройства: рулонный телеграфный аппарат (РТА) и индикаторные устройства (ИУ), преобразующие кодовые сигналы БУПВИ в цифровые знаки, регистрирующие (РТА) и высве-

чивающие (ИУ) всю выдаваемую АДМС информацию в цифровом виде в абсолютных значениях измеряемых величин и принятых условных обозначениях визуально наблюдаемых явлений и характеристик погоды.

На рис. 1 показаны все основные блоки АДМС, допустимое удаление блоков от центрального устройства БУПВИ, установленного в помещении станции.

В состав АДМС входят по два датчика МДВ и ВНГО, что обеспечивает одновременное измерение этих величин в двух точках аэродрома.

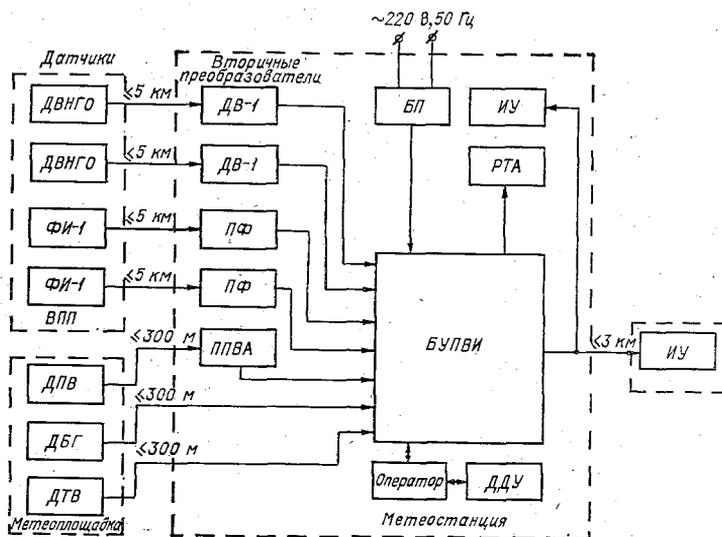


Рис. 1. Блок-схема АДМС.

По результатам измерений, автоматически производимых станцией, и по введенным оператором вручную (через пульт БУПВИ) результатам выполненных им отдельных измерений и визуальных наблюдений за состоянием погоды получаем информацию (табл. 1).

Вся обработка как данных автоматических измерений, так и введенных оператором вручную и выдача полученной информации производится АДМС автоматически.

Станция производит измерения и выдает информацию по заданной программе через определенные интервалы времени 5, 10, 30 мин; 1, 2, 3 ч по выбору оператора, а также при появлении близких гроз (в радиусе 25—40 км). Кроме того, информация может быть обновлена по команде оператора станции (через БУПВИ) и с диспетчерского (командного) пункта через установленный там ИУ. Оператор может также, пользуясь пультом БУПВИ, внести коррективы и дополнения в выдаваемую станцией информацию.

Состав информации, выдаваемой АДМС

Состав информации	Измерение	Способ введения данных	Предел измерения	Погрешность измерения
Время, ч, мин	Автоматическое	Автоматический	0—24	± 8 с/сут
Атмосферное давление P мм рт. ст.	"	Ручной	660—800	0,2
Температура воздуха t °С	"	"	-60... +60	$\pm 0,2$ °С
Относительная влажность воздуха r %	Вычисление	"	30—100	5 % при $t > 0$ °С 7—10 % при $t < 0$ °С
Максимальная скорость ветра $v_{\text{макс}}$ м/с	Автоматическое	Автоматический	3—60	$\pm (1-0,07)$ м/с
Средняя скорость ветра за 2 мин $v_{\text{ср}}$ м/с	"	"	1—40	$\pm (0,5-0,05)$ м/с
Мгновенная скорость ветра $v_{\text{мгн}}$ м/с ¹	"	"	0—60	"
Направление ветра φ °	"	Не вводится	0—360	± 10 °
Метеорологическая дальность видимости S м	"	Автоматический	50—60	$\pm (7-20)$ % на разных участках диапазона
Высота нижней границы облаков H м	"	"	50—1000	—
Наличие близких гроз в радиусе 25—40 км (да, нет)	"	"	—	—
Опасные явления погоды (туман, дымка, метель, вьюжная буря, дождь, снег, град, гололед, отдаленная гроза) ²	Визуальные наблюдения	Ручной	—	—

Примечания: 1. Значения $v_{\text{мгн}}$ считаются оператором с указателя ППВА. 2. Опасные явления погоды выдаются в условных кодовых обозначениях.

АДМС разрабатывалась с учетом необходимости возможно большей унификации с КРАМС, особенно по датчикам. Так в АДМС применены датчики КРАМС: параметров ветра, ВНГО, близких гроз, атмосферного давления. Разработанные для АДМС ДТВ воздуха и вторичный преобразователь ППВА уже применяются, а датчик МДВ — ФИ-1 будет применен в КРАМСе.

Предусмотрена возможность применения аппаратуры АДМС как в стационарных условиях, так и в кузове автомашины. Питание АДМС осуществляется от сети или генератора бензоагрегата переменным током напряжением 220 В, частотой 50 Гц.

Ниже приводится описание отдельных устройств АДМС, принципы их работы, при этом особое внимание уделено БУПВИ, являющемуся центральным управлением станции и определяющему основные специфические качества станции.

Блок управления, преобразования и выдачи информации

БУПВИ предназначен для управления датчиками и вторичными преобразователями, для преобразования выходных сигналов вторичных преобразователей в дискретную форму, для формирова-

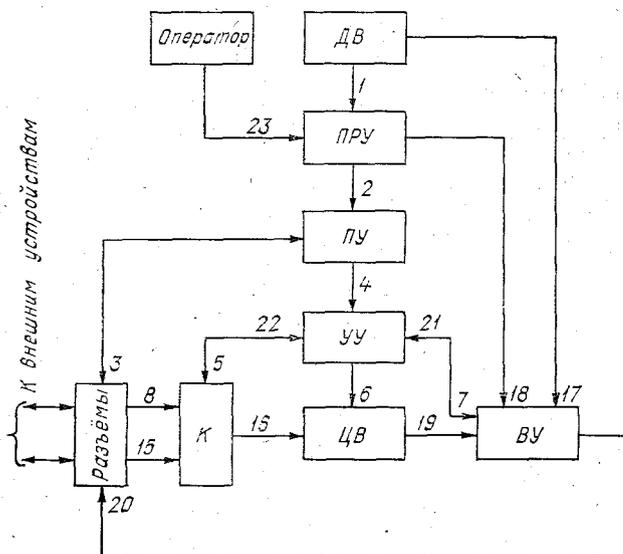


Рис. 2. Структурная схема БУПВИ.

ния и выдачи метеорологической информации на РТА и ИУ. Структурная схема БУПВИ изображена на рис. 2. БУПВИ состоит из датчика времени (ДВ), пульта ручного управления (ПРУ), программного устройства (ПУ), управляющего устройства (УУ), коммутатора (К), цифрового вольтметра (ЦВ) и выводного уст-

ройства (ВУ). ДВ ведет счет времени, вырабатывает сигналы запуска станции, а также тактовые сигналы, необходимые для работы различных узлов БУПВИ. Датчик времени содержит камертонный генератор на 1 кГц и пересчетные схемы.

ПРУ используется для ручного ввода данных, измерения температуры сухого и смоченного термометров ДТВ, при настройке и проверке исправности БУПВИ. ПРУ содержит программаторы, обеспечивающие кодирование вводимых данных, индикаторные элементы, позволяющие получать информацию о текущем времени, готовности к измерениям ДТВ, о наличии грозы.

ПУ вырабатывает сигналы подготовки датчиков к измерениям, сигналы пуска УУ, а также обеспечивает запоминание грозы на 0,5 ч с момента прихода последнего грозового импульса.

ПУ содержит счетчик минут программы с переменным коэффициентом счета, дешифратор и формирователи сигналов подготовки датчиков, счетчик минут грозовой ситуации.

УУ обеспечивает определенную последовательность работы БУПВИ путем выдачи сигналов на коммутацию каналов ко входу ЦВ, пуска ЦВ, пуска ВУ при формировании каждой группы сообщения. Оно содержит счетчик и дешифратор сигналов управления.

ЦВ преобразует напряжение постоянного тока, поступающее на его вход, в параллельный двоично-десятичный код. Используется также для измерения выходного напряжения неравновесного моста схемы измерения температуры, контроля питающих напряжений станции.

ВУ передает информацию во внешние устройства. В нем параллельный двоично-десятичный код числа преобразуется в последовательный телеграфный код МТК № 2, формируются сигналы необходимой длительности и амплитуды для выдачи на ИУ.

Коммутатор осуществляет подключение информационных каналов ко входу ЦВ или ВУ, включение и выключение датчиков, управление РТА и ИУ. Коммутатор содержит двоичный счетчик сигналов «Шаг коммутации», приходящих из УУ, дешифратор номера коммутируемого канала, усилители мощности и исполнительные реле. Коммутатор обеспечивает возможность подключения к БУПВИ 32-х информационных каналов, 16 из которых в настоящее время являются резервными.

БУПВИ не имеет запоминающего устройства, и поэтому его работа строится по принципу измерения и выдачи результатов последовательно по каждому информационному каналу. Запуск БУПВИ осуществляется сигналами собственного датчика времени, сигналами запросов, приходящих из ПРУ и ИУ и сигналами грозы, приходящими из ДГ. Рассмотрим работу БУПВИ по сигналам ДВ.

ДВ вырабатывает сигналы запуска БУПВИ (за 4 мин до 5- и 10-минутных сроков, за 5 мин до 30-минутного, часового, трехчасового сроков), которые по связи 1 поступают в ПРУ на переключатель режимов работы. Выбранный (в зависимости от

режима работы) сигнал поступает по связи 2 в ПУ и запускает его. ПУ начинает выдачу сигналов подготовки датчиков к измерениям (включения аспирации ДТВ, включения датчиков МДВ, ВНГО и др.), которые по связи 3 поступают на разъемы подключения датчиков.

По окончании выдачи сигналов подготовки датчиков ПУ запускает УУ (связь 4). Начинается цикл измерения, формирования и выдачи сообщения. Выдаваемое сообщение содержит 13 групп. При формировании каждой группы УУ последовательно и с необходимой задержкой выдает сигналы «шага коммутации» (связь 5), «пуска ЦВ» (связь 6) и «пуска ВУ» (связь 7). По сигналу «шаг коммутации» коммутатор подключает выход соответствующего вторичного преобразователя (связи 8—15), представленный напряжением постоянного тока, ко входу ЦВ (связь 16), а выходы ДВ и ПРУ, представленные параллельным двоично-десятичным кодом, ко входу ВУ (связи 17, 18). По сигналам «пуск ЦВ» происходит автоматический запуск ЦВ и начинается измерение напряжения, поданного на его вход.

Результат измерения напряжения в виде параллельного двоично-десятичного кода поступает на вход ВУ (связь 19). По команде «пуск ВУ» начинается формирование по длительности и последовательная выдача кодовых посылок на разъемы подключения РТА и ИУ (связь 20). По окончании выдачи последней группы сообщения в управляющее устройство по связям 21 и 22 поступают сигналы из ВУ и К, останавливающие его. Цикл измерения и выдачи очередного сообщения заканчивается.

Работа БУПВИ по сигналам запросов с ПРУ и ИУ, а также по грозе происходит подобным образом. При этом меняется работа ПУ, а в целом взаимосвязь узлов БУПВИ остается прежней.

БУПВИ обеспечивает работу станции по трем видам программ: основной, сокращенной и по грозе. Основная программа, кроме собственно измерения, формирования и выдачи сообщения, включает подготовку датчиков температуры и влажности, МДВ и ВНГО к измерениям. Она реализуется при работе БУПВИ по сигналам ДВ с периодами выдачи информации 30 мин и более, а также по сигналам «вызов» 5-минутной программой с ПРУ. Наиболее длительной подготовки требует ДТВ, что связано с его инерцией, и потому время работы станции по основной программе максимально и составляет 5 мин 30 с.

Сокращенная программа не включает подготовку ДТВ (обновления данных по температуре и влажности не производится), поэтому время работы станции по этой программе составляет 30 с (при готовности датчиков МДВ и ВНГО к измерениям) или 2 мин 30 с (если эти датчики требуют подготовки).

Программа по грозе (выполняется автоматически при появлении близких гроз) аналогична сокращенной программе. При неподготовленных датчиках МДВ и ВНГО с приходом сигнала грозы БУПВИ формирует и выдает штормовую телеграмму, содержа-

щую только информацию о текущем времени и появлении грозы, а через 2 мин выдается штормовая телеграмма с полным объемом информации.

При готовности датчиков МДВ и ВНГО к измерениям с приходом сигнала грозы сразу выдается штормовая телеграмма с полным объемом информации.

БУПВИ выполнен в виде настольного прибора, на лицевой панели которого расположены шкала ЦВ, органы управления, про-

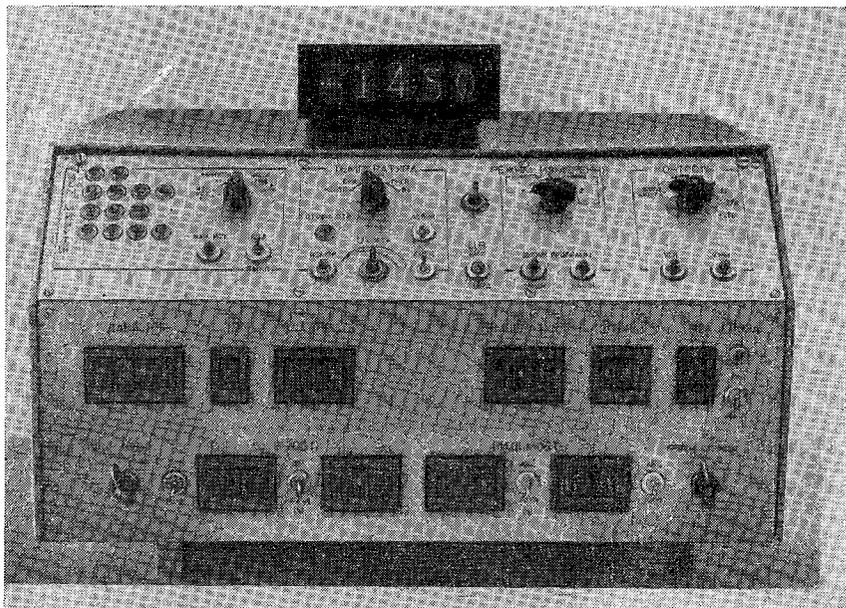


Рис. 3. Внешний вид БУПВИ.

грамматоры ручного ввода метеоданных, сигнальные лампочки. БУПВИ содержит 12 выдвижных плат. На одной из ее боковых стенок размещены разъемы подключения внешних устройств. Для обеспечения работоспособности БУПВИ в подвижном варианте станции он смонтирован на амортизаторах. Внешний вид прибора приводится на рис. 3.

Основной элементной базой электронных узлов БУПВИ являются ИМС 133-й серии.

Датчики и преобразователи

Датчик температуры и влажности воздуха (ДТВ) АДМС разработан на базе датчика КРАМС [1, 9], который не мог быть применен в составе АДМС из-за больших габаритов и массы,

особенно, в укладке для транспортировки и некоторых конструктивных недостатков, затруднявших эксплуатацию датчика. ДТВ АДМС уже производится, включен в состав КРАМС и совместно с ней описан [7, 9].

ДТВ состоит из двух блоков: психрометра (справа) и гигрометра (слева), соединенных между собой воздухопроводом (для аспирации гигрометра), выполняющим одновременно роль кронштейна, соединяющего оба блока (рис. 4).

Чувствительными элементами датчика являются два платиновых терморезистора (сухой и смоченный) и волосная «гитара».

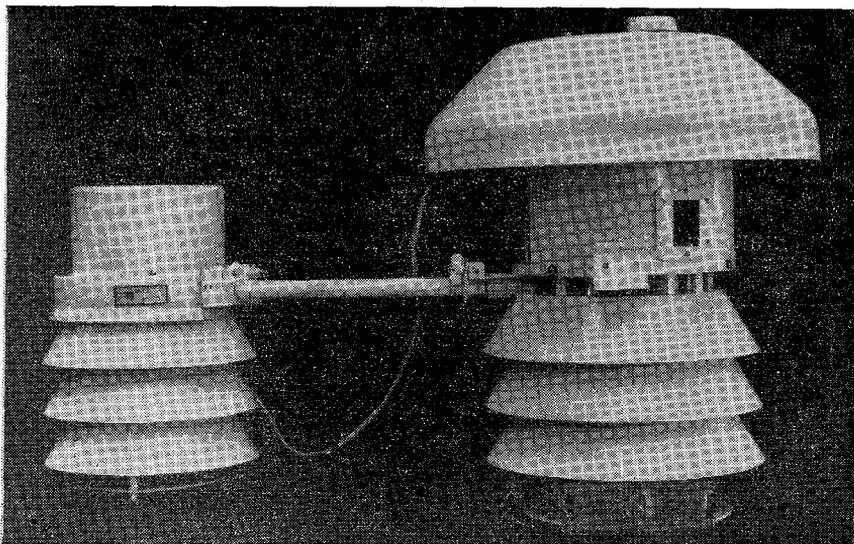


Рис. 4. Внешний вид ДТВ.

Сухой терморезистор преобразует температуру воздуха, а смоченный — температуру испаряющей поверхности в сопротивление.

Волосная «гитара», механически связанная с ротором индукционного потенциометра, преобразует относительную влажность воздуха в напряжение постоянного тока. Это напряжение поступает непосредственно на вход БУПВИ.

Платиновые терморезисторы подключаются на вход вторичного преобразователя температуры.

Двухблочная конструкция ДТВ обеспечивает хороший доступ к смоченному терморезистору при смене батиста. На весь сезон года, когда температура воздуха выше 0°C и измерения влажности воздуха производятся с помощью психрометра, гигрометр с воздухопроводом может сниматься. Масса и габариты ДТВ уменьшились более чем в 2 раза по сравнению со старым датчиком. Метеорологические характеристики ДТВ удовлетворяют требова-

ниям, предъявленным к АДМС и КРАМС. Однако для его применения в АДМС необходим дополнительный преобразователь, который имеется в составе станции. Подготовка ДТВ (подача питания на терморезисторы, на двигатель аспиратора и бесконтактный потенциометр, аспирация терморезисторов и волосной гитары в течение 4 мин) производится по командам с БУПВИ (при работе станции по основной программе) автоматически, а во всех других случаях при нажатии соответствующей кнопки на ПРУ БУПВИ.

Блок вторичного преобразования температуры предназначен для преобразования электрического сопротивления платиновых терморезисторов, применяемых в ДТВ в качестве чувствительных элементов сухого и смоченного термометров, в напряжение, которое линейно зависит от температур. Схема аналогичного устройства была ранее описана [6], поэтому здесь коротко опишем принцип действия.

Блок содержит неравновесный мост (плечами которого является терморезистор, постоянное и два регулируемых сопротивления), дешифратор, связанный с цифровым выходом ЦВ, и управляющий исполнительными реле, регулирующими плечи моста. Коррекция нелинейности температурной зависимости платинового терморезистора и нелинейности мостовой схемы достигается разбивкой всего диапазона измерения температуры на шесть поддиапазонов и соответствующей в каждом поддиапазоне регулировкой сопротивления переменных плеч моста и напряжения питания моста, в результате чего обеспечивается линеаризация с необходимой точностью зависимости выходного напряжения моста от температуры. Процесс преобразования и измерения происходит в два этапа. На первом этапе с помощью ЦВ грубо измеряется сопротивление терморезистора, результат измерения с выхода ЦВ в параллельном двоично-десятичном коде подается на дешифратор, который определяет поддиапазон. Дешифратор включает соответствующую группу исполнительных реле, которые, срабатывая, производят необходимые (расчетные) изменения переменных плеч и напряжения питания моста. На втором этапе с помощью ЦВ производится окончательное измерение напряжения, находящегося в линейной зависимости от температуры. Так как выходное напряжение преобразователя линейно меняется в пределах от $-0,6$ до $+0,5$ В при изменении температуры от -60 до $+50$ °С, показания ЦВ соответствуют значениям измеряемой температуры (°С) с учетом знака. Оба этапа измерения выполняются автоматически при нажатии оператором кнопки на передней панели БУПВИ примерно за 2 с.

Для того чтобы избежать погрешности, связанной с перегревом терморезистора измерительным током, в схеме преобразователя предусмотрена подача напряжения питания на мост только на время измерения (1,5 с), а также уменьшение питающего напряжения вдвое в первом цикле измерения.

Измерение характеристик ветра в АДМС осуществляется с помощью датчика параметров ветра (ДПВ) станции КРАМС-М

[1, 10] и ППВА. ДПВ преобразует мгновенную скорость ветра в пропорциональную ей частоту импульсов, а направление ветра в угол поворота флюгарки, связанной с ППВА маломощным следящим приводом. ППВА преобразует сигналы, поступающие от ДПВ, в напряжения постоянного тока пропорциональные мгновенной скорости, сглаженному направлению, а также средней и максимальной скорости ветра. Интервал определения средней и максимальной скорости ветра составляет 2 мин. Предусмотрена возможность визуального отсчета значений всех перечисленных параметров.

ППВА АДМС (рис. 5) разработан на основе преобразователя станции КРАМС-М [7, 10], но отличается от последнего по своим

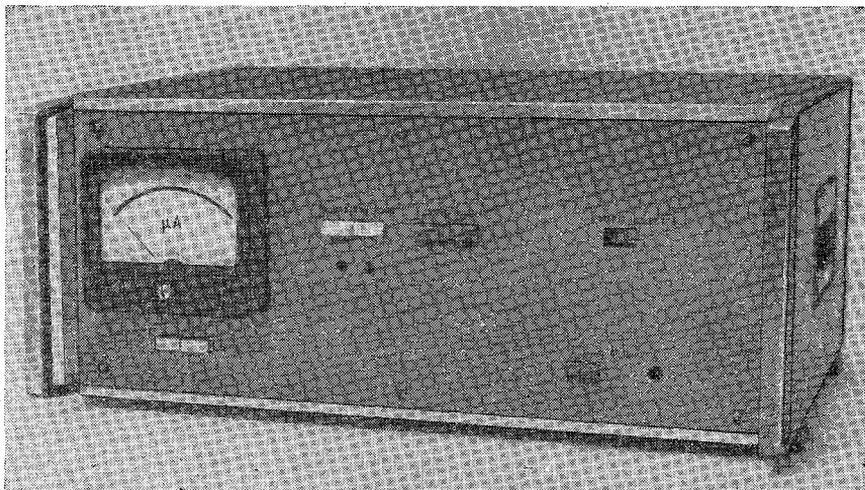


Рис. 5. Внешний вид ППВА.

техническим данным. В нем повышена точность измерений и оперативность обновления метеоинформации, предусмотрена возможность работать в составе станций, не имеющих вычислительного устройства, и в качестве самостоятельного прибора (совместно с ДПВ). Обновление информации в ППВА о направлении и мгновенной скорости ветра происходит непрерывно, а о средней и максимальной скорости с интервалом 30 с.

В дальнейшем данный ППВА войдет в состав усовершенствованной станции КРАМС-М.

Для определения средней и максимальной скорости ветра в ППВА реализованы методы аналого-дискретного интегрирования и аналого-дискретного нахождения экстремума процесса [2, 6]. Структурная схема блока средней и максимальной скорости ветра приведена на рис. 6. Устройство включает в себя формирователь импульсов со стабильными амплитудой и длительностью (1), блок диодно-емкостных звеньев (2), инерционное звено

(3), коммутаторы (4, 7), работающие по сигналам от блока управления (11), развязывающие повторители (5, 6), емкость запоминания максимума (8), устройство запоминания средней скорости (9) и микроамперметр (10), позволяющий производить визуальный отсчет значений измеряемых параметров ветра.

Импульсы от датчика поступают на вход формирователя (1) и далее на сглаживающие звенья R_1C_1 , R_2C_2 , R_3C_3 , постоянные времени которых выбраны с учетом частоты их коммутации, интервала измерения скорости ветра и ее статистических характе-

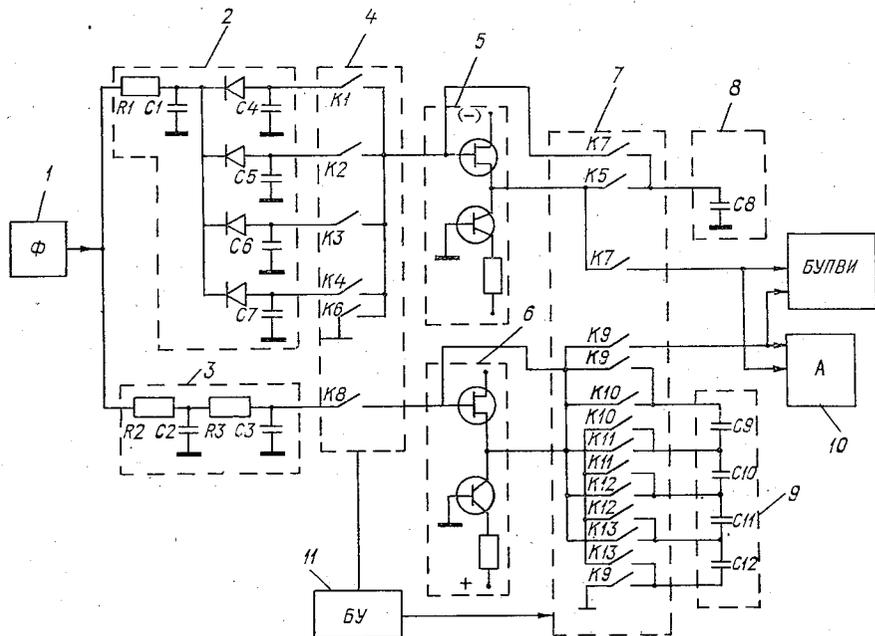


Рис. 6. Структурная схема ППВА.

ристик. Расчеты показывают, что при определении средней скорости $v_{ср}$ за 2 мин по сумме четырех равномерных отсчетов сглаженных значений скорости ветра величина методической погрешности будет минимальна при постоянных сглаживания $R_2C_2 = R_3C_3 = 90$ с и не превысит 2,5 % $V_{ср}$. При определении максимальной скорости $V_{макс}$, осредненной за интервалы $T = 3$ с, методическая погрешность определения $V_{макс}$ будет минимальна при $R_1C_1 \approx 1,2$ с.

В канале максимальной скорости ветра напряжение с фильтра R_1C_1 поступает через диоды на емкости $C_4—C_7$, где происходит запоминание максимума за последовательные двухминутные интервалы, сдвинутые относительно друг друга на 30 с. Последнее обеспечивается работой контактов $K1—K6$, управляемых блоком (11). Каждые 30 с происходит одновременное срабатывание одного из контактов $K1—K4$ на время $T = 1$ с и контакта $K5$ на

$T = 0,5$ с. После отпущения $K5$ срабатывает кратковременно $K6$ и схема возвращается в исходное состояние. Замыкание контактов $K1—K4$ происходит поочередно с интервалом 30 с. При этом поочередно осуществляется передача информации с емкостей $C4—C7$ на емкость $C8$ и последующий разряд $C4—C7$ для подготовки к выработке максимума за следующий интервал. На емкости $C8$ всегда имеется напряжение, пропорциональное максимальной скорости ветра, которое обновляется каждые 30 с. По сигналам опроса от блока управления БУПВИ (или от оператора) срабатывают контакты $K7$ и напряжение с емкости $C8$ поступает через развязывающий повторитель на вход БУПВИ и на указатель ППВА. В канале средней скорости напряжение с фильтра каждые 30 с поступает через развязывающий повторитель на одну из емкостей $C9—C12$, при этом контактами $K10—K13$ обеспечивается поочередное подключение $C9—C12$ к выходу повторителя. Таким образом, каждые 30 с обновляется значение средней скорости ветра, пропорциональное суммарному напряжению на этих емкостях. По сигналу опроса от БУПВИ или от оператора АДМС срабатывают контакты $K9$ и суммарное напряжение от $C9—C12$ поступает через повторитель на вход БУПВИ.

Узел измерения направления ветра ППВА заимствован из преобразователя параметров ветра станции КРАМС-М [1, 10]. Питание ППВА и ДПВ осуществляется от источника переменного тока напряжением 220 В и частотой 50 Гц. Включение в работу ППВА и ДПВ может производиться дистанционно или вручную оператором. После включения они работают непрерывно и в любой момент готовы к выдаче информации.

В качестве датчика метеорологической дальности видимости (МДВ) станции АДМС применен импульсный фотометр ФИ-1, принцип действия которого нами был описан ранее [3].

ФИ-1 обеспечивает измерение МДВ в пределах от 50 до 6000 м на двух измерительных базах (40 и 200 м) между фотометрическим блоком (БФ) и двумя отражателями, устанавливаемыми на расстояниях 20 и 100 м от БФ. Внутри БФ размещены прожектор и фотоприемник. В фокальной плоскости приемного зеркала БФ расположена шторка с двумя диафрагмами (по числу отражателей). Диафрагмы расположены в местах изображения отражателей. Одна из диафрагм перекрыта подвижной шторкой, которая управляется переключателем диапазонов. Благодаря этому обеспечивается раздельный прием сигналов от каждого отражателя в соответствии со значением МДВ. Дальний отражатель выполнен в виде набора трипель-призм. Ближний отражатель — зеркально-линзовый. Перемещением зеркала вдоль оптической оси ближнего отражателя можно регулировать отраженный световой поток, не оказывая влияния на световой поток от дальнего отражателя.

ФИ-1 в достаточной мере защищен от воздействия фонового излучения и поэтому не требует противофонового щита за дальним отражателем.

БФ содержит измерительный преобразователь, выходное на-

пряжение которого прямо пропорционально отношению излученного и возвращенного на приемное зеркало световых потоков, т. е. прозрачности атмосферы.

Для получения результата измерения в виде сигнала, пропорционального МДВ, применен функциональный преобразователь

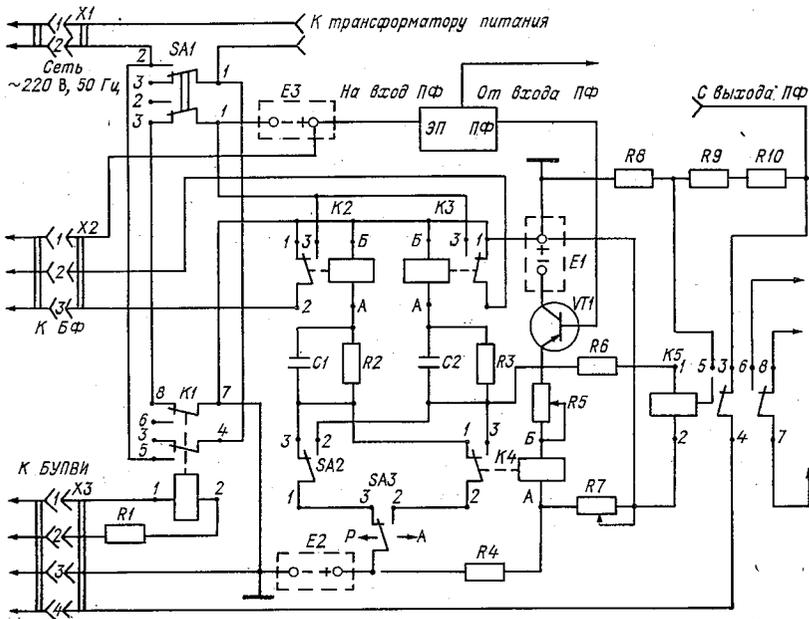


Рис. 7. Схема дистанционного управления ФИ-1.

(ПФ). Он устанавливается в метеоподразделении на удалении до 5 км от БФ. ПФ является также пультом дистанционного управления при использовании ФИ-1 в качестве автономного прибора и соединяется с БФ трехпроводной линией связи. Один провод является общим, а два других используются для передачи сигналов управления и получения результата измерения при работе на одной или другой измерительной базе.

ПФ обеспечивает ручное и автоматическое переключение ФИ-1 на работу с ближним или дальним отражателем в зависимости от значения измеряемой МДВ. Схема управления приведена на рис. 7.

Одновременное включение в работу ПФ и БФ осуществляется вручную тумблером SA1 или автоматически реле K1 с БУПВИ.

В момент включения срабатывает одно из реле K2, K3, формируя своими контактами импульс от источника E3 для включения БФ, который подается по проводам 1 и 2 (или 3) разъема X2. Срабатывание реле происходит при подключении к ним источника E2 через тумблер SA2 при ручном управлении или реле K4 при автоматическом.

Режим управления задается тумблером SA3. Возврат реле K2,

$K3$ в исходное состояние происходит по окончании зарядки конденсаторов $C1$ и $C2$. Сопротивления $R1$ и $R2$ выбраны так, чтобы ток через реле был меньше тока отпущания.

В момент включения БФ открывается также одна из его диафрагм, обеспечивая прием оптических сигналов от одного из отра-

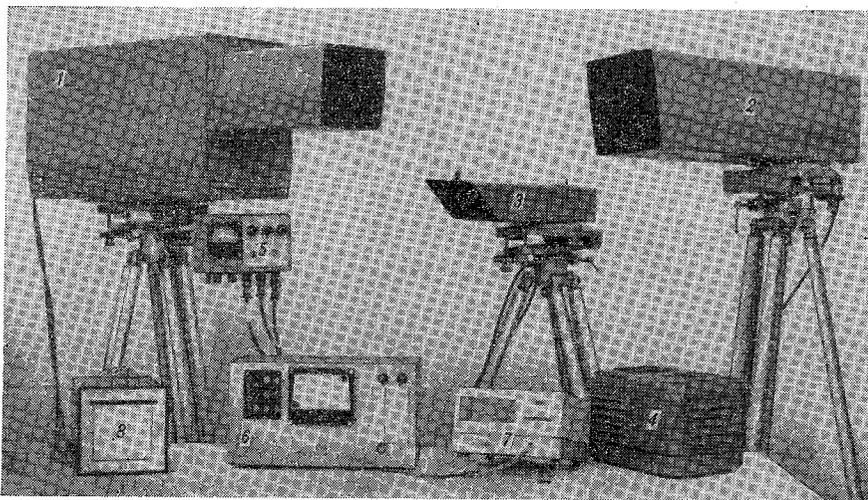


Рис. 8. Комплект ФИ-1.

1 — фотометрический блок, 2 — дальний отражатель, 3 — ближний отражатель, 4 — стабилизатор сетевого питания, 5 — распределительный щит, 6 — функциональный преобразователь, 7 — цифровой вольтметр, 8 — самописец.

жателей. Выходной сигнал БФ, в виде электрического напряжения, подается по проводам 1 и 2 (или 3) разъема $X2$ на вход ПФ через эмиттерный повторитель (линия связи ПФ с БФ с момента включения БФ обесточивается и используется для передачи сигналов). С выхода повторителя сигнал поступает на базу транзистора $VT1$, через который подключено реле $K4$. Моменты срабатывания и отпущания реле (в зависимости от уровня сигнала на базе $VT1$) задаются резисторами $R4$, $R5$ и $R7$. Выходной сигнал ПФ, прямо пропорциональный МДВ, подается в БУПВИ через контакт 4 реле $K5$ и общий провод. Передача сквозного диапазона в БУПВИ обеспечивается реле $K5$, переключающее делитель $P8—P10$. $K5$ обеспечивает также включение световой индикации используемого диапазона измерения.

Реле $K5$ питается от источника $E2$ через тумблер $SA2$ или контакты реле $K4$. Выключение БФ обеспечивается одновременной подачей импульса в оба провода (2 и 3) разъема $X2$ через контакты 1—3 тумблера $SA1$ и контакты 7—8 реле $K1$.

Источники $E1$, $E2$ и $E3$ гальванически развязаны вторичными обмотками трансформатора питания ТА13-127/220-50.

При автономном режиме работы ФИ-1 к ПФ могут подключаться ЦВ для индикации МДВ и самописец для регистрации прозрачности.

Комплект ФИ-1 показан на рис. 8.

Датчики ВНГО АДМС и КРАМС идентичны. Это РВО-2 неполной комплектации (датчики и приемник световых импульсов и пульт управления) с приставкой ДВ-1. БУПВИ управляет работой ДВНГО (включение и выключение питания, открывание и закрывание крышек датчика и приемника импульсов, запуск измерения), снимает показания ДВНГО, производит обработку и выдачу результата измерений ВНГО в метрах.

Измерение атмосферного давления производится с помощью УДД [4, 8], который состоит из ДД КРАМС и блока питания, обеспечивающего его автономное действие. Измерение давления производится УДД автоматически. Значение давления отсчитывается по цифровой шкале ДД (в гектопаскалях). Электрическим выходным параметром ДД являются два сопротивления, значения которых играют роль грубого и точного отсчетов и функционально связаны со значением измеренного давления. В КРАМС по этому выходному параметру ДД путем машинной обработки вычисляется значение атмосферного давления. БУПВИ не обеспечивает такую обработку. Поэтому выдача информации по атмосферному давлению обеспечивается оператором, который отсчитывает показания ДД по цифровой шкале, вносит температурную поправку и вводит полученный результат (в гектопаскалях) в БУПВИ через ПРУ. Дальнейшая обработка и выдача данных производится автоматически.

Внешние устройства ИУ и РТА заимствованы из КРАМС [1, 10].

В заключение следует отметить, что АДМС при условии достаточного объема ее серийного производства, безусловно, будет широко применяться на АМСГ и сетевых станциях Госкомгидромета. На блоках АДМС может также базироваться аппаратура для оснащения метеорологических экспедиций. Это подтверждено успешным применением макетных и опытных образцов блоков АДМС в наземных и морских экспедициях по исследованию нижнего слоя атмосферы.

Дальнейшее совершенствование М-49 должно быть направлено на увеличение числа измеряемых метеорологических величин и все большую автоматизацию процесса измерений, обработки и выдачи информации в виде удобном как для непосредственного использования, так и для ее дальнейшей механизированной обработки. Это может быть достигнуто путем включения в состав М-49 новых датчиков, устройств автоматики и вычислительной техники (микроЭВМ). Существующая грань принципиального различия между автоматизированными и дистанционными станциями при этом исчезнет. Разработка неавтоматизированных М-49 нецелесообразна, так как она технически и экономически не оправдана.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Автоматическая станция КРАМС/Под ред. Л. П. Афиногенова, М. С. Стернзата.—Л.: Гидрометеоздат, 1974.
2. А. С 412554 (СССР). Датчик скорости ветра/Л. В. Анискин, С. М. Персии.—Опубл. в Б. И., 1974, № 3.
3. Бор Е. Л., Карпуша В. Е., Круглов Р. А. Экспериментальный образец импульсного фотометра ИФ-1.—Труды ГГО, вып. 433, 1979, с. 44—53.
4. Карпуша В. Е., Чернов Б. С. Измерение атмосферного давления.—Л.: Гидрометеоздат, 1973.
5. Персина Э. Л. Автоматическое устройство для цифрового измерения температуры.—Труды ГГО, вып. 313, 1973, с. 139—144.
6. Персии С. М. Основы теории и проектирования автоматических измерительных систем.—Л.: Гидрометеоздат, 1975, с. 216—288.
7. Приборы и установки для метеорологических измерений в аэропортах/Под ред. Л. П. Афиногенова, Е. В. Романова.—Л.: Гидрометеоздат, 1981.
8. Рейфер А. Б. Справочник по гидрометеорологическим приборам и установкам.—Л.: Гидрометеоздат, 1976, с. 327—330.
9. Стернзат М. С. О наземных дистанционных метеорологических станциях.—Труды ГГО, вып. 377, 1977, с. 139—144.
10. Стернзат М. С. Метеорологические приборы и измерения.—Л.: Гидрометеоздат, 1978, с. 327—330, 351—369, 92—96.

*С. М. Персии, Н. Г. Поликахина, Е. В. Романов,
Л. А. Щепановская*

КОМПЛЕКС АППАРАТУРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТУРБУЛЕНТНЫХ ПЕРЕНОСОВ

Аппаратурное определение пульсаций метеорологических элементов (температуры, влажности, составляющих вектора скорости ветра) и их характеристик, в первую очередь, турбулентных переносов тепла, влаги, количества движения, является неотъемлемой частью исследований атмосферной турбулентности. Поэтому созданию и модернизации приборов для измерения пульсаций и систем, служащих для получения характеристик турбулентных потоков, в СССР и за рубежом уделяется большое внимание [1—3, 7—9 и др.]. Одним из важных требований, предъявляемых к пульсационной аппаратуре, связанным с ее использованием в экспедиционных условиях, является получение основных измеряемых характеристик (дисперсий элементов, турбулентных потоков) непосредственно в процессе наблюдений, что является необходимым условием активного эксперимента. Поэтому аппаратура должна содержать вычислительное устройство для получения первых и

вторых моментов пульсаций (коррелятор). Необходимо также осуществлять цифровые измерения пульсаций с записью на магнитную ленту для последующего более глубокого анализа на ЭВМ (получения спектральных характеристик, нахождения области значащих частот, учета трендов и т. д.). С появлением микропроцессоров появилась возможность разработать малогабаритную экспедиционную аппаратуру, базирующуюся на микроЭВМ и осуществляющую глубокий анализ процессов и их характеристик непосредственно в процессе эксперимента. Появились первые работы в этом направлении [9], которые, несомненно, являются наиболее перспективными.

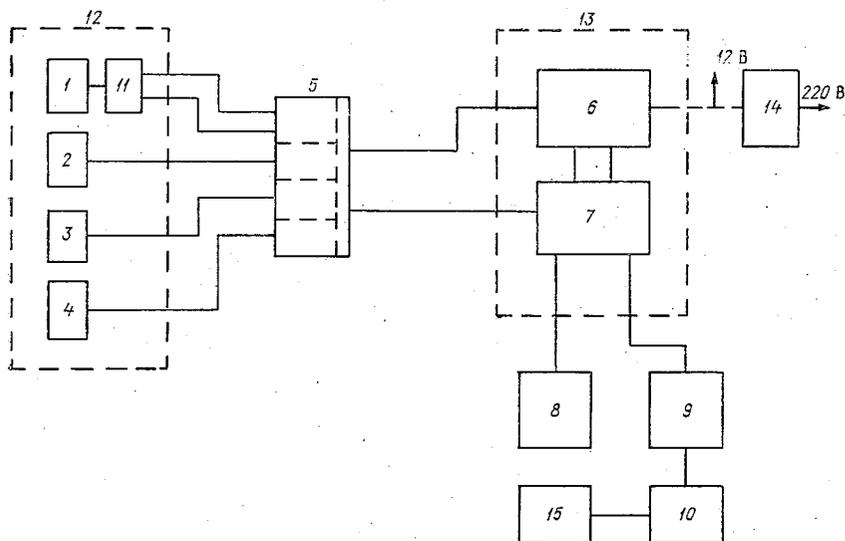


Рис. 1. Структура комплекса аппаратуры для измерения турбулентных переносов.

В данной статье приводится краткое описание комплекса аппаратуры (разработанной в ГГО в 1978—1980 гг.) для измерения пульсаций температуры, влажности, горизонтальной и вертикальной составляющих скорости ветра в приземном слое атмосферы и получения турбулентных потоков тепла, влаги и количества движения.

Структура комплекса аппаратуры представлена на рис. 1.

Комплекс аппаратуры включает первичные измерительные преобразователи (чувствительные элементы) (1—4) пульсационных датчиков, располагающиеся на выносной стреле (12), передающий блок (5), приемный блок (13), блок интеграторов и фильтров (9); самописец (8), систему централизованного контроля (10) с выходом на печатающую машинку или перфоратор (15).

Выносная стрела с передвижными измерительными приборами (ПИП) может перемещаться как по высоте мачты, так и вокруг

ее оси и укрепляться в заданном (по уровню и углу поворота) положении.

На стреле крепятся следующие ПИП:

— акустический датчик (1) пульсаций вертикальной ω' и горизонтальной u' (в направлении, определяемом установкой стрелы) составляющих вектора скорости ветра;

— первичный измерительный преобразователь пульсаций влажности q' (гигростор);

— первичные измерительные преобразователи пульсаций температуры воздуха $T'(3, 4)$ с использованием соответственно термометра сопротивления из платиновой проволоки и малоинерционного полупроводникового терморезистора.

Один из датчиков пульсаций температуры является контрольным и подключается к резервному каналу в передающем блоке (5).

Передающий блок (5) содержит устройства преобразования параметров ПИП в выходные сигналы, передаваемые в приемный блок (13). Часть измерительной схемы датчика пульсаций ветра (узел 11) конструктивно располагается непосредственно на выносной стреле. Максимальное удаление передающего блока от выносной стрелы, определяемое длиной кабелей, соединяющих блок (5) с ПИП (10 м). Максимальное удаление передающего блока от приемного — 120 м. Аппаратура позволяет осуществлять контроль работы датчиков и задание режимов как непосредственно с клавиатуры субблоков передающего блока (5), так и с помощью команд управления с приемного блока (13).

Стационарная аппаратура, располагающаяся в помещении, включает устройства обработки информации, регистрирующие устройства и блок питания.

Приемный блок (13) конструктивно состоит из блока коррелятора (7) и блока питания (6). Блок коррелятора служит для формирования напряжений, пропорциональных текущим значениям произведений $\omega' \cdot u'$, $\omega' \cdot t'$, $\omega' \cdot q'$, а также напряжений, пропорциональных пульсациям вертикальной и горизонтальной составляющих скорости ветра ω' и u' . Блок коррелятора содержит также резервные каналы для формирования произведений $\omega' \cdot a'$ или $u' \cdot a'$, где a' — пульсации некоторой субстанции. Один из этих каналов используется для резервного пульсационного термометра.

В комплексе аппаратуры предусмотрены: режим автоматических циклических измерений и режим ручного съема данных. В режиме ручного съема данных в блоке (9) осуществляется определение интегралов от значений пульсаций, их квадратов и произведений за заданный временной интервал с помощью электролитических интеграторов. Значения средних значений пульсаций определяются с целью введения поправок на нецентрированность процессов при вычислении потоков.

Устройство (9) содержит также блок фильтров, служащий для формирования сглаженных текущих значений пульсаций, их квадратов и произведений. Система централизованного контроля (10)

предназначена для циклического опроса сигналов на выходе блока фильтров и регистрации средних значений потоков и пульсаций за интервал между опросами (выход на печатающее устройство или перфоратор (15)). Это позволяет осуществить автоматизацию эксперимента и получить характеристики временного хода измеряемых потоков и дисперсий пульсаций.

Трех(пяти)-канальный световой осциллограф (8) служит для выборочной регистрации (по указанию оператора сигналов) пульсационных датчиков, их квадратов или произведений на диаграммной ленте.

Питание пульсационного комплекса (как стационарной аппаратуры, так и датчиков) осуществляется от блока (6). Блок (6) рассчитан на подключение к источнику постоянного напряжения (12 В). Это позволяет использовать в экспедиции питание комплекса аппаратуры от аккумулятора. Для подключения аппаратуры к сети переменного напряжения 220 В в состав комплекса входит источник стабилизированного напряжения 12 В (блок 14).

Описание основных узлов анемометра и коррелятора приведено в работе [5], описание гигрометра — в работе [6].

В двухкомпонентном ультразвуковом анемометре используется дифференциальная схема с общим излучателем для вертикального и горизонтального каналов и тремя приемниками акустических колебаний, один из которых является общим (опорным) для двух каналов. Приемники расположены в вершинах углов прямоугольника со сторонами 140 и 42 мм. В точке пересечения диагоналей прямоугольника находится цилиндрический излучатель. Измерение скорости потока осуществляется фазовым методом. В качестве излучателя и приемников применены пьезокерамические элементы из ЦТС-19; частота колебаний 167 кГц, диапазон измерений приблизительно $\pm 8,5$ м/с для горизонтальной и $\pm 2,5$ м/с для вертикальной составляющих скорости ветра.

Кроме излучателя и приемника, на мачте располагают три усилителя сигналов, которые поступают с приемников колебаний (блок 11 см. рис. 1). Для уменьшения погрешностей, вносимых линией связи между передающим и приемным блоком, и повышения точности в анемометре используется понижение частоты (примерно до 5 кГц) выходных сигналов акустических приемников (второй генератор и смесители частоты в трех выходных цепях). Выходными сигналами двухкомпонентного анемометра являются фазовые сдвиги гармонических напряжений двух выходных цепей по отношению к напряжению на выходе третьей (опорной).

В приемном устройстве осуществляется преобразование сдвигов фаз в последовательности импульсов с широтно-импульсной модуляцией и далее в напряжение. Диапазон выходных сигналов анемометра для вертикального и горизонтального каналов — ± 5 В. В анемометре реализована схема, предложенная в работе [5], которая исключает недостаток фазового метода, связанного с неоднозначностью шкалы, а именно большие скачки выходного сигнала (с одного края диапазона на другой), вызываемых пуль-

сациями скорости ветра (выбросами), выходящими за шкалу фазового анемометра ($\pm 180^\circ$). В обычных схемах даже редкие выбросы могут приводить к неисправимым грубым ошибкам в результате.

В нульсационном гигрометре применен сорбционный первичный измерительный преобразователь — гигристор с влагочувствительным покрытием в виде ионообменной смолы — полиакрилонитрила, разработанный в АФИ. Такой ПИП не удовлетворяет задаче пульсационных измерений при отрицательных температурах и малых относительных влажностях, однако для многих задач он удобен, благодаря простой конструкции, высокой чувствительности, несложного устройства вторичного преобразования, а также возможности уменьшения некоторых недостатков ПИП (большой нелинейности, разброса параметров) схемным путем [6]. Диапазон измерений пульсаций гигрометром $\pm 10\%$ относительной влажности, шкала выходного напряжения ± 5 В, диапазон работы прибора с двумя поддиапазонами 40—100 % относительной влажности.

Для пульсационного термометра разработаны два прибора — на базе платиновой проволоки диаметром 13 мкм и сопротивлением 250 Ом и с использованием полупроводникового микротерморезистора МТ-57. Характеристики приборов идентичны за исключением инерции (постоянная времени первого прибора в области верхних частот меньше 0,01 с, постоянная времени второго прибора, определяемая инерцией микротермистора — до 0,04 с в спокойном воздухе). Вследствие меньшей эксплуатационной надежности платинового датчика он используется в аппаратуре как контрольный. Параллельное применение двух каналов определения потоков тепла позволило осуществлять контроль работы аппаратуры. В обоих приборах для упрощения схемы используется питание ПИП постоянным током. В термометре на базе терморезистора, как и в гигрометре, обеспечена линеаризация характеристики ПИП и независимость показаний прибора от разброса начального сопротивления ПИП. Для обоих пульсационных термометров диапазон измеряемых пульсаций $\pm 2,5^\circ\text{C}$, коэффициент преобразования 2 В/ $^\circ\text{C}$.

В аппаратуре предусмотрены режимы работы пульсационных приборов без ограничения полосы пропускания в области нижних частот (без обратной связи) и с ограничением полосы пропускания. Реализация второго режима достигается введением инерционной обратной связи, охватывающей схему преобразователя. В действующем макете используется астатическая обратная связь и приняты меры к обеспечению стабильности частотных характеристик пульсационных приборов в области нижних частот. Граница полосы пропускания в области нижних частот для всех приборов $f_n \approx 0,001$ Гц и может быть изменена; для режима без обратной связи $f_n = 0$.

Для нахождения значений квадратов и произведений в корреляторе используется время — импульсное умножение. С целью упрощения схемы, повышения точности и расширения частотного

диапазона множительного устройства при нахождении значений $\alpha' \cdot \omega'$, $T' \cdot \omega'$, $q' \cdot \omega'$, $u' \cdot \omega'$ в корреляторе (а также напряжений, пропорциональных ω' и u' в анемометре) непосредственно используется в качестве одного сомножителя ω' или u' широтно-модулированная последовательность с частотой порядка 5 кГц, являющаяся промежуточным сигналом анемометра, а в качестве другого — напряжение [6]. При умножении учитывается знак сдвига фаз, т. е. осуществляется четырехквadrантное перемножение (знакопеременных сигналов). Перемножение центрированных (знакопеременных) сигналов позволяет уменьшить требования к аппаратуре и повысить точность [4]. Контроль выхода пульсаций вертикальной и горизонтальной компонент ветра за шкалу позволяет осуществить отбраковку ложных измерений потоков.

Как указывалось выше, в автоматическом режиме для упрощения аппаратуры при нахождении средних значений потоков и пульсаций вместо индивидуальных интеграторов использованы RC-фильтры с большими постоянными времени, подключенные к многоканальной регистрирующей системе. Период опроса каналов 1 или 2 мин, время подключения одного канала 2 с. Достаточная точность приближенного интегрирования достигается уже для интервала 10 мин [4]. Предусмотрены также индивидуальные электrolитические интеграторы для каждого из каналов, запись несглаженных пульсаций и произведений на быстродействующий самописец и выходы унифицированных напряжений каналов для возможности подключения дополнительной аппаратуры цифровой регистрации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бовшеверов В. М., Гурвич А. С., Мордухович М. И., Цванг Л. Р. Приборы для измерения пульсаций температуры и скорости ветра для статистического анализа результатов измерений.— Труды ИФА, 1962, № 4, с. 21—29.
2. Иванов В. Н. и др. Измерение турбулентных параметров приводного слоя атмосферы с корабля. «Тропэкс-72».— Л.: Гидрометеoиздат, 1974, с. 287—304.
3. Комплекс аппаратуры для измерения турбулентных потоков тепла и влаги в приземном слое атмосферы./М. Н. Яккер, Ю. А. Песчанский, Л. А. Каченко, Б. А. Дмитриев. Л.: Гидрометеoиздат, 1976.— 66 с.
4. Персин С. М. Вопросы методики измерений турбулентных переносов.— Труды ГГО, вып. 449, 1981.
5. А. С. 853584 (СССР). Устройство для измерения турбулентных переносов/С. М. Персин, Н. Г. Поликахина, Л. А. Щепановская.— Оpubл. в Б. И., 1981, № 29.
6. А. С. 822102 (СССР). Преобразователь пульсаций влажности и температуры среды/С. М. Персин, Е. В. Романов, Л. А. Щепановская.— Оpubл. в Б. И., 1981, № 14.
7. Dyer A. J., Hicks B. B., King K. M. Fluxatron — a revised approach to the measurement of eddy fluxes in the lower atmosphere.— "J. of Appl. Met.", 1970, vol. 9, N 6, pp. 408—413.
8. Maher E. J. The Evapotron — an electronic instrument for measuring of evaporation from natural surfaces.— "Proc. IREE Austr.", 1965, vol. 26, N 10, pp. 332—337.
9. Wickerts Sture. Characteristics of turbulence in the atmospheric boundary layer. EOA Repts, 1978, 12, N 2, pp. 1—14.

СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПУЛЬСАЦИОННЫХ И ГРАДИЕНТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

В настоящее время имеется ряд работ по сравнению результатов прямых (пульсационных) измерений потоков тепла $P_m = \rho c_p \bar{T}' w'$, влаги $LE = \bar{L} q' w'$ и количества движения $\tau = -\rho \bar{w}' u'$ с результатами градиентных измерений. Указанные работы, в частности, легли в основу различных методов расчета турбулентных потоков по данным косвенных (градиентных) измерений. Можно отметить значительный разброс результатов, полученных разными исследователями для осредненных универсальных функций, а также большой разброс результатов измерений, получаемых в каждом конкретном исследовании (осуществляемом с помощью одной и той же измерительной аппаратуры) в одной точке (для данного значения Ri). Данные, полученные в результате исследований, приведены в работах [5, 10]. В этих работах также обсуждаются некоторые возможные причины указанного расхождения результатов между наблюдениями разных авторов и разброса внутри серий наблюдений. Очевидно, привлечение дополнительных экспериментальных данных представляет интерес.

Ниже приводятся результаты сравнительных измерений турбулентных потоков, полученных прямым методом и по данным градиентных наблюдений. Указанные результаты получены при полевых испытаниях комплекса аппаратуры для измерения турбулентных переносов, описанного в работе [4]. Измерения проводились в 1979 и 1980 гг. в п. Колтуши в 12 и 15 ч параллельно с градиентными наблюдениями. Пульсационная аппаратура была установлена на высоте 2, 3 м. Для нахождения средних значений потоков за один час использовалось среднее трех отсчетов, каждый из которых представлял собой интеграл от потока за 10-минутный интервал (например: для 12-часового срока — за интервалы 11 ч 35 мин — 11 ч 45 мин; 11 ч 55 мин — 12 ч 5 мин; 12 ч 15 мин — 12 ч 25 мин). Это в первом приближении аналогично методике градиентных наблюдений, при которых средние значения разностей сухого и смоченного термометров получают как среднее трех наблюдений (в срок t_0 и в моменты $t_0 \pm 20$ мин); каждое из этих наблюдений также получается посредством сглаживания наблюдателем нескольких отсчетов в течение 5—10 мин. В 1979 г. было проведено две серии измерений потоков тепла и выборочно влаги (июль и август). В 1980 г. проводилась серия измерений потоков тепла и количества движения (июль). В том же году в августе аппаратура использовалась для измерений потоков тепла, влаги и количества движения над озером, а также над лесом и внутри леса, осуществляемых на базе Валдайской научно-исследовательской гидрологической лаборатории.

При всех испытаниях использовались два пульсационных термометра, один из которых был подключен к резервному каналу аппаратуры [4]. Соответственно, в каждом измерении получены два значения потока тепла (измерения последних не полностью независимы, так как индивидуальными для каналов являлись датчики температуры, умножители и интеграторы, но анемометр был общим). Использование двух каналов потока тепла оказалось удобным для контроля работы аппаратуры.

На рис. 1 представлены графики, иллюстрирующие результаты трех серий измерений в п. Колтуши. Коэффициент k на графиках характеризует наклон линий регрессии, т. е. завышение или занижение показаний, получаемых с помощью одного прибора или метода по сравнению с другим. Значение k находится из условия минимума величины $\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (H_{2i} - H_{1i}k)^2$ и составляет $k = R_{12}/D_1$,

где $R_{12} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m H_{1i}H_{2i}$, $D_1 = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m H_{1i}^2$, H_{1i} и H_{2i} — результаты сравниваемых измерений, m — число пар измерений. Коэффициент r характеризует корреляцию сравниваемых результатов измерений и равен $r = \dot{R}_{12}/\sqrt{\dot{D}_1\dot{D}_2}$, где $\dot{R}_{12} = R_{12} - M_1M_2$, $\dot{D}_j = D_j - M_j^2$, $M_j = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m H_{ji}$, $j = 1, 2$. Значение ε характеризует суммарное расхождение данных и определяется из выражения

$$\varepsilon = \sqrt{2 \left(1 - \frac{2R_{12}}{D_1 + D_2} \right)}.$$

Очевидно, результирующий второй момент разности измерений

$$\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (H_{1i} - H_{2i})^2 = \frac{D_1 + D_2}{2} \varepsilon^2.$$

На рис. 1 а, б, ж приведены результаты измерений потока тепла, полученные параллельно двумя каналами пульсационной аппаратуры (с использованием пульсационных термометров на основе платинового микропровода и микротермистора). С учетом пространственного разнесения первичных измерительных преобразователей двух приборов, случайных погрешностей и неточности калибровки приборов и измерительных каналов коррелятора можно считать, что совпадение результатов измерений, полученных различными каналами, достаточно хорошее.

На рис. 1 в, г, и приведены турбулентные потоки тепла, полученные прямыми измерениями с помощью пульсационной аппаратуры и расчетным путем по результатам градиентных измерений. При расчете использовались методики и номограммы, разработанные в ГГО [6]. Измерениям соответствовали значения Ri в диапазоне 0—0,38 (в основном до $Ri = -0,15$). Можно отметить некоторое уменьшение отношения потоков $P_{пульс}/P_{град}$ с ростом $|Ri|$.

Расхождение результатов для прямого и расчетного методов на рис. 1 в и 1 г можно считать удовлетворительным; что важно, нет заметного систематического смещения результатов.

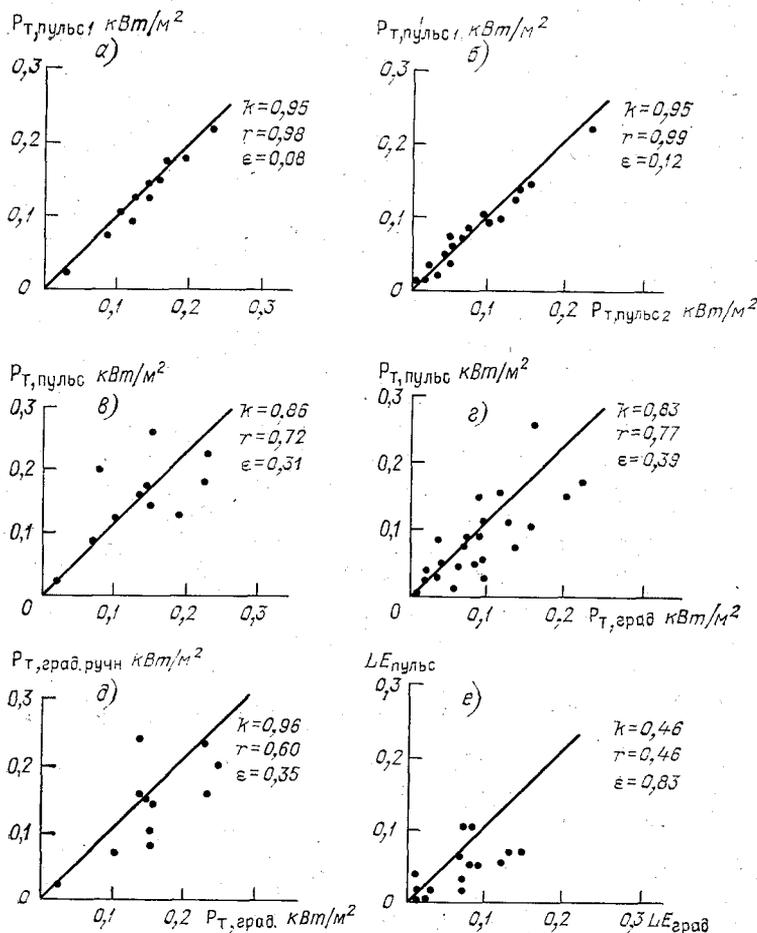
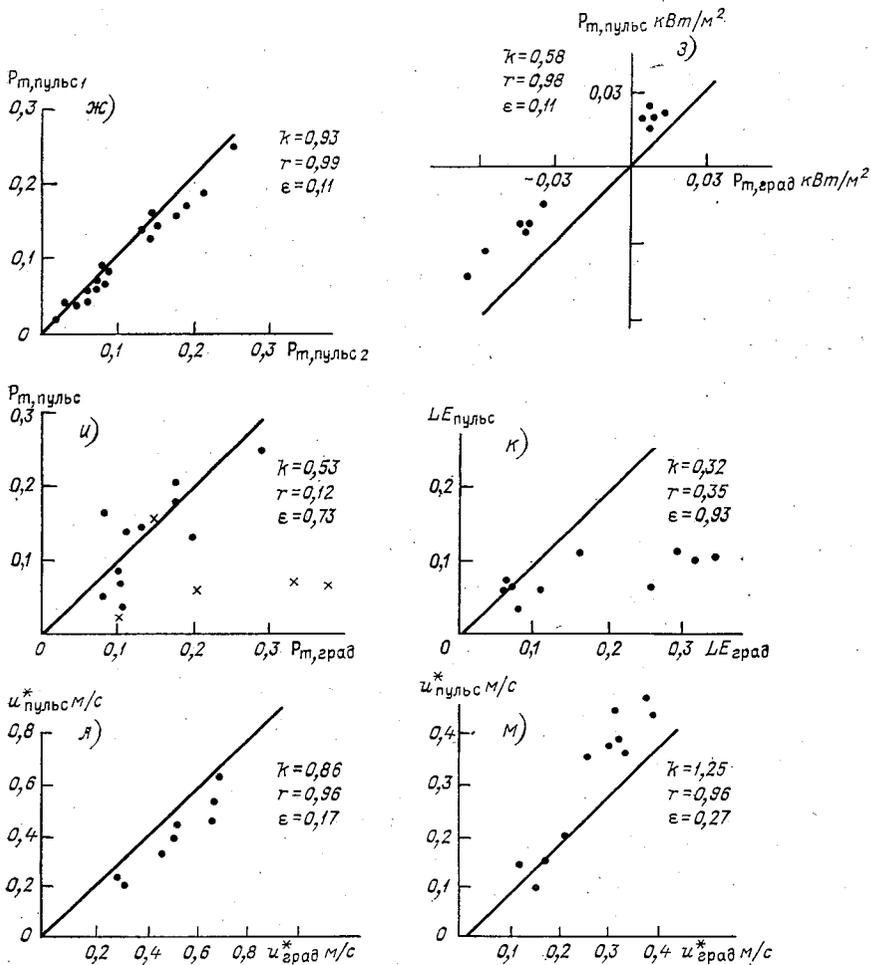


Рис. 1. Результаты сравнительных изме-
Колтуши: а, в, д — июль 1979 г.; б, г, е — август 1979 г.;

На рис. 1 и это уже не так. Здесь можно обратить внимание на точки, отмеченные крестиками. Эти точки соответствовали почти полному безветрию или отдельным порывам, неустойчивым по направлению при безоблачном небе. Возможными причинами занижения результатов, полученных прямым методом, могут быть влияние на поток в подобных ситуациях крупномасштабных образований (полоса пропускания пульсационной аппаратуры в обла-

сти нижних частот составляла $0,002 \text{ с}^{-1}$), а также нелинейность расчетных номограмм в области малых значений градиентов скорости ветра. Очевидно, необходимо более подробное сопоставление прямых и косвенных методов в зависимости от ситуации.



рений турбулентных переносов.

ж, и, л — июнь 1980 г., з, к, м — Валдай, измерения над озером, август 1980 г.

Заметим, что данные сравнительных измерений ИФА на высоте 3 м, опубликованные в работе [3], имеют тот же характер, что и на рис. 1 и, т. е. характеризуются существенным занижением пульсационных измерений по сравнению с градиентными и малым значением коэффициента корреляции r (приблизительно 0,2). Для объяснения этого факта в работах [3, 5] высказывается ряд соображений, связанных с предположением об изменении потока с вы-

сотой в нижней части приземного слоя. По данным [3] на высоте 9 м корреляция пульсационных и градиентных измерений оказалась заметно больше, чем на высоте 3 м.

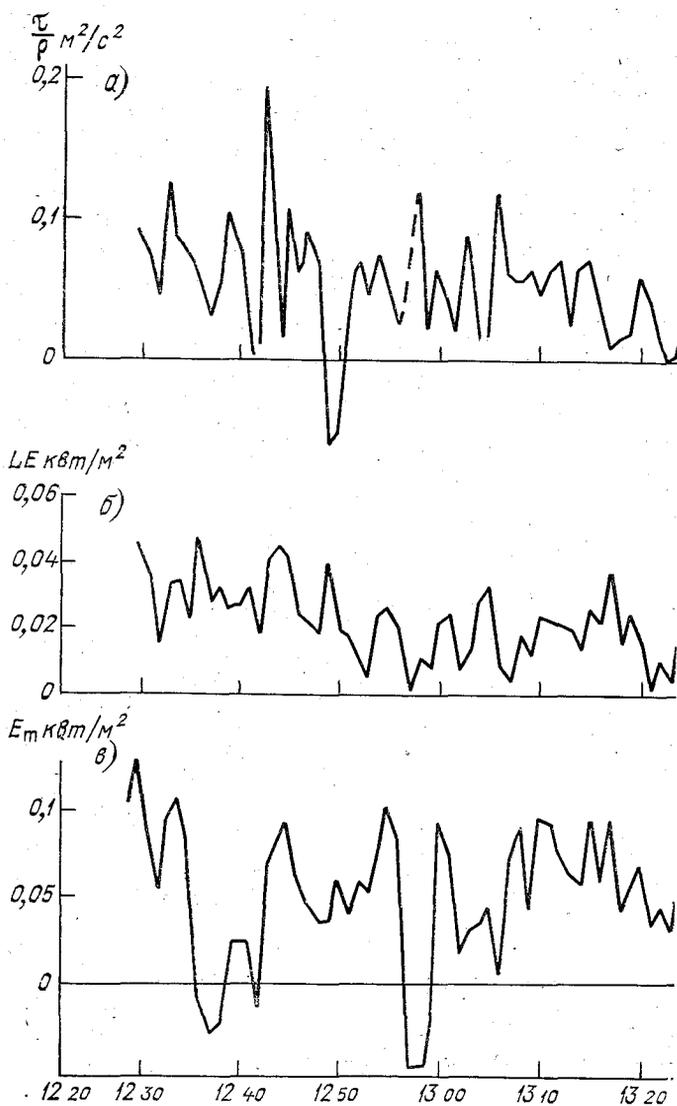
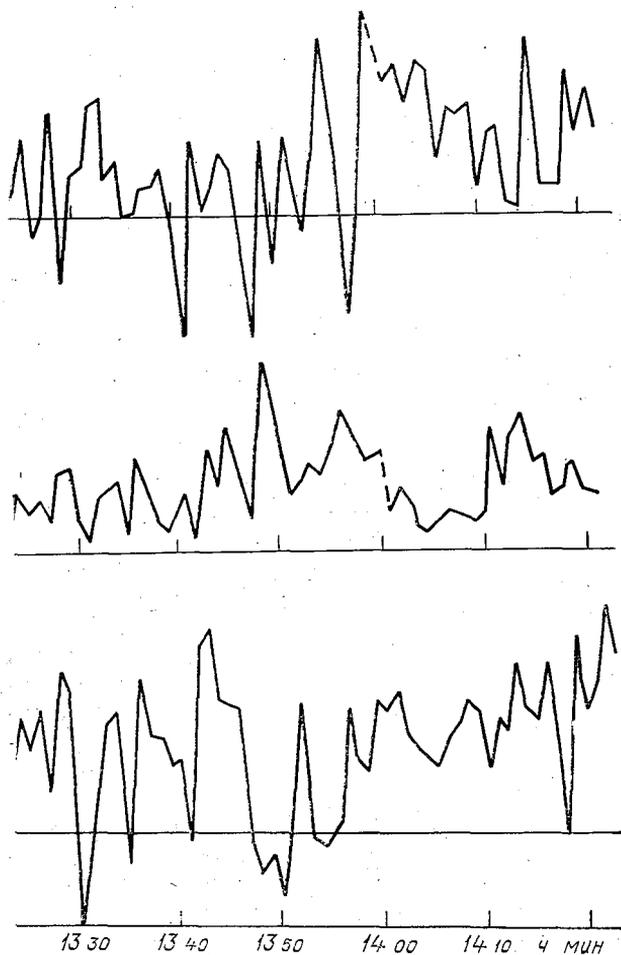


Рис. 2. Пример изменений осредненных значений количества

Необходим также более подробный анализ методических и инструментальных погрешностей измерений. В первой серии (июль 1979 г.) для контроля параллельно с градиентными измерениями, осуществляемыми наблюдателем, была задействована полуавто-

матическая градиентная аппаратура, осуществляющая измерение и печать разностей сигналов сухих и смоченных термометров и скоростей ветра на нескольких уровнях [2]. При вычислении средних разностей за один час, используемых при расчете потоков, находилось среднее арифметическое 12 полученных измерений (цикл опроса датчиков аппаратуры составлял 5 мин). Расхождение потоков тепла, полученных расчетным путем по градиентным



движения (а), потоков влаги (б) и тепла (в) 22 сентября 1980 г.

измерениям, осуществляемым наблюдателем и с помощью полуавтоматической аппаратуры (при одном и том же методе расчета по данным градиентных измерений) (рис. 1 д), оказалось не меньше, чем между прямым и косвенным методом.

Для оценки методической погрешности определения среднего за час по градиентным измерениям, осуществляемым наблюдателем и с помощью полуавтоматической аппаратуры, воспользуемся результатами, приведенными в работах [7, 8]. Принимая интервал корреляции разности температур ΔT , равным 3—15 мин, число осредняемых измерений $m = 12$ для среднего квадратического значения погрешности определения среднего за один час с учетом [8] получим: $\sigma_1 \approx (0,1 - 0,2) \sigma_{\Delta T}$. Измерения, производимые наблюдателем, как отмечалось, могут быть представлены как осреднение трех измерений, каждое из которых получено интегрированием за интервал $T_0 = 10$ мин (параметры в [8]: $m = 3$; $c = 0,25$; $S = 0,5$). В этом случае для погрешности определения среднего с учетом [8] получим $\sigma_1 < 0,2 \sigma_{\Delta T}$. При $\sigma_{\Delta T} \approx (0,2 - 0,3)^\circ$ это дает σ_1 порядка $0,05^\circ$ и менее. Погрешности в определении потока, соответствующие σ_1 , зависят от значений ΔT и Δu и заметно меньше разброса данных эксперимента. Это относится и к методической оценке данных эксперимента по рис. 1 в.

На рис. 1 л приведен корреляционный график значений скорости трения $u^* = \sqrt{-u'w'}$, полученных с помощью пульсационной аппаратуры и рассчитанных по результатам градиентных наблюдений. При расчете u^* использовалась номограмма, разработанная в ЛОГОИН. Установка акустического анемометра осуществлялась по направлению продольной составляющей скорости ветра перед сроком наблюдения, после чего положение приборов оставалось фиксированным. Видно, что результаты измерений, полученных прямым и расчетным методом, близки (совпадение лучше, чем для потоков тепла и значительно лучше, чем для u^* в [3]). Заметим, что некоторое систематическое занижение результатов пульсационных измерений должно вызываться поворотом вектора скорости ветра за часовой интервал при фиксированном положении стрелы анемометра.

Измерения потока влаги E в Колтушах в 1979 г. проводились лишь при относительной влажности, большей 50 % в силу неудовлетворительных характеристик используемого экземпляра гигростора при меньших влажностях. Результаты, полученные по данным пульсационных и градиентных измерений, приведены на рис. 1 е.

При испытаниях на базе Валдайской научно-исследовательской гидрологической лаборатории осуществлялись измерения над озером, а также внутри леса и над лесом. В первом случае аппаратура была установлена на мачте (высота 2,5 м) на носу плота, закрепленного на якорь и поворачивающегося по направлению ветра. Расстояние до ближайшего берега составляло 1 км.

Данные измерений потоков тепла и влаги и скорости трения над озером приведены на рис. 1 з, к, м. Для сравнения использованы значения потоков, рассчитанные по результатам измерений температуры воды, а также скорости ветра, температуры сухого и смоченного термометров на высоте 2 м (по методике, предложенной для измерений над морем и в работе [1]).

Отметим, что в отличие от измерений над сушей здесь более приемлемой является двухпараметрическая линия регрессии (т. е. линии регрессии не проходят через начало координат). Следует также отметить неплохое согласие для данных по скорости трения и значительно худшее — для потока тепла и особенно влаги. Сходные результаты для измерений над морем получены в [9].

Для измерений потоков в лесу и над лесом использовалась 48-метровая мачта полигона ВНИГЛ с подвижной кареткой для крепления и перемещения аппаратуры. Эксперимент, в частности, показал, что корректное снятие вертикальных профилей потоков тепла, влаги и количества движения в лесу и над лесом с помощью одного комплекта аппаратуры часто затруднительно вследствие значительной длительности эксперимента и влияния изменчивости потоков. Здесь рационально использование двух идентичных комплектов.

Наряду с измерением потоков за часовой интервал, с помощью аппаратуры [4] осуществлялась выборочная регистрация хода потоков по результатам ежеминутных измерений сглаженных (с постоянной порядка 30 с) значений потоков. Пример временного хода потоков тепла, влаги и количества движения, полученного в режиме автоматических измерений и регистрации, приведен на рис. 2. Представляет интерес подобная регистрация потоков совместно с градиентами температуры, влажности и скорости ветра и радиационными параметрами.

В заключение авторы считают своим долгом поблагодарить сотрудников ВНИГЛ, в первую очередь С. В. Марунича, за помощь в проведении работ на полигоне ВНИГЛ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ариэль Н. З., Бортковский Р. С., Бютнер Э. К. Основные принципы построения таблиц для определения турбулентных потоков в нижнем слое воздуха над морем.— Метеорология и гидрология, 1975, № 1, с. 55—65.
2. Афиногенов Л. П. и др. Автоматические станции для геофизических (теплобалансовых, актинометрических и атмосферно-электрических) измерений в приземном слое атмосферы—АСГИ.— Труды ГГО, 1977, вып. 377, с. 19—25.
3. Зубковский С. Л., Кухарец В. П., Цванг Л. Р. Вертикальные профили характеристик турбулентности в приземном и пограничном слоях атмосферы при неустойчивой стратификации.— Изв. АН СССР ФАО, 1979, т. 15, № 1, с. 44—52.
4. Комплекс аппаратуры для измерения турбулентных переносов/ С. М. Персин, Н. Г. Поликахина, Е. В. Романов, Л. А. Шепановская.— См. наст. сборник.
5. Кухарец В. В., Цванг Л. Р., Яглом А. М. О связи характеристик турбулентности приземного и пограничного слоев атмосферы.— В кн.: Физика атмосферы и проблема климата. М., Наука, 1980, с. 162—193.
6. Орленко Л. Р. Строение планетарного пограничного слоя атмосферы.— Л.: Гидрометеиздат, 1979.— 270 с.
7. Персин С. М. Анализ погрешности нахождения средних по результатам ряда дискретных опросов инерционного прибора.— Труды ГГО, 1971, вып. 259, с. 149—176.
8. Персин С. М. О погрешности определения скользящего среднего по дискретным данным.— Труды ГГО, 1973, вып. 313, с. 50—64.

9. Экспериментальная проверка некоторых схем параметризации турбулентного обмена в приводном слое атмосферы/В. В. Галушко, В. Н. Иванов, Г. Ф. Масагутов и др.—В кн.: Тропэк-74, Л.: Гидрометеониздат, 1976, т. 1, с. 383—388.

10. Яглом А. М. Данные о характеристиках турбулентности в приземном слое атмосферы.—Изв. АН СССР ФАО, 1974, т. 10, № 6, с. 566—586.

Д. П. Беспалов, Е. А. Федорова, Н. А. Херсонская

ОБ УТОЧНЕНИИ МЕТОДИКИ НАБЛЮДЕНИЙ НАД ХАРАКТЕРИСТИКАМИ СНЕЖНОГО ПОКРОВА

Основными характеристиками снежного покрова, которые определяются сетью метеорологических станций, являются его высота, плотность, запас воды, степень покрытия снегом окружающей местности и характер снежного покрова.

Эти характеристики снежного покрова используются неодинаково для решения различных практических и научных задач. Наиболее широко используются данные наблюдений над высотой и плотностью снежного покрова, по которым вычисляется запас воды для гидрологических расчетов. Вопросам методики наблюдений над этими характеристиками и оценки точности их определения уделено достаточно большое внимание [1—5].

Другие характеристики снежного покрова (степень покрытия и характер снежного покрова) используются довольно широко в оперативной службе для синоптических и гидрологических прогнозов.

Однако, несмотря на важность этих характеристик, до настоящего времени наблюдениям над ними уделялось недостаточное внимание. Как показал анализ существующих рекомендаций по определению этих характеристик, имеется ряд противоречий в указаниях по их определению и использованию.

Так, например, по указанию Наставления, вып. 3, ч. 1, изд. 1969 г. степень покрытия снегом окрестности определяется при ежедневных наблюдениях на метеорологической площадке (L_0) и во время производства снегосъемок (степень покрытия снегом участка снегосъемки визуальная — L_c и вычисленная по числу точек измерения высоты снега на маршруте L_m).

При условии репрезентативности выбранных участков наблюдений и при соблюдении методики производства снегосъемок величины L_0 , L_c и L_m должны хорошо согласовываться друг с другом.

Однако сопоставление результатов наблюдений большого числа станций, расположенных в различных районах страны, показало, что расхождение значений степени покрытия снегом окрестности станций и участка снегосъемок в ряде случаев достигают довольно значительных величин (2 балла и более) (табл. 1). Такие расхож-

Таблица 1

Сравнение значений степени покрытия снегом, определенных на метеоплощадке (L_0) и на участке снегосъемки (L_c и L_M)

УГКС	Месяц, год	Число случаев	$L_c - L_M$ (баллов)					Число случаев	$L_0 - L_c$ (баллов)			
			0	1	2	3	3		0	1	2	3
			Украинское	II 1978	31	23	1		6	1		31
Узбекское	XII 1977	23	22	1				23	18	3	1	1
	II 1978	15	15	15				15	13	0	2	
Центрально-черно-земных областей	II 1978	30	27	2	1			30	29	1		
	III 1978	29	19	2	6	2		29	22	6	1	
	III 1978	171	132	30	7	2						
Белорусское	XII 1978	156	152	3	0	1						
	III 1978	292	270	19	1	2						
Красноярское	III 1978	292	270	19	1	2						
	XI 1978	140	125	8	3	3	1					
Всего число случаев		887	785	81	24	11	1	128	109	11	5	3
Процент			88	9	3	1	>0,5		85	9	4	2

дения могут быть объяснены либо необъективной оценкой степени покрытия окрестности при визуальной оценке, либо большими различиями в местоположении выбранных участков наблюдений.

Разница между L_c и L_M чаще всего объясняется неточным наблюдением наблюдателем маршрута снегосъемки. Например, если в закрепленной точке маршрута снегосъемки снега не оказалось, наблюдатель измеряет высоту снега в значительном удалении от маршрута. В этом случае степень покрытия снегом маршрута (L_M) будет превышать степень покрытия снегом участка (L_c), определенно визуально.

Следует отметить, что до сих пор контроль этого вида наблюдений практически не осуществлялся.

Автоматизированный контроль данных наблюдений с помощью ЭВМ позволяет успешно оценить качество наблюдений путем сопоставления значений степени покрытия снегом на разных участках. Для этого можно предложить следующие алгоритмы:

- 1) $L_c - L_M \leq \pm 2$ балла;
- 2) $L_0 - L_c \leq \pm 2$ балла.

Использование этих алгоритмов позволит не только оценить качество наблюдений, но и дает возможность выявить причину больших расхождений степени покрытия окрестности метеоплощадки и участка снегосъемки.

Разница между L_0 и L_M характеризует различия в местоположении участков наблюдений.

Различия в условиях залегания снежного покрова в окрестностях станции и на участке снегосъемок вынуждают к дополнительной работе наблюдателя при определении даты начала снегосъемок. За начало снегосъемок принимается момент, когда L_c впервые достигнет 5 баллов или более. Поэтому наблюдатель обязан

еще до начала снегосъемок определить L_c на участке снегосъемки, что является весьма трудоемкой работой, учитывая удаленность метеоплощадки от участка снегосъемки.

Из опыта установлено, что наблюдатель не выполняет этого требования Наставления, и начало снегосъемок определяется по степени покрытия снегом окрестности метеорологической площадки, в результате этого снегосъемки производятся либо с опозданием (если $L_0 < L_c$), либо снегосъемки производятся при малой степени покрытия снегом участка, что обесценивает ее результаты.

В связи с этим целесообразно установить существующие различия в значениях L_0 и L_c по результатам контроля и выработать соответствующие указания об определении даты первой снегосъемки. В случаях, когда условия залегания снежного покрова на участке снегосъемки незначительно отличаются от условий в окрестностях станции, можно разрешить определять дату первой снегосъемки по степени покрытия снегом окрестности станции. Если различия существенны, то необходимо вести дополнительные наблюдения на участке снегосъемки.

По степени покрытия снегом окрестности метеоплощадки подсчитывается число дней со снегом и определяются даты образования устойчивого снежного покрова ($L_0 \geq 6$ баллов). В связи

Таблица 2

Сравнение средней декадной высоты снежного покрова, вычисленной с учетом (\bar{h}_L) и без учета степени покрытия снегом окрестности (\bar{h})

Станция	Период наблюдений	Число случаев	$(\bar{h} - \bar{h}_L)$ см			
			0	1	2	3
УГКС ЦЧО						
Каменная Степь	1977—1979	36	32	3	1	0
Нижнедевицк	1976—1979	30	30	0	0	0
Дмитров	1976—1979	38	38	0	0	0
Узбекское УГКС						
Заамин	1978—1979	36	36	0	0	0
Галляран	1977—1979	28	28	0	0	0
Украинское УГКС						
Броды	1976—1979	44	44	0	0	0
Ботиево	1976—1978	25	25	0	0	0
Нижние Серогозы	1976—1979	23	23			
Долина	1977—1979	35	35			
Красноармейск	1976—1978	31	31			
Северо-Западное УГКС						
15 станций	X 1979	60	60			
Всего число случаев		386	382	3	1	
Процент		100	99	1	>0,5	

Характеристика залегания снежного покрова и характер снежного покрова, соответствующие требованиям кода КН-01 и указаниям Наставления, вып. 3, ч. 1

Цифра кода	Наставление, вып. 3, ч. 1	Цифра кода	Код КН-01
------------	---------------------------	------------	-----------

Залегание снежного покрова

0	Равномерный	0	Равномерный снежный покров на замерзшей почве	} Без сугробов
1	Умеренно-неравномерный без оголенных участков	1	Равномерный снежный покров на оттаявшей почве	
2	Умеренно-неравномерный с оголенными участками	2	Равномерный снежный покров, состояние почвы неизвестно	
3	Очень неравномерный без оголенных участков	3	Неравномерный снежный покров на замерзшей почве	} Небольшие сугробы
4	Очень неравномерный с оголенными участками	4	Неравномерный снежный покров на оттаявшей почве	
5	Снежный покров с проталинами	5	Неравномерный снежный покров, состояние почвы неизвестно	
6	Снег местами	6	Очень неравномерный снежный покров на замерзшей почве	} Большие сугробы
		7	Очень неравномерный снежный покров на оттаявшей почве	
		8	Очень неравномерный снежный покров, состояние почвы неизвестно	

Характер снежного покрова

Пылевидный, пушистый, липкий, рассыпчатый, плотный, влажный, снежная корка, не связанная со снегом, снег плотный с коркой на поверхности, смерзшийся	0	Свежий снег	пылевидный
	1		пушистый
	2		липкий
	3	Старый снег	рассыпчатый
	4		плотный
	5		влажный
	6	Снежная корка, не связанная со снегом	
	7	Плотный снег с коркой на поверхности	
	8	Влажный снег с коркой на поверхности	

с этим снегосъемка, проведенная в день, когда L_c равна 5 баллам, не входит в период устойчивого снежного покрова.

Для устранения этого противоречия целесообразно первую снегосъемку проводить при степени покрытия снегом окрестности 6 баллов и более, т. е. в день со снежным покровом.

В режимных обобщениях используются лишь значения не менее 6 баллов (как указано выше), другие значения степени покрытия используются лишь в оперативных целях.

При вычислении средней высоты снежного покрова для окрестности нами была сделана попытка использовать значения степени покрытия снегом (по данным измерений высоты по постоянным рейкам на метеоплощадке).

С этой целью по 25 станциям различных УГКС были вычислены средние за декаду и месяц значения высоты снега по постоянным рейкам с учетом степени покрытия окрестности. Высота снега по постоянным рейкам умножалась на степень покрытия окрестности снегом, при этом L_0 выражалась не в баллах, а в десятых долях (10 баллов — 1, 1 балл — 0,1).

Как видно из табл. 2, из всех случаев сравнения только на станции Каменная Степь в четырех случаях были получены расхождения (1—2 см) при высоте снега меньше 10 см.

Как правило, степень покрытия снегом меньше 10 баллов отмечалась при малой высоте снега (до 5 см) и учет L не превышал точности измерения высоты снега по постоянным рейкам.

Проведенный анализ показал нецелесообразность подобного уточнения.

Данные наблюдений залегания снежного покрова и характера снежного покрова необходимы для использования в оперативных прогностических целях и передаются станциями в синоптических телеграммах по коду КН-01.

Сопоставление требований кода и указаний Наставлений (табл. 3) выявило явное их несоответствие. Учитывая интересы прогностических органов Госкомгидромета в Наставлении, вып. 3, ч. 1 следует внести коррективы и дать более четкие указания по определению этих характеристик по визуальным наблюдениям.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Водопьянова Л. С., Кричак М. О. О контроле ежелеканных значений высоты снежного покрова по данным снегосъемок.— Труды ГГО, 1975, вып. 345, с. 37—46.
2. Водопьянова Л. С. Применение метода множественной корреляции к контролю данных снегомерных наблюдений.— Труды ГГО, 1977, вып. 396, с. 32—41.
3. Гущина М. В., Трифонова Т. С. Об изменчивости характеристик снежного покрова во времени и о выборе интервалов между снегосъемками.— Труды ГГО, 1960, вып. 108, с. 68—73.
4. Гущина М. В. О рационализации снегомерных наблюдений на метеорологической сети.— Труды ВНМС, т. 9, 1963, с. 45—47.
5. Копанев И. Д. Методы изучения снежного покрова.— Л., 1971.— 255 с.

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ПРОБЛЕМЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

Состав и объем метеорологической информации, поступающей с сети наземных станций в центры обработки данных для режимных обобщений, определяется программой наблюдений станций. Полный комплекс метеорологических измерений, осуществляемых подсистемой наземных метеорологических наблюдений, включает характеристики по 13 метеорологическим элементам.

Результаты наблюдения (измерения) какой-либо характеристики элемента (или их комплекса), выдаваемые потребителям и поступающие в осреднение или обобщения, принято называть метеорологическими параметрами.

Метеорологические параметры, входящие в месячные таблицы ТММ-1, ежемесячники и ежегодники, составляют режимную метеорологическую информацию. Она подразделяется на срочные, средние суточные данные, декадные и месячные выводы.

Метеорологическая информация, поступающая с сети станций, не всегда бывает полной. Пропуски информации могут возникнуть на различных стадиях получения, обработки информации и создания архивов на технических носителях.

До недавнего времени методы восстановления метеорологической информации традиционно разрабатывались только в практике ручной обработки материалов наблюдений и, как правило, базировались на использовании функций, имеющих простое аналитическое выражение. При этом выбор числа и набора станций для аппроксимации локального участка поля и последующего получения восстанавливаемого путем интерполяции значения осуществлялся на основе субъективных соображений, не всегда имеющих достаточно четкое обоснование.

Правила и методические требования к порядку заполнения пропусков и восстановления ошибочных значений в режимных материалах при обработке информации без применения ЭВМ содержатся в Руководстве по подготовке метеорологических ежегодников, изд. 1955 г. и Руководствах по первичной обработке материалов метеорологических наблюдений.

В соответствии с требованиями, изложенными в этих Руководствах, имеющиеся пропуски должны быть заполнены по данным других приборов, а в случае когда это сделать невозможно, — путем интерполяции по данным соседних станций с учетом хода метеорологических элементов.

Правила восполнения пропущенной и забракованной информации по срокам, а также допуски на количество пропущенных данных (приведенные в указанных Руководствах) обобщены в статье Л. А. Грошевой и Е. А. Федоровой (см. наст. сборник).

В связи с переходом к обработке и получению месячных таблиц, ежемесячников и ежегодников на ЭВМ, требования к обеспечению полноты архивных данных и соответствия их наблюдаемым (по объему и достоверности) не потеряли своей актуальности. Вместе с тем, внедрение систем автоматизированной обработки вызывает необходимость другого подхода к восстановлению информации.

Известно, что использование объективного анализа в оперативной практике численных прогнозов погоды привело к развитию в последнее десятилетие нового направления — методов численного восстановления метеорологических полей.

При решении задач восстановления полей широко используются полиномиальная и оптимальная интерполяция, а также различные вариационные методы. Наиболее полно эти методы разработаны и дают удовлетворительные результаты при восстановлении полей метеорологических элементов на высотах [8, 10].

Для приземных полей указанные схемы восстановления и объективного анализа не нашли столь же широкого применения из-за влияния, которое оказывают неоднородности подстилающей поверхности на формирование таких полей [1, 2].

Поля метеорологических элементов у земли из-за многофакторности их образования относятся к слабодетерминированным. По этой причине все процедуры, основанные на аппроксимации наблюдаемых значений, заметно искажают существующие связи между элементами и не могут охватить всех возможных условий, чтобы с требуемой точностью описать зависимости с помощью аналитических функций.

Практическое использование для контроля и восстановления сведений о структуре приземных полей также затруднительно, поскольку такие сведения не всегда являются репрезентативными.

Неучет влияния подстилающей поверхности при переходе от индивидуальных коэффициентов корреляции к расчету корреляционных функций, в частности ограничивает применение последних, так как нередко вообще искажает вид функции.

Ограничена и возможность использования преимуществ, которые могут дать корреляционные матрицы, поскольку при оперативной обработке материалов объем имеющихся данных не всегда позволяет вычислить статистические моменты для всех пар станций и, тем более, по выборкам одинакового размера.

Восстановление отсутствующих и забракованных значений метеорологических элементов в режимной метеорологической информации наряду с традиционными трудностями, присущими этой проблеме, имеет еще и целый ряд специфических. Так, немаловажным обстоятельством, с которым приходится считаться при восстановлении режимной информации, является тот факт, что в центрах сбора ее осуществляется последовательная обработка данных одного пункта за другим. Это означает, что при обработке текущей режимной информации имеется возможность обращения только к выборке для данного пункта без обращения к выборкам метео-

рологических данных по другим пунктам. Привлечение информации нескольких соседних пунктов становится возможным только для средних месячных данных, что и позволяет проводить их пространственную интерполяцию.

Вследствие гладкости и квазистационарности полей метеорологических элементов, осредненных за такой значительный промежуток времени, как месяц, для их описания можно воспользоваться сравнительно простыми аналитическими функциями, выбирая узлы и класс приближения функции с помощью различных критериев. Наиболее общим из таких критериев является метод наименьших квадратов, обеспечивающий минимальное значение среднего квадратического отклонения между исходными данными в узлах и значениями приближающей функции в этих же точках.

Даже использование для целей аппроксимации многочленов первой степени, если сеть станций имеет достаточную густоту, а расположение станций репрезентативно, обеспечивает восстановление средних месячных значений основных метеорологических элементов со средними квадратическими ошибками, не превышающими величин, приведенных в табл. 1. Оценки выполнялись для 20 групп станций на ЕТС и в Западной Сибири за 10-летний период наблюдений для января и июля.

Таблица 1

Погрешность интерполяции основных метеорологических элементов для января (1) и июля (2)

Элемент	УГКС									
	ЦО		Эстонское		Латвийское		Литовское		Западно-Сибирское	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Температура воздуха, °С	0,3	0,1	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,3
Относительная влажность, %	2	1	1	1	2	1	2	2	2	2
Скорость ветра, м/с	0,6	0,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,4
Облачность общая, баллы	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,7	0,2	0,4	0,3	0,6
Облачность нижняя, баллы	0,6	0,4	0,5	0,4	0,6	0,7	0,4	0,5	0,7	0,7

Восстановление значений метеорологических элементов по срокам представляет более сложную задачу, чем восстановление средних за месяц значений, так как большинство метеорологических элементов имеет хорошо выраженный суточный ход. Это означает, что средние значения и другие характеристики за различные сроки не совпадают, т. е. изменения метеорологических элементов во времени не являются стационарными функциями.

Обычно при аппроксимации суточного хода элемента рассматривают не сами значения, а отклонения их от средних многолетних значений (норм) за соответствующие сроки. Такой учет суточного хода существенно упрощает задачу, поскольку отклонения от средних многолетних приближенно могут считаться статистически стационарными и к ним может быть применена теория стационарных случайных функций.

При оперативной обработке режимной информации указанным преимуществом воспользоваться нельзя из-за отсутствия норм для восьмисрочных наблюдений. Учитывая, что и в ближайшем будущем нет реальных оснований ожидать появления таких норм для всей сети станций по всем метеорологическим элементам, представляется более рациональным вести поиски других путей восстановления забракованных и пропущенных значений в режимной информации.

С теоретической точки зрения значения метеорологических элементов в срок наблюдения и средние месячные значения по срокам можно было бы восстанавливать, применяя те же формулы временной интерполяции, что и для средних месячных значений.

Однако, как было показано в работе [3], погрешность построения суточного хода метеорологического элемента по измеренным значениям в срок без привлечения каких-либо данных о характере изменения во времени пропорциональна абсолютной величине первой производной от интерполируемой функции и растет с ростом амплитуды суточного хода. Известно также по данным работы [6], что для метеорологических элементов с четко выраженным суточным ходом погрешность интерполяции в различные сроки наблюдений существенно неодинакова.

Неучет указанных выше обстоятельств при выборе способа восстановления может иметь следствием снижение точности восстановления. В связи с этим возникает необходимость при оперативной обработке режимной информации дифференцировать различные подходы в зависимости от масштаба осреднения данных, так как осреднение метеорологического поля приводит к тем большему сглаживанию восстанавливаемых значений, чем больше масштаб их осреднения.

Возможность аппроксимации суточного хода метеорологических элементов рассматривалась в ряде работ [7, 9, 12], однако предлагаемые в них схемы до сих пор не нашли широкого применения в практике автоматизированной обработки гидрометеорологической информации, поскольку все они не свободны от тех или иных недостатков, а главное, не учитывают особенностей действующей системы обработки. Частично этот вопрос уже был обсужден в работах [6, 9].

Представляется, что наиболее перспективно использовать для восстановления средних месячных данных по срокам параболы различных порядков. Оценки точности такого восстановления без привлечения дополнительной информации только по данной выборке выполнены в работах [4, 6] для температуры воздуха, имею-

щей наиболее четко выраженный суточный ход с достаточно большими по сравнению с остальными элементами амплитудами.

Безусловным критерием успешности того или иного метода восстановления забракованной и пропущенной информации является точность, с которой он позволяет восполнить недостающее значение по имеющимся данным. Наиболее часто для этой цели используют среднюю квадратическую ошибку и максимальную ошибку восстановления. К сожалению, результаты, приведенные в работах [4, 6], получены по материалам наблюдений за различный период и по неодинаковому количеству станций, поэтому их количественное сопоставление затруднительно. Тем не менее, имеющиеся в них оценки точности аппроксимации кривых суточного хода позволяют дать ответ на ряд методических вопросов. В частности, совершенно очевидно, что только высокая точность параболического приближения на рассматриваемом участке кривой суточного хода обеспечивает удовлетворительную точность восстановления пропущенного или забракованного значения, при этом увеличение порядка аппроксимирующего полинома не имеет решающего значения.

Возвращаясь к результатам работ [4] и [6], следует отметить, что приведенные в работе [6] оценки точности аппроксимации получены по данным о температуре воздуха на 30 станциях Латвийского УГКС. Каждая кривая суточного хода разбивалась на два взаимно перекрывающихся друг друга участка, включающих измерения за четыре срока наблюдений. Аппроксимация выбранных участков кривой суточного хода производилась с помощью параболы второго порядка, положение экстремума которой фиксировалось соответственно положению максимума или минимума кривой суточного хода. Оказалось, что в 90 % случаев по каждому сроку максимальная величина невязки не превышала $0,35^\circ$. Средняя квадратическая невязка восстановления при одном пропущенном сроке при такой аппроксимации колебалась в пределах $0,2—0,4^\circ$, а максимальные невязки не выходили за пределы $0,3—0,5^\circ$.

Если подсчитать среднюю квадратическую невязку восстановления температуры воздуха за июль по данным работы [4], где аппроксимация производилась по четырем срокам, при разных вариантах выбора опорных сроков относительно восстанавливаемого, то можно обнаружить, что она колеблется от $0,3^\circ$ для 15 ч до $1,2^\circ$ для 9 ч. Максимальные значения ошибок достигают 2° и более.

Сопоставление выполненных оценок подтверждает, что точность восстановления данных зависит от положения восстанавливаемого срока на кривой суточного хода. Максимальные ошибки восстановления характерны для сроков 6 и 9 ч. Для остальных сроков все упомянутые выше методы, в том числе и простейший из них, а именно линейная интерполяция [7], дают необходимую для практики точность.

Очевидно, что при выборе метода восстановления для внедрения в оперативную практику предпочтение следует отдать тому

методу, который обеспечивает более высокую точность восстановления информации для 6, 9 и 12 ч. При этом окончательное решение может быть вынесено только после испытания каждого из предлагаемых методов на одних и тех же выборках данных, относящихся к разным условиям формирования суточного хода элементов.

Наконец, существенного увеличения точности восстановления информации о средних месячных значениях за срок можно достичь, если рассматривать не сами значения элементов, а их отклонения от средних за имеющийся период наблюдений (10—15 лет). Об этом свидетельствуют оценки точности аппроксимации, приведенные в работе [6].

Несмотря на то, что измеренные в срок значения метеорологических элементов представляют собой осредненные прибором или наблюдателем пульсации, сглаживание последних с точки зрения проблемы восстановления очень незначительно. Вот почему описание изменений во времени — задача более сложная, чем это имело место для характеристик, осредненных за месяц.

При восстановлении измеренных в срок значений метеорологических элементов приходится учитывать не только влияние мезометеорологических процессов, но и мелкомасштабные влияния. Не случайно практическая реализация многочисленных методов временной интерполяции для целей внутристанционного контроля метеорологической информации обнаруживает их недостаточную точность, что и обуславливает их низкую эффективность. Так, например, пришлось исключить из программы контроля все критерии, основанные на интерполяционных формулах Лагранжа. Попытки применить для этой цели стохастическую аппроксимацию [9] также пока не дали обнадеживающего результата из-за существенной зависимости точности такой аппроксимации от времени наблюдения.

К сожалению, в настоящее время центры обработки метеорологической информации территориально отделены от центра обработки актинометрической и теплобалансовой информации. В этих условиях возможности учета мелкомасштабных влияний на измеряемые параметры крайне ограничены. Поэтому для целей восстановления ежедневной информации вынуждены применять формализованные методы аппроксимации.

Несмотря на определенный успех, наметившийся в направлении решения проблемы восстановления приземной метеорологической информации, ряд ее аспектов еще остается нерешенным.

К таким вопросам, в первую очередь, следует отнести восстановление ежедневных данных с помощью ЭВМ. Работы в указанном направлении только начаты (см. настоящий сборник), тем не менее, уже на этом этапе сделан важный шаг в направлении перехода от чисто формальной экстраполяции к экстраполяции с учетом физических закономерностей протекающих атмосферных процессов, заключающийся в согласовании суточного хода температуры с ходом экстремальных температур.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Багров А. Н., Белоусов С. Л., Тарнопольский А. Г. Схема объективного анализа давления, барической тенденции, температуры и точки росы по данным сети синоптических станций.—Труды Гидрометцентра СССР, 1972, вып. 91, с. 58—76.
2. Багров А. Н., Белоусов С. Л., Тарнопольский А. Г. Оперативная методика контроля и объективного анализа приземных метеорологических полей.—В кн.: Материалы международного симпозиума специалистов Гидрометслужбы социалистических стран, т. 2. Л., Гидрометеонздат, 1975, с. 73—85.
3. Беспалов Д. П., Светлова Т. П. О точности представления суточного хода метеорологических элементов по срочным данным.—Труды ГГО, 1971, вып. 260, с. 124—128.
4. Беспалов Д. П., Грошева Л. А. О восполнении пропущенных данных в материалах наблюдений.—Труды ГГО, 1981, вып. 461, с. 19—24.
5. Завьялова А. В., Светлова Т. П. Об одном способе контроля и восстановления метеорологической информации по срокам.—Труды ГГО, 1980, вып. 435, с. 91—95.
6. Завьялова А. В., Копычева В. С., Светлова Т. П. Исследование возможности восстановления суточного хода средней месячной температуры методом временной интерполяции.—Труды ГГО, 1981, вып. 461, с. 25—29.
7. Каган Р. Л., Дроздовская П. П. Об интерполяции метеорологических элементов во времени.—Труды ГГО, 1966, вып. 194, с. 3—10.
8. Костюков В. В., Зверева Н. Н., Тарасова Л. В. Численные эксперименты по сопоставлению различных методов объективного анализа.—Труды Гидрометцентра СССР, 1977, вып. 170, с. 26—35.
9. О контроле качества приземной метеорологической информации/Б. В. Апарин, Б. И. Дьяченко, С. Р. Степаненко, М. З. Шаймарданов.—Труды ВНИИГМИ—МЦД, 1980, вып. 67, с. 30—45.
10. Петров А. А., Свистун З. П., Карнович И. А. Некоторые вопросы оценки точности полиномиальной интерполяции метеорологических полей.—Труды Гидрометцентра СССР, 1975, вып. 160, с. 83—91.
11. Пуголовкин В. В., Петрик В. П. Анализ эффективности автоматизированного контроля метеорологической информации.—Труды ВНИИГМИ—МЦД, 1978, вып. 31, с. 64—70.
12. Хргиан А. Х. О суточном ходе температуры воздуха.—Физика атмосферы и океана, т. 12, № 11, 1976, с. 1152—1157.

Л. А. Грошева, Е. А. Федорова

О ВЫЧИСЛЕНИИ СРЕДНИХ МЕСЯЧНЫХ ЗНАЧЕНИЙ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ ПРОПУСКАХ НАБЛЮДЕНИЙ

Климатический режим территории принято характеризовать обобщенными значениями метеорологических элементов, полученными по данным наблюдений станций, расположенных на этой территории. Данные наблюдений конкретной станции должны достоверно отражать климатические условия изучаемой территории, иными словами, станция, данные наблюдений которой используются в качестве исходного материала при изучении клима-

тического режима территории, должна быть репрезентативной. Показателем репрезентативности станций является сопоставимость метеорологических характеристик группы станций, расположенных в одинаковых физико-географических условиях на ограниченной территории.

Сопоставимость результатов наблюдений предполагает прежде всего соблюдение единства методики производства наблюдений и обработки данных при обобщениях результатов, что дает возможность получать необходимые характеристики метеорологических элементов с одинаковой точностью.

Важно также, чтобы сопоставляемые обобщенные метеорологические характеристики были получены по однородному ряду наблюдений одинаковой длины, без пропусков наблюдений в сроки, установленные методикой.

Пропуски в наблюдениях могут иметь место на станции из-за неисправности приборов или отсутствия приборов с достаточными пределами шкал измерений. В отдельных случаях пропуски наблюдений могут возникнуть из-за невозможности провести наблюдения по погодным условиям; чаще всего по этой причине имеются пропуски визуальных наблюдений над облачностью, видимостью и другим характеристикам погоды.

Пропуски обесценивают весь ряд наблюдений, так как не только уменьшают точность средних значений за ряд осреднения, но и делают невозможным вычисление многих характеристик (повторяемостей, выборки экстремальных величин и др.), поэтому необходимо восполнить допущенные пропуски.

Восполнение пропущенных наблюдений непосредственно на станции возможно при наличии других приборов, измеряющих тот же метеорологический элемент. По давлению, температуре и влажности воздуха восполнение пропущенных наблюдений по основным приборам не представляет трудностей при наличии на станции самописцев (барографа, термографа и гигрографа).

Пропущенные наблюдения по срочному термометру можно восполнить также наблюдениями по спирту минимального термометра или по показаниям максимального термометра после встряхивания.

В ряде случаев пропуски измерений жидких осадков по осадкомеру можно восполнить данными плювиографа; с достаточной надежностью можно восполнить пропуски в измерениях скорости ветра (при скорости ветра до 15 м/с) визуальными оценками скорости по шкале Бофорта.

Восполнение пропущенных значений какого-либо элемента показаниями других приборов следует делать лишь в ограниченном числе случаев с тем, чтобы наличие восполненных значений не уменьшило бы точности средних характеристик и выборки, так как точность определения этих характеристик по самописцам или другим приборам, как правило, меньше точности по основным приборам.

Если на станции невозможно восполнить пропуски (отсутствуют самописцы или другие приборы, измеряющие тот же элемент), пропущенное значение метеорологического элемента можно получить интерполяцией данных соседних станций с учетом хода всех метеоэлементов, характера погоды и местоположения станций.

Рекомендации по восполнению и допустимому количеству пропущенных значений, указанные в соответствующих методических руководствах [2], в настоящее время оказались в большинстве случаев неприемлемыми из-за изменений в методике производства наблюдений, связанных с увеличением числа сроков наблюдений (переход в 1966 г. к восьми срокам наблюдений вместо четырех), а также из-за значительного сокращения числа станций, имеющих самописцы температуры и влажности.

Переход к автоматизированной обработке данных наблюдений также требует пересмотра прежних рекомендаций и уточнения метода интерполяции с учетом возможностей ЭВМ и новой системы сбора и обработки метеорологической информации в центрах обработки.

Восполнение пропущенных наблюдений в ряде случаев оказывается невозможным из-за отсутствия запасных приборов или ограниченности применения метода восполнения интерполяцией. Для некоторых элементов (облачность, атмосферные явления, видимость и др.) восполнение отдельных пропусков методом интерполяции принципиально невозможно, так как эти элементы отражают микроклиматические особенности каждой станции, не сопоставимые по группе ближайших станций.

В связи с этим в настоящее время необходимо решить вопрос о возможности получения месячных выводов по неполному ряду наблюдений при наличии пропусков, т. е. о допустимом количестве пропущенных наблюдений для получения надежных средних месячных значений и различных выборок.

Для решения этой задачи прежде всего важно определить число наблюдений, обеспечивающее требуемую точность средних значений.

Известно [4], что точность средних значений по какому-либо ряду наблюдений зависит от изменчивости этого элемента за период наблюдений, которая, в свою очередь, зависит от конкретных условий погоды.

Точность средних значений из ряда наблюдений приближенно можно вычислить по формуле:

$$m = \sigma / \sqrt{n}, \quad (1)$$

где m — точность среднего значения из n числа наблюдений; σ — изменчивость (среднее квадратическое отклонение единичного измерения от среднего из всего ряда наблюдений).

Для решения различных практических и научно-исследовательских задач к метеорологическим данным предъявляются различные требования по точности отдельных характеристик [3]. Так, например, для обслуживания многих отраслей народного хозяй-

ства по температуре воздуха требуемая точность равна $1,0^{\circ}\text{C}$, по давлению — 1 гПа . Для климатологических обобщений требования к точности по этим же элементам значительно выше (по температуре воздуха — $0,5^{\circ}\text{C}$, по давлению — $0,5\text{ гПа}$).

Как видно из формулы (1), для получения требуемой точности средних значений по одному и тому же периоду наблюдений необходимо различное число измерений; при одинаковой изменчивости элемента для достижения заданной точности среднего значения требуется большее число измерений n .

По данным наблюдений нескольких метеорологических станций, расположенных в различных климатических зонах, были вычислены изменчивость основных метеорологических элементов (температура воздуха, давление, точка росы, скорость ветра); точность, с которой получены средние месячные значения этих элементов при полном ряде наблюдений в течение месяца (240

Таблица 1

Изменчивость и необходимое число наблюдений при заданной точности

Станция	Месяц	σ	Фактическая точность m	Число наблюдений при точности	
				0,5	1,0
Температура воздуха					
Колпашево	I	10,70	0,68	458	114
	VII	4,10	0,26	67	17
Радошковичи	I	7,30	0,47	213	53
	VII	3,05	0,20	37	9
Душанбе	I	5,04	0,32	102	25
	III	6,46	0,41	167	42
	VII	6,26	0,40	157	39
	XI	5,10	0,33	104	26
	XII	6,08	0,39	148	37
Давление					
Колпашево	I	16,47	1,04	1084	271
	VII	4,98	0,32	99	25
Радошковичи	I	13,37	0,85	715	179
	VII	3,9	0,25	61	15
Температура точки росы					
Колпашево	I	10,82	0,69	468	117
	VII	2,63	0,17	28	7
Радошковичи	I	7,99	0,51	255	64
	VII	2,32	0,15	22	5
Скорость ветра					
Колпашево	I	2,44	0,19	24	6
	VII	1,99	0,13	16	4
Радошковичи	I	1,90	0,12	14	4
	VII	1,69	0,11	11	3

или 248), а также необходимое число измерений для обеспечения точности средних месячных значений (0,5 и 1 °С по температуре воздуха и температуре точки росы; 0,5 и 1,0 гПа по давлению; 0,5 и 1 м/с по скорости ветра). Результаты вычислений представлены в табл. 1.

Как видно из табл. 1, в большинстве случаев восемь сроков наблюдений в сутки в течение месяца обеспечивают требуемую точность при вычислении средних месячных значений; чем больше изменчивость элемента, тем большее число измерений требуется. При очень сильной изменчивости температуры воздуха и давления (ст. Колпашево, январь) даже восемь сроков в сутки не обеспечивают достаточную точность для климатологических обобщений; наличие пропусков в наблюдениях в подобных случаях недопустимо.

При небольшой изменчивости температуры (5—7 °С) можно рассчитывать средние значения с точностью 0,5 °С, если в течение месяца было до 40—50 пропусков, при этом число пропусков в один срок не должно превышать десяти, особенно если пропуски приходятся на сроки с экстремальной температурой.

При большей изменчивости температуры допустимое количество пропусков следует уменьшить.

Влияние числа пропусков в наблюдениях при различной изменчивости температуры на точность среднего месячного значения можно видеть по результатам сравнения средней месячной температуры воздуха, вычисленной из разного числа наблюдений в течение января ($\sigma = 10,7$ °С) и июля 1979 г. ($\sigma = 4,1$ °С) для ст. Колпашево (Западно-Сибирское УГКС), (табл. 2).

Т а б л и ц а 2

Средняя месячная температура воздуха, вычисленная при различном количестве пропусков (ст. Колпашево)

Пропущенный срок, ч	Число дней с пропусками	Число наблюдений	Средняя температура воздуха, °С
Январь			
—	—	248	—27,9
9	5	243	—27,8
9	5	243	—28,4
Все сроки	1	238	—27,4
То же	1	238	—28,5
"	3	224	—27,1
"	3	224	—28,5
"	3	224	—28,7
Июль			
—	—	248	20,0
18	10	238	20,0
21	10	238	20,3
12	10	238	19,8

Как видно из табл. 2, разность действительной средней месячной величины (из 248 сроков измерения в течение месяца) и средней из меньшего числа наблюдений увеличивается с увеличением числа пропусков, при одинаковом числе пропусков разность средних значений больше в январе при большей величине σ . В то же время видно, что одинаковое число пропусков в течение месяца по разному влияет на среднее месячное значение температуры в зависимости от того, как сильно наличие пропусков изменяет величину σ , т. е. разность средних значений зависит от величины отклонения пропущенного значения от средней. Так, при наличии пяти пропусков в январе разность средних значений была $+0,1$ и $-0,5$; причем во втором случае пропущенные значения были близки к максимальным значениям за месяц.

Из приведенного примера видно, что число пропусков, допустимое при вычислении средних месячных величин, может быть различно и зависит от условий станции, прежде всего от величины σ в конкретный месяц для определенного элемента.

В связи с этим рекомендации по допустимому количеству пропусков для вычисления средних значений следует делать с учетом изменчивости метеоэлементов и конкретных условий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Наблюдения на гидрометеорологической сети СССР/Под ред. О. А. Городецкого.—Л.: Гидрометеоиздат, 1970.
2. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 3, ч. 1.—Л.: Гидрометеоиздат, 1969.—306 с.
3. О составе точности и пространственно-временном разрешении информации, необходимой для гидрометеорологического обеспечения народного хозяйства и службы гидрометеорологических прогнозов/Под ред. М. А. Петросянца, В. Д. Решетова.—Л.: Гидрометеоиздат, 1975, с. 21—53, 154—191.
4. Справочник по климату СССР.—Устойчивость и точность климатических характеристик.—Л.: Гидрометеоиздат, 1976, т. 1, с. 7—13 и т. 2, с. 9—12.

А. В. Завьялова, В. С. Копычева, Т. П. Светлова

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ КОНТРОЛЯ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЕЖЕДНЕВНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА ПО СРОКАМ МЕТОДОМ ВРЕМЕННОЙ ИНТЕРПОЛЯЦИИ

Система обработки и контроля режимной метеорологической информации начала внедряться в Гидрометслужбе в 1968—1970 гг. Достаточно большой опыт ее эксплуатации позволяет провести анализ качества и эффективности ее работы, а также обсудить пути дальнейшего совершенствования ее отдельных звеньев. Та-

кой анализ по результатам работы подсистемы внутростанционного контроля был сделан в работах [2, 3], в частности, отмечалась низкая эффективность контроля, основанного на временной интерполяции для ежедневных значений метеорологических элементов в срок наблюдения. Так, по температуре воздуха средний процент значений, забракованных ЭВМ и затем подтвержденных критическим анализом, составляет 11,6 %. При временной интерполяции по Лагранжу из 848 случаев, забракованных ЭВМ, подтвердилось только 14, что составляет 1,6 %.

Такая низкая эффективность объясняется тем, что критерии отбраковки носят слишком общий характер и не дифференцированы по времени и пространству. Считают, что эта причина не единственная. Применение тех или иных интерполяционных формул для контроля и восстановления информации подразумевает наличие определенных свойств у аппроксимируемых кривых. В частности, любая интерполяция приводит к сглаживанию интерполируемой функции [1], поэтому суточный ход интерполируемого элемента должен быть достаточно плавным, чтобы его можно было аппроксимировать с помощью выбранной формулы с требуемой точностью. Когда это обстоятельство игнорируется, мы сталкиваемся с ситуацией, приведенной в работе [2]. В этой работе на материале конкретной станции показано, что применение формулы, недостаточной точно аппроксимирующей суточный ход, при контроле данных приводит к появлению неоправданно больших невязок.

Необходимо также учитывать, что точность интерполяционных формул зависит от амплитуды суточного хода элемента [1] и в сезоны, когда амплитуда возрастает, точность падает. Этим и объясняется, что в летний период (июль) критерии, основанные на методе интерполяции для температуры воздуха и почвы, выделяют большее количество сомнительных значений, не подтверждающихся критическим анализом, чем зимой (январь) [3]. Таким образом, методически не оправдано применение одной и той же интерполяционной формулы во все сезоны года для элементов, имеющих ярко выраженные сезонные различия в суточном ходе. Все это подтверждает вывод, что в автоматизированных системах обработки на ЭВМ использование единого для всех станций СССР алгоритма, основанного на применении временной интерполяции, не будет эффективным даже для грубого контроля и восстановления метеорологической информации.

В связи с этим по-прежнему остается актуальной задача разработки для ЭВМ эффективных алгоритмов контроля и восстановления метеорологической информации. До сих пор внедренные в практику алгоритмы позволяют выявлять, в основном, грубые ошибки в ежедневной информации. Не решена также задача создания и внедрения в действующую систему автоматизированной обработки алгоритмов и программ восстановления метеорологической информации. В данной работе сделана попытка применить алгоритмы временной интерполяции, разработанные для контроля

и восстановления средних месячных срочных значений температуры, к контролю и восстановлению ежедневных срочных значений температуры воздуха. В качестве обрабатываемого материала были взяты данные по ежедневным срочным, максимальным и минимальным значениям температуры воздуха за восемь сроков наблюдений на ст. Воейково за июль 1978 и июль 1979 гг. и ян-

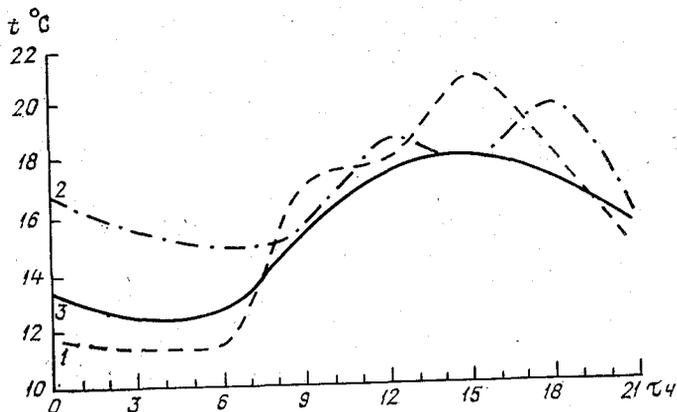


Рис. 1. Суточный ход температуры воздуха.

1 — 24 июля 1979 г., 2 — 13 июля 1979 г., 3 — средняя месячная температура за июль 1979 г.

варь 1978 г. Все данные температуры воздуха проконтролированы по лентам термографа. Интерполяция значений температуры воздуха в срок проводилась с учетом рекомендаций, изложенных в работе (1). Кривые суточного хода были по возможности разбиты на участки с небольшими амплитудами, затем каждый такой участок аппроксимировался параболой второго порядка и проводилось последовательное восстановление значений температуры в поочередно пропускаемые сроки наблюдения. В табл. 1 приведены средние квадратические невязки температуры за июль и ян-

Таблица 1

Средние квадратические невязки временной интерполяции (ст. Воейково)

Месяц, год	Срок							
	0	3	6	9	12	15	18	21
VII 1979	0,33	0,50	0,25	0,23	0,55	0,56	0,28	0,45
	0,58	0,72	0,80	1,23	1,23	1,45	1,35	1,30
I 1979	0,33	0,27	0,24	0,24	0,42	0,43	0,25	0,52
	0,57	0,68	0,68	1,15	1,23	1,34	1,28	1,26

варь в случае аппроксимации (строка 1) и восстановления (строка 2). Данные, приведенные в таблице, показывают, что при удовлетворительной аппроксимации суточного хода (средняя квадратическая невязка не превышает $0,56^{\circ}\text{C}$) не всегда удается достичь удовлетворительной точности восстановления. Невязки восстановления существенно больше, чем невязки аппроксимации. Это объясняется тем, что в большинстве случаев суточный ход температуры не удавалось аппроксимировать на взятом участке с одинаковой точностью во всех точках. Расхождение в точности приближения в отдельные сроки наблюдения для некоторых дней достигало 1°C . В качестве иллюстрации на рис. 1 приведены кривые суточного хода в дни с большими невязками аппроксимации (кривые 1 и 2). Для сравнения здесь же приводится ход средней месячной температуры по срокам (кривая 3). Плавный ход кривой 1 в 12 ч и кривой 2 в 15 ч заметно нарушен по сравнению с кривой суточного хода для средних месячных данных. Нарушения такого рода обусловлены определенными атмосферными процессами и встречаются особенно часто в летнее время. В данном случае они вызваны интенсивным образованием облачности от 9 до 12 ч (кривая 1) и выпадением осадков от 12 до 15 ч (кривая 2).

Таким образом, временной ход температуры воздуха для ежедневных данных носит менее гладкий характер по сравнению со средними месячными данными, и интерполяционные формулы, дающие хорошую точность для средних месячных данных, для целей восстановления ежедневных значений в отдельные дни могут оказаться непригодными. Для выявления таких дней попытаемся привлечь информацию о ходе разностей экстремальных температур и срочной в текущий и последующий сроки наблюдения. В табл. 2 приведены разности значений в срок ($T_{\text{ср}}$) с максимальной температурой воздуха между сроками ($T_{\text{макс}}$) и минимальной температурой между сроками ($T_{\text{мин}}$) для средних месячных данных и в отдельные дни, а также значения средних месячных разностей температур за сроки, ограничивающие интервал измерения экстремальных температур. Анализируя соотношение величин разностей $T_{\text{макс}} - T_{\text{ср}}$ и $T_{\text{ср}} - T_{\text{мин}}$, мы можем получить информацию о характере изменения температуры воздуха за период между предшествующим сроком наблюдения и данным. Если за указанный период происходило довольно интенсивное по сравнению с мелкомасштабными пульсациями повышение температуры воздуха, мы будем иметь малую величину разности $T_{\text{макс}} - T_{\text{ср}}$ и большую $T_{\text{ср}} - T_{\text{мин}}$ (табл. 2, сроки 9 и 12 ч), о чем, в частности, свидетельствуют разности в сроки 09 и 12 ч. При понижении температуры будет велика разность $T_{\text{макс}} - T_{\text{ср}}$, а разность $T_{\text{ср}} - T_{\text{мин}}$ мала (табл. 2, сроки 21 и 0 ч). В сроки, где наблюдаются малые величины разностей $T_{\text{макс}} - T_{\text{ср}}$ или $T_{\text{ср}} - T_{\text{мин}}$ можно контролировать срочное значение температуры, используя значения максимальной или минимальной температуры в срок, если при этом соотношение разностей $T_{\text{макс}} - T_{\text{ср}}$ и $T_{\text{ср}} - T_{\text{мин}}$ указывает на такой

Величины разностей экстремальных и срочных температур (ст. Воейково)

Характеристика	Срок, ч							
	0	3	6	9	12	15	18	21
13 VII 1979 г.								
Ежедневные значения								
$T_{\max} - T_{\text{ср}}$	3,5	1,3	0,8	0,0	0,3	2,3	1,9	4,3
$T_{\text{ср}} - T_{\min}$	0,0	0,0	0,0	0,8	3,1	0,0	2,5	0,3
24 VII 1979 г.								
$T_{\max} - T_{\text{ср}}$	4,2	2,3	0,0	0,0	1,9	0,0	3,6	2,9
$T_{\text{ср}} - T_{\min}$	0,0	0,1	2,9	5,7	0,5	2,2	1,2	0,4
Средние месячные значения								
$T_{\max} - T_{\text{ср}}$	2,3	1,1	0,3	0,1	0,6	0,8	1,9	2,3
$T_{\text{ср}} - T_{\min}$	0,2	0,2	0,7	3,1	2,5	1,7	0,5	0,1
Средние месячные разности								
$T_{\max} - T_{\text{ср}}$	2,3	0,7	0,0	-3,1	-1,6	-1,1	1,0	1,7

же характер изменения температуры, как в средних месячных данных. Как показывают расчеты по данным ст. Воейково за июль, в 9 ч разности между максимальной и срочной температурами, а в 21 и 0 ч — между срочной и минимальной температурами составляют меньше $0,5^{\circ}\text{C}$ в 95 % случаев. Если же в рассматриваемый срок наблюдения соотношение разностей $T_{\max} - T_{\text{ср}}$ и $T_{\text{ср}} - T_{\min}$ аномальное по сравнению со средним месячным, то требуется дополнительный анализ на характер изменения температуры между сроками разностей $T_{\max} - T_{\text{ср}}$ и $T_{\text{ср}} - T_{\min}$ в следующей за рассматриваемым срок. Анализируя разности $T_{\max} - T_{\text{ср}}$ и $T_{\text{ср}} - T_{\min}$ для температуры воздуха за 13 и 24 июля, можно заметить иное соотношение пар разностей в 15 и 18 ч в первом случае и в 12 ч во втором, что свидетельствует об аномальном по сравнению со средним месячным временном ходе температуры для данных дней в указанные сроки. В рассматриваемом случае 13 июля от 12 до 15 ч вместо характерного для средних месячных значений повышения температуры (средняя разность равна $-1,1^{\circ}\text{C}$) наблюдается ее понижение (разность $T_{\max} - T_{\text{ср}} = 2,3^{\circ}\text{C}$, а $T_{\text{ср}} - T_{\min} = 0$). В интервале от 15 до 18 ч происходило повышение температуры воздуха (разность $T_{\text{ср}} - T_{\min} = 2,5^{\circ}\text{C}$, а $T_{\max} - T_{\text{ср}} = 1,9^{\circ}\text{C}$). Следовательно, для контроля температуры в 15 ч нужно привлекать значение минимальной температуры в 18 ч. Аналогично, во втором случае для контроля срочного зна-

чения температуры в 12 ч нужно брать минимальное значение температуры в 15 ч, т. е. в данном случае для контроля срочных значений нужно привлекать экстремальные значения в срок, следующий за рассматриваемым.

Для проверки разработанного алгоритма были проконтролированы значения срочной температуры в 12, 15, 18 ч за июль 1978 и июль 1979 гг. Как оказалось, в 90 % случаев невязка интерполяции не превышает $0,5^{\circ}\text{C}$, что намного точнее, чем при контроле этих сроков с помощью временной интерполяции параболой второго порядка (см. табл. 1).

Привлечение экстремальных температур для восстановления пропущенных или забракованных срочных данных требует дополнительного анализа погоды в рассматриваемый период. В связи с этим возникает необходимость дальнейшего анализа метеорологических факторов, влияющих на суточный ход температуры воздуха и ее экстремальных значений и способов их учета при решении задачи восстановления ежедневных данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Завьялова А. В., Светлова Т. П. Об одном способе контроля и восстановления метеорологической информации по срокам.— Труды ГГО, 1980, вып. 435, с. 91—95.

2. О контроле качества приземной метеорологической информации/ Б. В. Апарин, Б. И. Дьяченко, С. Р. Степаненко, М. З. Шаймарданов. Труды ВНИИГМИ-МЦД, 1980, вып. 67, с. 30—45.

3. Пуголовкин В. В., Петрик В. П. Анализ эффективности автоматизированного контроля метеорологической информации.— Труды ВНИИГМИ-МЦД, 1978, вып. 31, с. 64—70.

Т. М. Мирошниченко

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ КОНТРОЛЯ НАПРАВЛЕНИЯ ВЕТРА

Основной характеристикой направления ветра является повторяемость ветра по 16 румбам. Как было указано в работе [3], осуществить контроль повторяемости по каждому румбу методом линейной аппроксимации не позволяет ее большая изменчивость в пространстве. По этой причине контролируются специально рассчитываемые для этого в программе контроля преобладающее направление ветра и повторяемость этого направления.

В соответствии с [1] преобладающее направление ветра вычисляется для четверти горизонта по четырем наибольшим значениям повторяемости ветра (P_1, P_2, P_3, P_4):

$$d = d_{P_i} + d_{\text{макс}} \cdot 45. \quad (1)$$

Здесь

$$d_{\text{макс}} = \frac{P_3 - P_1}{(P_3 - P_1) + (P_2 - P_4)} \quad (2)$$

— положение на горизонте квадранта с наибольшей повторяемостью ветра; d_{P_1} — направление, имеющее повторяемость P_1 .

Повторяемость преобладающего направления вычисляется как его функция

$$P(d_{\text{макс}}) = P_2 + P_3 + \frac{(P_3 - P_1) + (P_2 - P_4)}{2} (3/2 - d_{\text{макс}})^2. \quad (3)$$

Выбор максимальной повторяемости ветра и соседних с ней повторяемостей для расчета преобладающего направления осуществляется из 8 румбов.

Как правило, резко выраженное преобладание ветров отдельных румбов встречается редко, обычно наибольшие повторяемости ветра соответствуют двум смежным румбам. Кроме того, направление воздушного потока часто искажается препятствиями. По этой причине средняя линия квадранта с преобладающим направлением ветра может не совпадать с серединой румба, которому соответствует максимальная повторяемость ветра. Примером могут служить данные наблюдений ст. Барабинск в апреле 1966 г., где максимум повторяемости 19 % соответствует юго-западному направлению, т. е. середина румба приходится на 225° . Соседние с максимумом повторяемости, по которым вычисляется преобладающее направление, равны: 4 % — южное направление, 15 % — западное и 15 % — северо-западное. Вычисленное значение составляет 258° , что соответствует направлению между юго-западом и западом, т. е. средняя линия квадранта находится на 33° к западу от середины румба с максимальной повторяемостью ветра. Повторяемость преобладающего направления составляет 34 %.

По невязкам, полученным в результате межстанционного контроля, и вычисленным значениям преобладающего направления можно выявить сомнительную информацию.

На сомнительность данных указывает значение невязки, превышающее допустимое значение, или отсутствие невязки, в то время как преобладающее направление вычислено.

Предельно допустимое значение невязки по направлению ветра принято равным 30° , по повторяемости — 10 %. Как правило, установленные допуски позволяют обнаружить ошибку информации в 1 румб.

Ошибки в наблюдениях за направлением ветра могут быть обусловлены неправильной установкой прибора, его неисправностью или неточным производством наблюдений.

Например, по данным наблюдений ст. Нарочь (Белорусское УГКС) за октябрь 1979 г. преобладало северо-западное направление ветра, невязка по направлению превышает допустимое значение и равна 43° . На влияющих станциях преобладающие направления ветра — южное, юго-западное (рис. 1). По графикам

повторяемостей видно, что на контролируемой станции занижены повторяемости южного и юго-западного направлений. В остальные месяцы на данной группе станций преобладают ветры восточного и западного направлений, значения невязок соответствуют допуску. Погрешность наблюдений в октябре, когда преобладали ветры южного и юго-западного направлений, можно объяснить за-

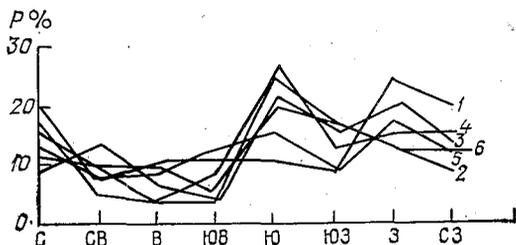


Рис. 1 Повторяемость преобладающего направления ветра (1) по 8 румбам на ст. Нарочь и ее влияющих станциях (2—6). Октябрь 1979 г.

щищенностью места наблюдений, которую создает 9-этажное здание, построенное с юго-западной стороны станций.

На станциях, где установлены флюгеры, нередко наблюдения производятся не по 16 румбам, а по 8, в отдельных случаях даже по 4 румбам. Межстанционный контроль преобладающего направления ветра не всегда позволяет выявить эту погрешность наблюдений, так как при переходе от повторяемости ветра по 16 румбам к повторяемости по 8 румбам для вычисления преобладаю-

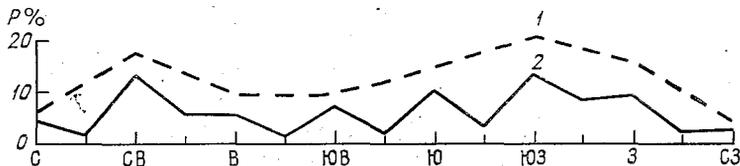


Рис. 2. Повторяемость преобладающего направления ветра на ст. Георгиевка. Май 1980 г.

1 — по 16 румбам, 2 — по 8 румбам.

щего направления «пилообразное» распределение повторяемостей сглаживается (рис. 2).

Возможность выявления снижения точности наблюдений с 16 румбов до 8 будет предусмотрена только в новом комплексе программ контроля. В тех случаях, когда наблюдения по флюгеру производятся по четырем направлениям, график сохраняет вид «пилы» (рис. 3), при переводе повторяемости по 16 румбам к 8 — невязка превышает допуск или отсутствует.

Отсутствие невязки в результатах контроля свидетельствует о том, что для данной контролируемой станции нет трех влияющих, по которым можно построить аппроксимирующую функцию.

Так как наблюдения за направлением ветра отражают не только направление общего воздушного потока, но и местные особенности в распределении ветров, которые определяются характером рельефа окружающей местности, защищенностью места наблюдения, наличием вблизи станции водоемов, то нередко бывает затруднительно подобрать станции, по данным которых рассчитывается интерполированное значение.

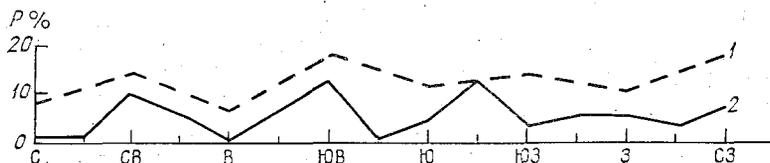


Рис. 3. Повторяемость преобладающего направления ветра на ст. Екатерино-Никольское. Май 1980 г.

1 — по 8 румбам, 2 — по 16 румбам.

Неудачный подбор влияющих станций обычно приводит к искажению результата интерполяции. Чтобы уменьшить влияние выбора влияющих станций на величину невязки, в подпрограмме контроля направления ветра предусмотрено исключение из числа влияющих станций, на которых преобладающее направление отличается от контролируемого более, чем на 2 румба. При этом возможны два варианта:

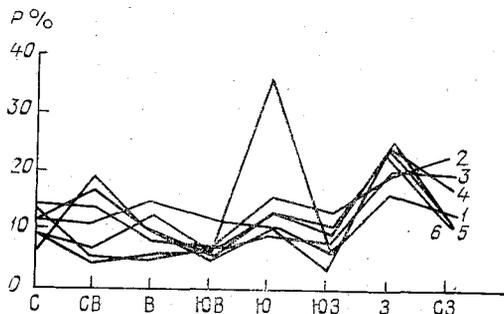


Рис. 4. Повторяемость преобладающего направления ветра (1) по 8 румбам на ст. Нарочь и ее влияющих станциях (2—6). Октябрь 1979 г.

1. Значения преобладающего направления ветра на влияющих станциях совпадают друг с другом, но не совпадают с контролируемым значением, что дает основание подозревать наличие ошибки наблюдений на контролируемой станции. Так, например, на ст. Радошковичи (Белорусское УГКС) в июне 1979 г. преобладал ветер южного направления, на ее влияющих станциях — западного и северо-западного направлений (рис. 4). Интерполированное значение по таким данным не вычисляется (влияющие станции иск-

лючаются). Наличие ошибки в наблюдениях косвенно подтверждается и сравнением графиков повторяемостей ветра, построенных по данным наблюдений и по средним многолетним значениям за июнь для ст. Радошковичи (рис. 5).

2. Преобладающие направления на влияющих станциях не совпадают друг с другом и с контролируемым значением (отличаются на 2 румба и более), что обусловлено или неудачным выбором влияющих станций или недостоверными наблюдениями на некоторых из них. Например, по данным за июнь 1980 г. на ст. Николаевск-на-Амуре (Дальневосточное УГКС) невязка не получена. По выбранным влияющим станциям нельзя оценить точность наблюдений контролируемой станции (рис. 6).

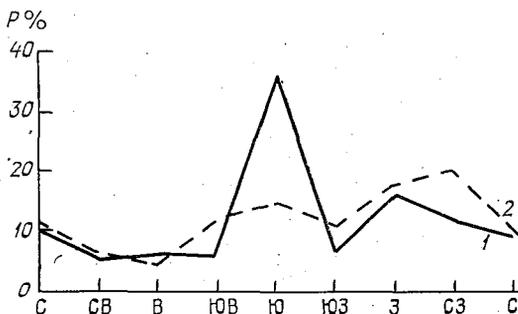


Рис. 5. Повторяемость преобладающего направления ветра по 8 румбам на ст. Радошковичи. Июнь 1979 г.

1 — по данным наблюдений, 2 — по средним многолетним значениям.

Чаще всего сомнение вызывают данные с двумя максимумами повторяемости ветра.

В тех случаях, когда из-за влияния рельефа окружающей местности и наличия местной циркуляции атмосферы возможны двойные максимумы повторяемости ветров противоположных румбов, вычисляются и последовательно контролируются два преобладающих направления ветра и их повторяемости (2). Второй максимум повторяемости не обязательно характерен для всех станций группы, по которым строится аппроксимирующий полином. Кроме того, при наличии двух максимумов повторяемости ветра на всех станциях не всегда имеется достаточное количество станций для расчета интерполированного значения. Объясняется это следующим. Выбор максимальных повторяемостей, по которым вычисляются преобладающие направления, производится от северного румба по часовой стрелке и зависит от их величин. Первое преобладающее направление вычисляется по первому максимуму повторяемости, второе — по максимуму повторяемости, отстоящему от первого не менее, чем на 2 румба. При этом повторяемость второго преобладающего направления иногда может превышать

повторяемость первого преобладающего направления, так как вычисление производится не только по максимуму, но и по повторяемостям соседних с ним румбов.

Для случая, когда максимальные повторяемости равны или различаются не более, чем на 5 %, в программе предусмотрена корректировка преобладающих направлений влияющих станций в соответствии с контролируемой (2). Если эта разность превосходит 5 %, перестановка преобладающих направлений не производится, в результате чего среди влияющих, участвующих в расчете первого преобладающего направления, могут оказаться направления, противоположные ему. В соответствии с алгоритмом

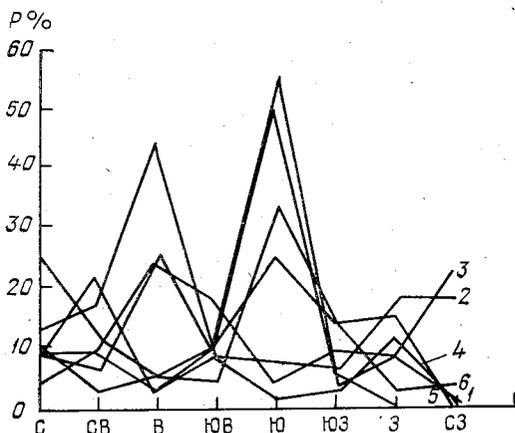


Рис. 6. Повторяемость преобладающего направления ветра (1) по 8 румбам на ст. Николаевск-на-Амуре и ее влияющих станциях (2—6). Июль 1980 г.

программы последние будут из расчета интерполированного значения исключены.

По приведенным выше причинам результаты контроля по второму максимуму повторяемости не позволяют судить о качестве наблюдений, а имеют лишь вспомогательное значение при анализе.

В табл. 1 представлены результаты контроля наблюдений ст. Гродно (Белорусское УГКС) и ее влияющих станций за февраль 1979 г. Расчет интерполированного значения и невязки не проводился, так как на четырех влияющих станциях преобладающие направления по первому максимуму повторяемости имеют значения, противоположные контролируемому, но они соответствуют преобладающему направлению второго максимума повторяемости на контролируемой станции. В то же время преобладающие направления по второму максимуму на этих станциях соответствуют контролируемому направлению по первому максимуму. Корректировка направлений ЭВМ не производилась, так как разности мак-

Таблица 1

Невязки интерполяции преобладающего направления ветра и его повторяемости на ст. Гродно и ее влияющих станциях за февраль 1979 г.

Станция	Максимум 1				Максимум 2			
	румб	невязка	повторяе- мость	невязка	румб	невязка	повторяе- мость	невязка
Гродно	З	—	37,0	—	В	—	37,1	—
Лида	В	24,2	40,2	—9,2	ЮЗ	4,4	27,1	7,6
Щучин.	ЮВ	—22,1	39,1	4,4	ЮЗ	2,5	31,3	—0,6
Волковыск	В	0,7	49,7	—9,3	ЮЗ	—0,5	33,1	0,2
Новогрудок	З	—	40,0	—	В	—	32,1	—
Барановичи	В	—19,2	36,2	3,9	ЮЗ	12,5	29,3	4,6

симумов повторяемости на влияющих станциях превышают 5 %. Однако на контролируемой станции повторяемости преобладающих направлений, вычисленные по первому и второму максимумам, равны между собой, по этой причине первым преобладающим направлением можно считать любое из них. Тогда и западные, и восточные преобладающие направления на контролируемой станции подтверждаются преобладающими направлениями, вычисленными на влияющих станциях. Таким образом, данные по ст. Гродно за февраль 1979 г. достоверны.

Наличие трех равных максимумов повторяемости свидетельствует о том, что наблюдения за направлением ветра производились по 4 румбам. В этом случае преобладающее направление ветра не вычисляется, данные наблюдений следует забраковать.

Реализация методики контроля направления ветра, предложенной в работе [3], в оперативной практике на протяжении двух последних лет позволяет оценить ее возможности и недостатки.

Анализ результатов оперативного контроля направления ветра, проведенный по данным станций Белорусского УГКС за девять месяцев 1979 г. и по данным станций Дальневосточного УГКС за четыре месяца 1980 г., показывает, что 20 % всей проверенной информации ЭВМ выделяет как сомнительную (невязка превышает допуск или не рассчитывается). При этом число случаев, когда невязка не рассчитывается, очень велико (более 70 %). Следует отметить, что около половины сомнительных величин обусловлено неудачным выбором влияющих станций. К сожалению, в условиях пересеченного рельефа и в районах морских побережий это положение вряд ли может быть исправлено, так как ветровой режим даже близко расположенных станций обычно имеет существенные различия.

Другая не менее важная причина, приводящая к снижению эффективности контроля информации о направлении ветра, заключается в том, что оперативная программа контроля режимной

информации предусматривает задание единой для каждой контролируемой станции группы влияющих по всему набору метеорологических параметров. Очевидно, что при этом не может быть обеспечена достаточная точность интерполяции для всех контролируемых параметров из-за существенно различной зависимости последних от определяющих их факторов и климатической неоднородности территорий.

Таким образом, для получения полного и правильного представления о состоянии измерений направления ветра на сети станций необходимо анализировать данные, вызвавшие сомнение, с учетом всех особенностей этого параметра и программы контроля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алисов Б. П., Дроздов О. А., Рубинштейн Е. С. Курс климатологии, ч. 1 и 2.— Л.: Гидрометеиздат, 1952, с. 431—435.

2. Методические указания по проведению критического контроля результатов метеорологических наблюдений сети станций.— Л.: Гидрометеиздат, 1981, с. 156.

3. Попова Т. М., Светлова Т. П. Контроль повторяемости направления ветра на ЭВМ.— Труды ГГО, 1974, вып. 340, с. 35—37.

В. В. Изюмский, Г. А. Дмитриева

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПОТОКОВ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ СООБЩЕНИЙ ДЛЯ МЕТЕООБЕСПЕЧЕНИЯ АЭРОПОРТА ПУЛКОВО

Постановка задачи и методика анализа

При обосновании технических характеристик аппаратуры для приема, обработки и хранения метеорологических сообщений, поступающих из каналов связи от запасных аэропортов и аэропортов первой посадки, а также аппаратуры передачи метеорологических сообщений, важно знать характер потоков этих сообщений и их количественные характеристики. Важность этих знаний возрастает в связи с задачей автоматизации метеообеспечения аэропорта.

В аэродромный метеорологический центр (АМЦ) аэропорта метеорологические сообщения о фактической погоде и прогнозах погоды поступают, а также передаются по трем основным телеграфным каналам: каналу прямых авиационных связей (СПАС), каналу министерства гражданской авиации (МТЦ ГА) и каналу министерства связи (ЦТ МС).

Предварительная оценка подвергшихся анализу потоков, циркулирующих в перечисленных каналах, показала, что они отно-

сятся к классу случайных и могут описываться вероятностными законами и их числовыми характеристиками.

В качестве случайных величин при анализе характеристик информационных потоков были выбраны число сообщений, принимаемых из канала в получасовом интервале времени, и объем метеорологического сообщения, выражающийся количеством символов в каждом сообщении.

Задача анализа заключалась в определении аппроксимирующих законов распределения случайных величин и их числовых характеристик.

Анализ подвергались сообщения за M случайно выбранных дней, которые в совокупности образуют полностью определенную выборку. Затем составлялись статистические ряды числа сообщений, поступающих по каждому из названных каналов в получасовом интервале, а также объема метеорологических сообщений.

Поскольку диапазон изменения случайных величин достаточно велик, то он разбивался на разряды и подсчитывались частоты попадания в каждый из разрядов. На основе статистической совокупности частот строилась гистограмма распределения, а в результате обработки статистического ряда определялись математическое ожидание и дисперсия случайных величин.

Как известно, гистограмма является статистическим аналогом плотности распределения, из анализа которой можно выдвинуть гипотезу об аппроксимирующем законе распределения случайных величин. В процессе анализа гистограмм для отдельных каналов выдвигалось и анализировалось несколько гипотез.

Для получения меры отклонения гипотетического распределения от статистического использования наиболее часто употребляемый критерий согласия χ^2 [1].

Анализ каналов приема информации

Для определения законов распределения числа сообщений, поступающих в АМЦ аэропорта в получасовом интервале, и их статистических характеристик обработке подвергались метеорологические сообщения, поступившие по каналам за 14 дней, случайно выбранных в полугодовом интервале времени (объем выборки $N = 672$).

Канал СПАС. Построенная на основе статистической совокупности сообщений гистограмма изображена на рис. 1. Вычисленное математическое ожидание равно $M_{\hat{x}} = 12,64$ сообщения/0,5 ч, а дисперсия $D_{\hat{x}} = 161,29$ (сообщения/0,5 ч)².

В качестве гипотезы выдвинут показательный закон распределения. На рис. 1 он показан сплошной линией. Вычислен критерий $\chi^2 = 8,07 \cdot 10^{-2}$. При уровне значимости $\alpha = 0,05$ и числе степеней свободы $\nu = 10$ выполняется условие $\chi^2 < \chi_p^2$, где χ_p^2 — табличное значение критерия согласия. Выполнение этого условия позволяет считать выдвинутую гипотезу справедливой.

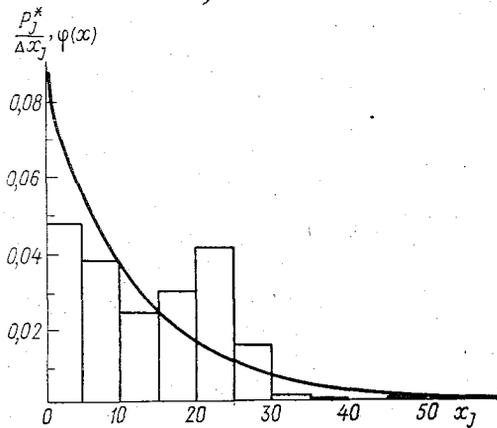


Рис. 1. Гистограмма и кривая гипотетического закона распределения (плотности вероятности) числа принимаемых по каналу СПАС метеорологических сообщений в получасовом интервале.

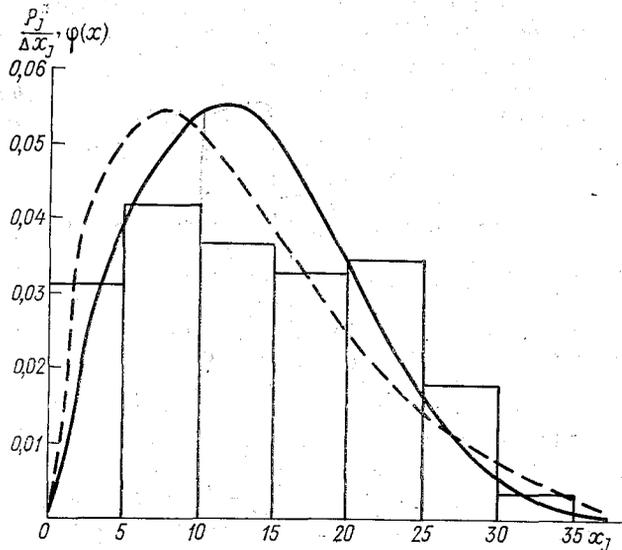


Рис. 2. Гистограмма и кривая гипотетических законов распределения (плотности вероятности) числа метеорологических сообщений, принимаемых по каналу МТЦ ГА в получасовом интервале.

Канал МТЦ ГА. Построенная на основе статистической совокупности сообщений гистограмма изображена на рис. 2. Вычисленное математическое ожидание равно $M_{\hat{x}} = 13,65$ (сообщения/0,5 ч), а дисперсия $D_{\hat{x}} = 193,89$ (сообщения/0,5 ч)².

В качестве гипотез было выдвинуто два закона распределения: закон Релея (1) и закон Эрланга (2) (рис. 2). Вычислены критерии $\chi_p^2 = 2,09 \cdot 10^{-2}$; $\chi_{Эр}^2 = 2,83 \cdot 10^{-2}$. При уровне значимости $\alpha = 0,05$ и числе степеней свободы $\nu = 6$ выполняются ус-

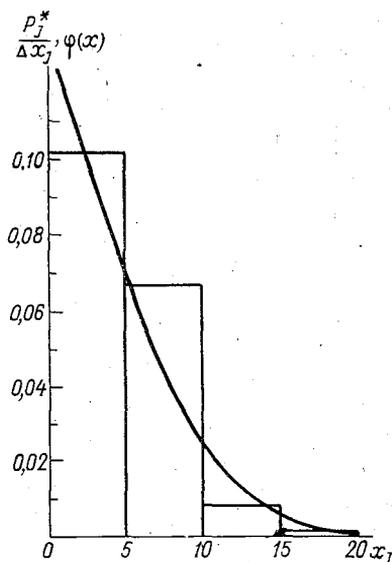


Рис. 3. Гистограмма и кривая гипотетического закона распределения (плотности вероятности) числа метеорологических сообщений, принимаемых по каналу ЦТ МС в получасовом интервале.

ловия $\chi_p^2 < \chi_p^2$ и $\chi_{Эр}^2 < \chi_{Эр}^2$. Выполнение этих условий позволяет использовать оба закона в качестве аппроксимирующих для описания потока принимаемых по каналу МТЦ ГА сообщений.

Канал ЦТ МС. Построенная на основе статистической совокупности сообщений гистограмма изображена на рис. 3. Вычисленное математическое ожидание $M_{\hat{x}} = 4,04$ (сообщения/0,5 ч), а дисперсия $D_{\hat{x}} = 16,33$ (сообщения/0,5 ч)².

В качестве гипотезы выдвинут показательный закон распределения, на рис. 3 он показан сплошной линией. Вычислен критерий $\chi^2 = 1,56 \cdot 10^{-2}$. При уровне значимости $\alpha = 0,05$ и числе степеней свободы $\nu = 2$ выполняется условие $\chi^2 < \chi_p^2$. Выполнение этого условия позволяет считать выдвинутую гипотезу справедливой.

Анализ объемов принимаемых сообщений

При определении законов распределения объемов метеорологических сообщений, принимаемых по наиболее загруженным каналам СПАС и МТЦ ГА, в обработку было вовлечено $N = 507$ случайно выбранных сообщений.

Канал СПАС. Построенная на основе статистической совокупности объемов метеорологических сообщений гистограмма изображена на рис. 4. Вычисленное математическое ожидание $M_{\hat{x}} = 263$ символа на сообщение.

В качестве гипотез были выдвинуты два закона: Релея (1) и Эрланга (2) (рис. 4). Вычислены критерии $\chi_p^2 = 2,69 \cdot 10^{-3}$, $\chi_{\text{Эр}}^2 = 1,07 \cdot 10^{-3}$. При уровне значимости $\alpha = 0,05$ и числе степеней свободы $\nu = 13$ выполняются следующие условия: $\chi_p^2 < \chi_p^2$ и

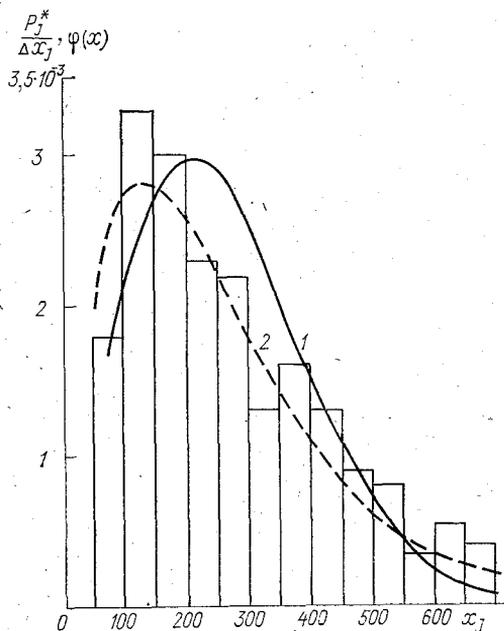


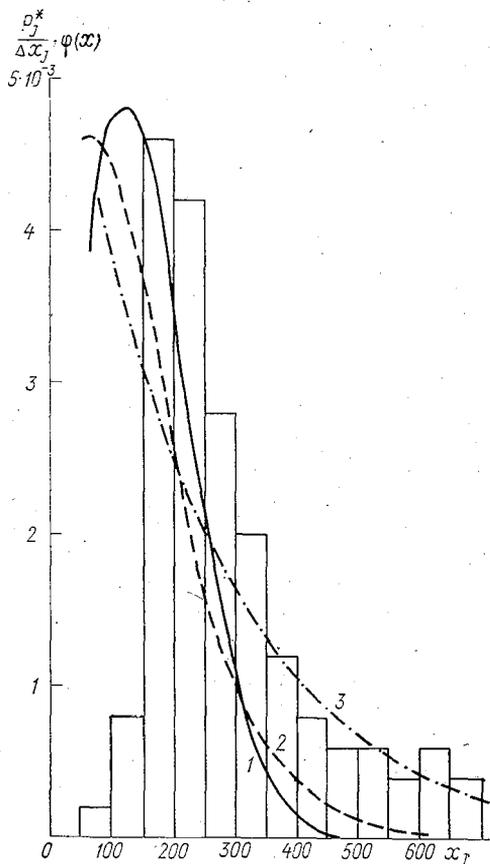
Рис. 4. Гистограмма и кривые гипотетических законов распределения (плотностей вероятности) количества знаков в метеорологическом сообщении, принимаемом по каналу СПАС.

$\chi_{\text{Эр}}^2 < \chi_p^2$. При выполнении этих условий можно обе гипотезы считать справедливыми.

Канал МТЦ ГА. Построенная на основе статистической совокупности объемов метеорологических сообщений гистограмма изображена на рис. 5. Вычисленное математическое ожидание $M_{\hat{x}} = 156$ символов на сообщение.

В качестве гипотез были выдвинуты три закона распределения: Релея (1), Эрланга (2) и смещенно-экспоненциальный (3) (рис. 5). Вычислены критерии: $\chi_p^2 = 11,36$, $\chi_{\text{Эр}}^2 = 3,9 \cdot 10^{-2}$, $\chi_{\text{см. эксп}}^2 = 9,8 \cdot 10^{-3}$. При уровне значимости $\alpha = 0,05$ и числе степеней свободы $\nu = 13$ выполняются следующие условия: $\chi_p^2 < \chi_p^2$, $\chi_{\text{Эр}}^2 < \chi_p^2$, $\chi_{\text{см. эксп}}^2 < \chi_p^2$. Наиболее приемлемым следует считать смещенно-экспоненциальный закон распределения.

Рис. 5. Гистограмма и кривые гипотетических законов распределения (плотностей вероятности) количества знаков в метеорологическом сообщении, принимаемом по каналу МТЦ ГА.



Заключение

Статистический анализ метеорологических сообщений, циркулирующих в каналах связи, позволил предложить аппроксимирующие законы распределения числа метеорологических сообщений, принимаемых (передаваемых) по каналам МТЦ ГА, СПАС и ЦТМС аэропорта Пулково в получасовом интервале и объемов метеосообщений, принимаемых по каналу МТЦ ГА и СПАС, которые могут служить основой для аналитических расчетов операционных характеристик средств автоматизированного приема, обработки и хранения метеорологических сообщений. К этим характеристикам можно отнести критические интервалы обслуживания, пропускную способность системы метеобеспечения, допустимые длины очередей, величину допустимой нагрузки, требуемые объемы оперативной и внешней памяти аппаратуры приема и хранения метеорологической информации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Худсон Д. Статистика для физиков.— М.: Мир, 1970, с. 201—205.

ОРГАНИЗАЦИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ОБМЕНА МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИЕЙ ЦЕНТРОВ УВД С БОРТАМИ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

Метеорологическое обеспечение авиации наряду с другими вопросами включает в себя передачу необходимой метеорологической информации на борт воздушного судна (ВС) на различных участках его полета, а также сбор данных о фактической погоде на трассах полета ВС с целью их обобщения и дальнейшего использования при управлении воздушным движением (УВД).

Требования к объему метеорологической информации, выдаваемой на борт ВС, и ее конкретному содержанию изложены в работах [1] и [2].

При полете ВС по трассе на борт ВС должны быть переданы метеорологические сообщения о фактической погоде и прогнозах погоды по аэродрому посадки и двум-трем постоянно действующим запасным аэродромам на территории районного центра (РЦ), осуществляющего управление движением ВС. Эта информация передается на борт при входе ВС в зону ответственности УВД. Кроме того, по запросам экипажей ВС, пролетающих через зону РЦ, на борт должны передаваться метеорологические сообщения о фактической погоде и прогнозах погоды по аэродромам других РЦ.

В зоне аэродрома на борт ВС необходимо выдавать следующую метеорологическую информацию:

а) фактическую погоду в зоне аэродрома посадки в полном объеме (на участках подхода);

б) о возникновении опасных явлений погоды в зоне аэродрома (на участках круга, посадки, взлета);

в) о возникновении опасных явлений погоды и метеорологических условиях в зонах взлета и набора высоты (на рулении).

С борта ВС в центры УВД должна поступать бортовая погода, которая передается по запросу соответствующего центра УВД, а также при встрече с опасными явлениями погоды на трассе полета.

В настоящее время обмен метеорологической информацией осуществляется следующим образом. Экипажи ВС необходимые сведения об условиях погоды получают путем прослушивания радиовещательных станций аэродромов, которые осуществляют передачу метеорологических сводок для ВС, находящихся в воздухе, либо путем запроса необходимых данных о погоде от диспетчеров УВД. При встрече в полете с опасными явлениями погоды, экипаж ВС обязан передать метеорологическую информацию диспетчеру УВД, с которым на данный момент времени под-

держивается связь. Такой порядок обмена метеорологической информацией в значительной мере отвлекает экипаж от выполнения основных функций по управлению ВС.

С вводом в эксплуатацию системы автоматизированного обмена данными (САОД) с бортами воздушных судов экипажи будут получать более оперативно и с меньшими затратами времени всю необходимую метеорологическую информацию, что в конечном итоге повысит безопасность воздушного движения.

Метеорологические сообщения в САОД «земля—борт—земля» разбиваются на три уровня приоритета. Сообщения с аэродромов первой посадки и постоянно действующих запасных аэродромов, отправляемые с признаком «шторм» имеют высший приоритет и передаются в установленном порядке вне всякой очереди. Сообщения, содержащие фактическую погоду и прогнозы погоды по аэродромам и имеющие признак «авиа», передаются после сообщений с признаком «шторм». Остальные сообщения передаются в третью очередь.

Метеорологические сообщения, которые будут циркулировать в каналах связи САОД и автоматизированной системы связи (АСС) «Аэрофлот», должны иметь единый установленный формат. Каждое сообщение должно состоять из двух частей: служебно-адресной и информационной.

Служебно-адресная часть должна иметь признак начала сообщения, приоритет, адрес получателя (регистрационный номер ВС, индекс аэропорта), тип сообщения, время подачи сообщения, адрес отправителя. Информационная часть метеорологического сообщения передается в единых форматах, позволяющих производить обработку этих сообщений на ЭВМ. Основными требованиями, общими для всех формализованных метеорологических сообщений, является следующее:

а) сообщения должны содержать признаки начала и конца информационной части;

б) все информационные группы отделяются друг от друга специальными разделителями;

в) информационные группы должны размещаться на строго установленных местах, либо каждая информационная группа должна иметь свой отличительный признак;

г) значения метеорологических параметров записываются в соответствии с установленным метеорологическим кодом;

д) метеорологическое сообщение может содержать группу дополнительной информации, данные в которой передаются открытым текстом. В этой группе передаются сведения о тенденции изменения основных элементов погоды на ближайшие два часа, сдвиг ветра, состояние ВПП, а для сообщений, передаваемых с борта ВС, данные об опасных явлениях погоды на трассе полета по результатам визуальных наблюдений.

После окончания информационной части должен передаваться признак конца телеграммы.

Метеорологические сообщения, передаваемые с бортов ВС, формируются с помощью бортового пилотажно-навигационного комплекса (БПНК) и дополняются результатами визуальных наблюдений членов экипажа. Информационная часть сообщений, передаваемых с бортов ВС включает следующие данные:

- а) время (часы, минуты) наблюдения;
- б) координаты местоположения и высоту полета ВС в данный момент времени;
- в) направление и скорость ветра на высоте полета, по данным БПНК;
- г) температуру воздуха за бортом ВС, на высоте полета.

Экипаж ВС при встрече в полете с опасными для авиации явлениями погоды вводит сведения о наблюдаемых явлениях погоды в память бортовой цифровой вычислительной машины (БЦВМ), путем набора этих данных на алфавитно-цифровой клавиатуре пульта.

Дополнительная информация от экипажей ВС, вводимая по визуальным наблюдениям, должна включать такие опасные явления погоды, как кучево-дождевая облачность, грозы, град, ливневые осадки, ледяной дождь, умеренное и сильное обледенение, болтанка.

В бортовом вычислительном комплексе ВС по заранее разработанным программам производится формирование метеорологического сообщения о фактическом состоянии погоды на высоте полета ВС (бортовая погода).

Сведения о бортовой погоде передаются по каналам АСС «Аэрофлот» всем потребителям, заинтересованным в этих данных.

Предполагается, что съем данных о погоде на эшелоне полета ВС будет осуществляться путем запроса с земли одиночных самолетов, а также одновременный опрос группы самолетов, находящихся в данном районе.

Метеорологические сообщения, передаваемые с борта ВС, по своей структуре должны быть близкими к форматам сообщений, циркулирующим в наземных каналах связи и предназначенных для метеорологического обеспечения различных центров УВД.

Для решения задач автоматизированного обмена метеорологической информацией система САОД «земля—борт—земля» сопрягается с вычислительными комплексами РАС УВД, АС УВД аэродромов и автоматизированной метеорологической информационно-измерительной системой (АМИИС). Это сопряжение должно осуществляться на техническом, программном и информационном уровнях.

Вычислительные комплексы центров УВД, а также АМИИС будут связаны прямыми каналами связи с ЦКС ближайшего аэродрома АСС «Аэрофлот». Прием и передачу метеорологической информации обеспечивает специальный комплекс технических средств передачи данных (КТСПД), создаваемый на базе ЭВМ, имеющих штатные внешние устройства сопряжения с каналами связи. Специальное математическое обеспечение КТСПД при обработке со-

общений, поступающих из каналов связи, обеспечивает решение следующих основных задач:

а) прием информации, поступающей из каналов связи, и запись ее в буферный накопитель;

б) документирование поступивших сообщений (запись на долговременный носитель) с указанием фактического времени поступления сообщений;

в) преобразование кодов передачи в единый машинный код;

г) сборка сообщений;

д) первичная обработка сообщений;

е) формирование «очереди» на обработку поступивших сообщений.

При передаче сообщений в каналы связи КТСПД решает следующие задачи:

а) контроль правильности составленной телеграммы;

б) преобразование машинного кода в соответствующий телеграфный код;

в) формирование «очереди» подготовленных для передачи телеграмм (запись подготовленных сообщений в буферную зону памяти в соответствии с их приоритетами);

г) анализ признака готовности ЦКС к приему информации;

д) выборка очередного сообщения из буферной зоны и выдача его в канал связи;

е) документирование выданной информации с фиксацией фактического времени выдачи каждого сообщения.

С технико-экономической точки зрения внедрение автоматизированных систем связи различного уровня является одним из важнейших мероприятий в общей проблеме повышения эффективности систем управления воздушным движением.

Автоматизация процесса передачи и приема метеорологической информации позволяет:

а) за короткий срок собирать в центрах обработки большие объемы метеорологических данных, получаемых с обширных областей пространства, в результате чего повышается эффективность оценок факторов, влияющих на безопасность, регулярность и экономичность полетов воздушных судов;

б) унифицировать методы и формы передачи, приема и отображения информации и тем самым облегчить процесс формирования метеосообщений, а также восприятие метеорологической информации ее потребителями;

в) исключить форматные и логические ошибки, уменьшить ошибки субъективного характера, которые возникают при ручных методах передачи и приема метеорологической информации в неавтоматизированных системах;

г) сократить долю ручного труда метеоспециалистов, диспетчеров УВД и летного состава и, следовательно, высвободить им больше времени на диагностику и прогнозирование метеорологической обстановки, а также на принятие соответствующих управленческих решений;

д) значительно сократить время на получение необходимой в данный момент метеорологической информации и на доведение команд управления до исполнителей;

е) уменьшить количество персонала узлов связи, осуществляющего в неавтоматизированных системах прием и передачу метеорологических и других сообщений в интересах УВД.

Таким образом, внедрение АСС позволяет расширить границы требований, предъявляемых к метеорологическому обеспечению центров УВД, и достичь более высокой степени удовлетворения этим требованиям. В свою очередь, выполнение высоких требований к метеорологическому обеспечению дает возможность совершенствовать планирование воздушного движения, повысить безопасность полетов воздушных судов, сократить простой авиационной техники и обслуживающего персонала, уменьшить сроки доставки пассажиров и грузов, а также время непроизводительной эксплуатации воздушных судов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Наставление по метеорологическому обеспечению гражданской авиации (НМО ГА-73).— Л.: Гидрометеиздат. 1973.— 142 с.

2. Сборник технологии работы диспетчеров, правил и фразологии радиобмена между экипажами ВС и диспетчерами службы движения ГА.— М.: Редакционно-издательский отдел ГА, 1976.

Л. В. Анискин, С. И. Грушин, Е. В. Романов

РАБОТА СТАНЦИИ КРАМС-М ПРИ МЕТЕООБЕСПЕЧЕНИИ ПОЛЕТОВ ПО ВТОРОЙ КАТЕГОРИИ

Модернизированные станции КРАМС-М [2] производятся с 1977 г. взамен станций КРАМС [1], получивших широкое распространение в аэродромных метеорологических подразделениях. При модернизации были устранены многие недостатки КРАМС, выявленные в процессе ее эксплуатации.

В последние годы существенно повысились требования к метеорологическому обеспечению авиации в связи с переводом ряда аэропортов на работу по первой и второй категории. В аэропортах, оборудованных по требованиям второй категории, допускается взлет и посадка самолетов в сложных погодных условиях: в тумане, при интенсивных осадках и др. Полеты прекращаются по метеоусловиям при горизонтальной дальности видимости на взлетно-посадочной полосе ВПП менее 400 м, высоте облаков (вертикальной видимости) — менее 30 м.

В связи с этим на метеорологические подразделения возлагается задача ежеминутного измерения и передачи диспетчерской службе аэродрома характеристик наиболее опасных для авиации метеоэлементов: высоты нижней границы облаков (ВНГО), метеорологической дальности видимости (МДВ), дальности видимости огней высокой интенсивности (ДВ ОВИ), параметров ветра. Решение этой задачи с помощью серийных станций КРАМС-М оказалось невозможным, поскольку минимальный период обновления метеоинформации в ней составляет около 1,5—2 мин. Появились также новые требования к информации, вызвавшие необходимость изменения методов измерения и представления данных об этих параметрах.

Для удовлетворения новым требованиям в 1979—1980 гг. были проведены работы по очередной модернизации станции КРАМС-М. Проведена существенная переработка программы и некоторых устройств станции — дистанционного блока, преобразователя параметров ветра. Изменена форма представления информации на индикаторных устройствах (ИУ), проработаны вопросы сопряжения КРАМС-М с автоматизированными системами управления воздушным движением.

В результате последней модернизации у станции появились следующие дополнительные эксплуатационные свойства.

1. Введен ускоренный режим измерения и выдачи информации. Обновление информации в этом режиме по параметрам ветра, ВНГО, МДВ и ДВ ОВИ происходит ежеминутно, по атмосферному давлению, температуре и влажности воздуха — с интервалом 30 мин.

2. Расширен диапазон расчета ДВ ОВИ в пределах от 40 до 6000 м, учтена возможность использования датчиков прозрачности атмосферы T с различной измерительной базой (20, 50, 100 м).

3. Изменена форма выдачи информации о видимости. Выдаются четыре значения дальности видимости, три из которых соответствуют показаниям трех датчиков, установленных вдоль ВПП. При этом в зависимости от того, что лучше просматривается — наземные ориентиры или огни высокой интенсивности, выдается МДВ или ДВ ОВИ. Четвертое значение соответствует минимальному показанию МДВ, полученному в результате анализа данных от этих датчиков.

4. Обеспечена возможность измерения параметров ветра вблизи рабочего старта аэродрома путем установки двух датчиков ветра вблизи торцов ВПП и подключением их к центральному устройству через дистанционные блоки.

5. Выдача атмосферного давления на табло производится в гектопаскалях и миллиметрах ртутного столба.

6. Величина атмосферного давления и высоты нижней границы облаков приводится к уровню рабочего старта ВПП.

7. Обеспечен автоматический пересчет данных МДВ, вводимых вручную, в значения ДВ ОВИ.

8. При замене (корректировке) автоматически измеряемых метеопараметров ручным вводом на ленте телеграфного аппарата, дублирующего всю выдаваемую информацию, печатается специальный признак рядом со значением замененного (откорректированного) параметра (буква «ю»).

Главная задача этой модернизации КРАМС-М состояла в разработке режима ускоренного (ежеминутного) обновления информации на выносных табло о МДВ, ДВ ОВИ, ВНГО и параметрах ветра. Это требование выполнено, обновление информации в ускоренном режиме происходит строго через 1 мин. При этом время прохождения одного цикла программы измерения, обработки и выдачи в полном объеме указанных параметров составляет около 58 с. Если обрабатываются и выдаются не все данные (в дневное время может не выдаваться ДВ ОВИ, в безоблачную погоду — ВНГО) время прохождения программы может сокращаться на 5—15 с. В сроки измерений температуры, влажности и давления выдача информации может задержаться на 30—40 с. В случаях, когда даже непродолжительное отставание недопустимо, наблюдатель метеостанции может перед сроком запретить с пульта станции КРАМС-М переход в режим автоматического измерения температуры, влажности и давления, и ввести эти данные ручным вводом по показаниям резервных приборов.

Рассмотрим программу КРАМС-М с ускоренным режимом измерений (рис. 1). В режиме ежеминутных измерений станция успевает пройти программу от начала до конца. В других режимах станция проходит программу по участкам, время прохождения которых составляет меньше минуты. Это связано с особенностью подсчета времени в центральном устройстве по минутным сигналам от датчика времени. В ЦУ имеется возможность запомнить только один минутный сигнал. Если он программой не учтен до начала следующей минуты, то два минутных сигнала воспринимаются как один и возникает ошибка в определении времени. В конце каждого участка программы организуется обращение к оператору, условно названному минутным, в котором проверяется поступление минуты, ведется подсчет времени и выполняются действия, являющиеся наиболее срочной задачей станции (измерение видимости, ветра, высоты облаков и др.).

Минутный оператор, как правило, заканчивается выходом в ячейку 100 запоминающего устройства (ЗУ) (блок 2), где указан начальный адрес следующего выполняемого блока. Единственный случай, когда порядок нарушается, связан с необходимостью быстро выключить датчики ВНГО после измерений. В этом случае через выход 2 производится обращение к блоку 11. Если минутный оператор выполняется после остановки ЦУ, то в ячейке 100 записан переход к блоку 3 ветвь А на выходе блока 2.

При работе станции в обычном режиме программу можно пройти одним из трех путей. По первому пути программа идет в случае, когда выполняется минимальный набор действий (отсутствуют измерения и нет передачи данных). Второй путь связан

с организацией передачи информации на одно или несколько внешних устройств. По третьей ветви программа идет только в сроки и обеспечивает измерение и обработку температуры, влажности, атмосферного давления.

В ускоренном режиме работы можно выделить только два пути прохождения программы в зависимости от того, наступил или нет срок измерения температуры, влажности, давления. В любом случае программа заканчивается выдачей информации на внешние устройства.

Рассмотрим сначала простейший путь программы в обычном режиме, когда не наступил срок измерений и не нужно передавать данные на внешние устройства (телеграфный аппарат ТА, индикаторные устройства ИУ, речевой ответчик РО).

В блоке 3 происходит проверка метки $P \geq 0$ и программа переходит к блоку 4. В блоке 4 производится проверка и фиксация в оперативной памяти в виде меток штормовой ситуации или окончания штормовой ситуации по ВНГО, видимости, скорости ветра; проверяется срабатывание датчика близких гроз. Проверка штормовой ситуации выполняется всегда независимо от измерения отдельных параметров. Здесь же выявляются моменты передачи данных на внешние устройства в зависимости от времени и положения переключателя режимов работы ЦУ, при этом записываются в ЗУ соответствующие метки (эти метки проверяются в блоке 9). После блока 5 при отсутствии срока измерения блоком 7 производится проверка вызова от ТА и фиксация в ЗУ ручного ввода по опасным явлениям, погоде, количеству и форме облаков. Ручной ввод по остальным параметрам фиксируется перед любой передачей на ИУ в минутном операторе, а также в начале блока 4.

Блок 9 обеспечивает передачу данных на внешние устройства в заданные сроки, при вызове и при наличии меток «шторм» или «авиа». При отсутствии требования передачи информации после блока 9 осуществляется переход к блоку 11. Здесь в заданные сроки производится выключение датчиков и всегда стирается часть меток. После блока 14, который записывает в ячейку 100 признак перехода к блоку 15, выполняется минутный оператор, а затем при отсутствии вызова с ИУ (метка $B=0$) в блоке 17 центральное устройство переходит в состояние ожидания следующего минутного сигнала. С наступлением минуты снова выполняется минутный оператор и повторяется весь ранее рассмотренный путь программы по ветви А.

При необходимости произвести выдачу данных прохождение блоков 7—10 идет другим путем. В блоке 7 проверяется метка передачи на ТА при запросе с ЦУ, а затем в блоке 9 — метки «шторм» и «авиа», передачи в заданные сроки на ТА, ИУ и РО. Если значение какой-либо метки указывает на необходимость передачи, то происходит вывод информации в нужном направлении. Предварительно эта метка стирается для того, чтобы при следующем обращении к блокам 7—10 не повторять такую же пере-

дачу. После любой передачи выполняется блок 10, записывающий в ячейку 100 признак перехода к блоку 8 (ветвь М). Затем производится обращение к минутному оператору и после него

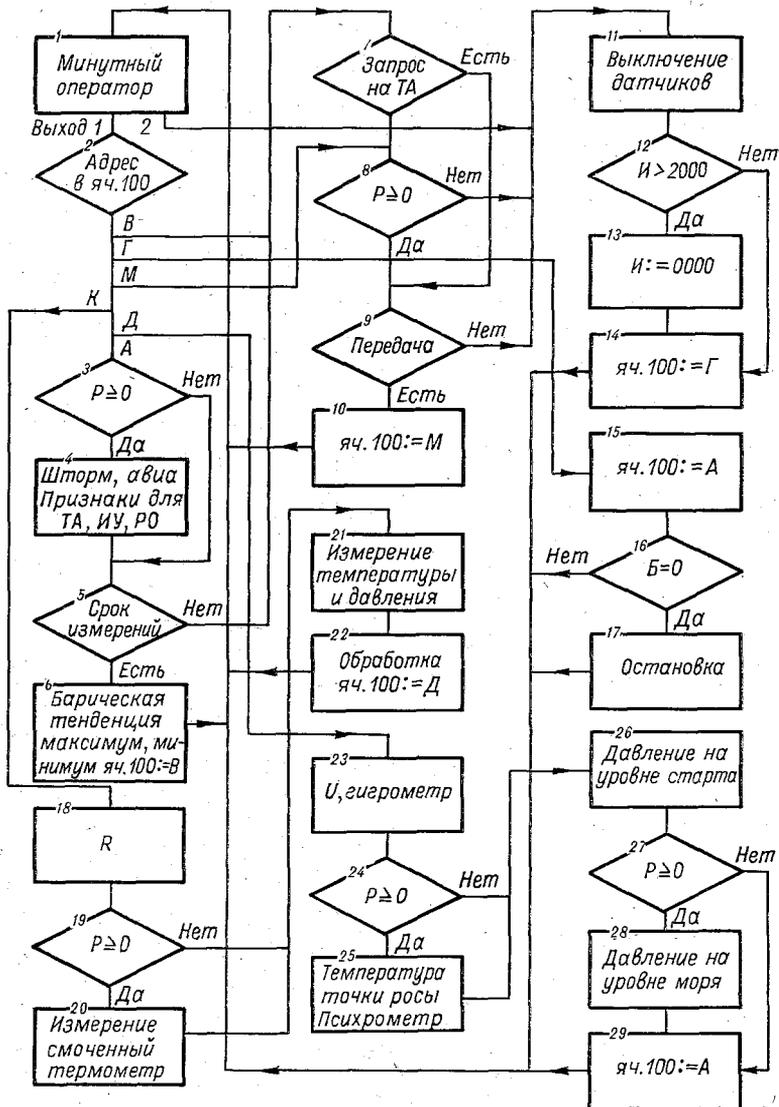


Рис. 1. Блок-схема программы с ускоренным режимом измерений.

к блоку 8. Такое построение программы позволяет передавать последовательно телеграммы разных видов и на различные внешние

устройства. Передача данных при запросе с ИУ организована в минутном операторе и будет рассмотрена ниже.

Рассмотрим теперь третий путь прохождения программы. При наступлении срока измерений в минутном операторе записывается в адрес ячейки 100 ЗУ обращение к блоку 18 (ветвь К), где происходит измерение значений сопротивления образцовых резисторов. Далее блоками 20—22 производится измерение температуры смоченного и сухого термометров, давления, а также обработка этих параметров. После выполнения минутного оператора в блоках 23—29 выполняется вычисление влажности и приведение давления к уровню ВПП и к уровню моря (ветвь Д). В дальнейшем, снова через минутный оператор осуществляется переход к блокам 3—5 (ветвь А), но после этого программа переходит к блоку 6. В этом блоке определяется величина и характер барической тенденции, минимальная и максимальная температура воздуха между синоптическими сроками. Поскольку эти операции занимают значительное время, после их выполнения в адрес ячейки 100 ЗУ записывается обращение к блоку 7 (ветвь В) и осуществляется переход к минутному оператору.

В ускоренном режиме обеспечивается обновление данных через минуту. Уменьшение периода обновления данных организовано путем обхода участков программы, связанных с выдачей телеграмм «метео», «шторм», «авиа» и расчетами некоторых характеристик температуры, влажности и давления, не используемых диспетчерским составом аэропорта при обеспечении взлета и посадки самолетов. Кроме того, в ускоренном режиме уменьшен объем измерений по датчикам видимости РДВ и высоты нижней границы облаков ДВНГО.

Переход в ускоренный режим происходит в одном из положений переключателя режимов работы на пульте ручного управления ЦУ. Состояние переключателя анализируется в минутном операторе, конкретно в СпДБ, где устанавливается знак метки Р режима работы (в ускоренном режиме $P < 0$). Поскольку обращение к СпДБ происходит только во время измерений показаний датчиков, подключаемых к ДБ, для ускорения вхождения в минутный режим необходимо осуществить вызов на ИУ. После минутного оператора при адресе в ячейке 100 ЗУ, равном А, происходит переход к блоку 3; с помощью этого блока в ускоренном режиме исключается анализ метеоситуации и сроков выдачи на внешние устройства. В срок измерений после блока 5 определяются характер барической тенденции, экстремальные значения температуры воздуха и другие характеристики, нуждающиеся в сведениях о результатах измерений за предыдущие сроки. Блок 6 в ускоренном режиме задействован главным образом для того, чтобы иметь возможность сразу после перехода в нормальный режим осуществлять передачу на ТА в полном объеме. После блока 6 выполняются минутный оператор и затем блок 7. К этому же блоку происходит обращение и из блока 5, если срок измерений не наступил. При запросе информации на ТА осуществляется передача

телеграммы блоком 9, а затем в ячейку 100 ЗУ записывается адрес M и после минутного оператора выполняется переход к блоку 8. Если запрос на ТА не поступил, то обращение к блоку 8 происходит непосредственно от блока 7.

Блок 8 в ускоренном режиме организует переход к программе выключения датчиков, минуя блок 9. Таким образом, запрещается любая передача в основной программе, кроме уже рассмотренного случая запроса на ТА. После выполнения блоков 11—14 и минутного оператора происходит обращение к 15 и затем к проверке метки B вызова на ИУ. Остановка программы блоком 17 до ближайшего минутного сигнала осуществляется только при отсутствии вызова, когда $B = 0$. В противном случае происходит переход к блоку 1. Благодаря этому уменьшается время реакции программы на вызов. В ускоренном режиме всегда $B = 3$, поэтому применение блока 16 позволяет переходить к новым измерениям сразу после окончания предыдущих и выполнения всех элементов основной программы.

При наступлении стандартного срока измерений происходит обращение к участку программы (блоки 18—29), обеспечивающему получение данных о температуре, влажности и давлении. Блок 19 позволяет при $P < 0$ обойти измерение показаний смоченного термометра и перейти сразу к измерению температуры воздуха и атмосферного давления (блок 21). Блок 22 включает программы расчета температуры по сухому и смоченному термометрам и атмосферного давления на уровне установки датчика. Поскольку показания смоченного термометра не измеряются, то автоматически исключаются и соответствующие расчеты.

Блоком 23 осуществляется измерение образцовых источников напряжения u , гигрометра и расчет относительной влажности воздуха по гигрометру. Результаты измерения источников напряжения и образцовых резисторов сохраняются до следующего стандартного срока, а между сроками используются в минутном операторе при обработке данных о ветре. После блока 23 в ускоренном режиме осуществляется переход к блоку 26, минуя расчеты температуры точки росы и относительной влажности по психрометру. Последняя проверка ускоренного режима в блоке 27 позволяет обойти расчеты, связанные с приведением давления к уровню моря. Приведение давления к уровню ВПП (блок 26) выполняется в любом режиме, поскольку эта характеристика передается на ИУ. В блоке 29 ячейке 100 ЗУ присваивается значение A ; после минутного оператора происходит обращение к блоку 3. Работа программы, начиная с этого участка, рассмотрена выше.

Схема минутного оператора изображена на рис. 2. Оператор начинается с проверки вызова от рулонного телеграфного аппарата РТА. При вызове от РТА блоком 2 фиксируется передача на ИУ и РТА тех данных, которые имеются к этому времени в оперативной памяти. Этот участок программы позволяет быстро передать информацию после ручного ввода и проверки данных без выполнения дополнительных измерений. Затем следуют проверка

вызова от ИУ, фиксация вызова в памяти с помощью метки B и проверка поступления минутного сигнала. При отсутствии минутного сигнала в ЗУ записывается метка $E = 1$, обходятся блоки 4—7 и выполняется блок 9, в котором проверяется логическая

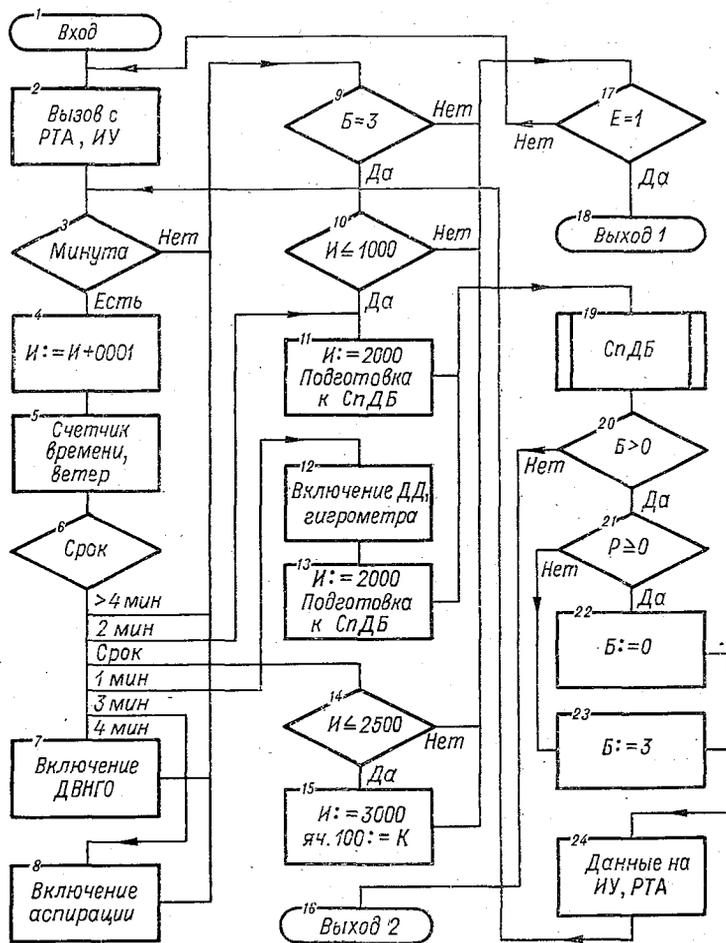


Рис. 2. Минутный оператор программы с ускоренным режимом измерений.

метка B . При отсутствии вызова с ИУ ($B = 0$) или неготовности датчиков к измерениям ($B = 1, 2$) происходит переход от блока 9 к блоку 17 и затем к первому выходу из минутного оператора.

Если к моменту работы блока 3 минутный сигнал поступил, то в ЗУ записывается метка $E = 0$, метка I увеличивается на единицу (смысл метки I раскрыт ниже) и блоком 5 выполняется подсчет времени (минуты, часы, день, месяц). В этом же блоке

каждую четную минуту (в ускоренном режиме ежеминутно) производится измерение и обработка параметров ветра. Определяются значения средней и максимальной скорости ветра за две минуты, составляющей максимальной скорости и направления ветра. Следующий блок выполняет разветвление программы при приближении к сроку измерений, который определяется по «фиктивному» времени. Фиктивное время сдвинуто относительно реального времени так, чтобы измерения и передача данных в сроки выполня-

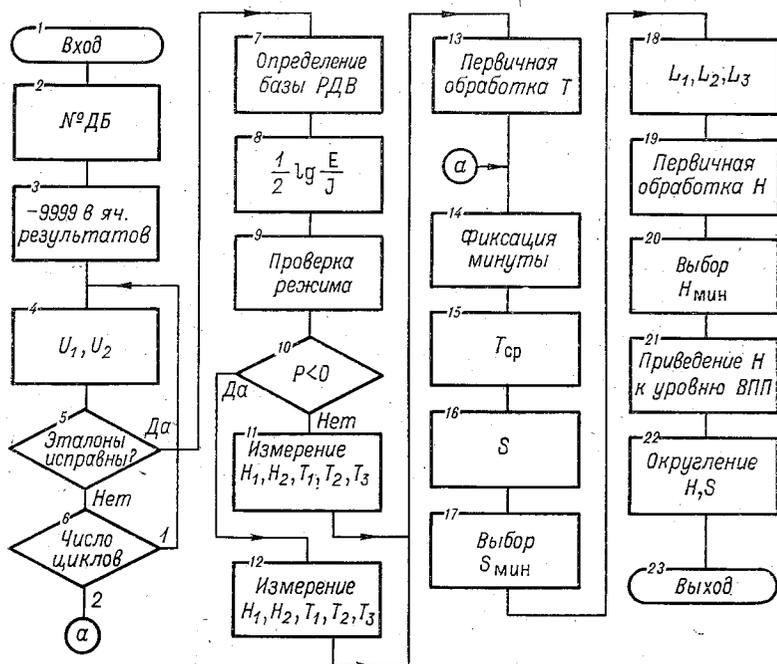


Рис. 3. СпДБ для программы с ускоренным режимом измерений.

лись именно в те моменты, которые определены для конкретного пункта наблюдений. Если остается более 4 мин до срока, то осуществляется переход к блоку 9, где проверяется необходимость выполнения работ по вызову от ИУ.

За 4 мин до срока измерений включается датчик ВНГО, за 3 мин — аспирация датчика температуры и влажности воздуха.

За 2 мин до срока производится измерение и обработка показаний датчиков прозрачности атмосферы T и высоты облаков H , подключенных к дистанционному блоку ДБ (блоки 11, 19 на рис. 2). Более подробно блок 19 СпДБ показан на рис. 3.

В начале СпДБ производится измерение значений эталонных источников напряжения ДБ и в случае их исправности происходит измерение показаний датчиков. Программа выполняет расчеты

для датчиков прозрачности (РДВ), имеющих разную базу. Размер базы для каждого датчика записан в долговременном ЗУ, а в блоке 7 значения базы трех датчиков, связанных с подключенным ДБ, передаются в оперативную память.

Обработка результатов измерений датчиков ДБ производится как при исправных, так и при неисправных эталонах (или ДБ), что необходимо для реализации расчетов ДВ ОВИ при ручном вводе значений МДВ. Центральное устройство КРАМС-М при этом выступает в качестве пересчетного устройства МДВ в ДВ ОВИ.

При расчете ДВ ОВИ предварительно вычисляется параметр $\lg \frac{E}{I}$, где E — освещенность, связанная со временем суток (день, сумерки, ночь), I — сила света огней высокой интенсивности, задаваемые ступенчато переключателем ОВИ на пульте ЦУ. Предусмотрена возможность ручного ввода в оперативное ЗУ произвольного значения параметра $\lg \frac{E}{I}$.

По окончании стандартной программы СпДБ в ЗУ имеются обработанные данные о ВНГО H , дальности видимости S и видимости ОВИ L , причем обработка выполняется в режиме нормальной работы ($P \geq 0$) по двум отсчетам для каждого датчика ВНГО и по одному отсчету для датчиков прозрачности атмосферы.

За одну минуту до срока включается питание датчика давления и гигрометра (см. рис. 2, блок 12) и через блок 13 повторяется измерение и обработка данных от ДБ. Разница состоит в том, что в обработке участвуют дополнительно результаты измерений в предыдущую минуту, т. е. используются по четыре отсчета для каждого датчика ВНГО и по два отсчета для датчиков прозрачности атмосферы. В процессе обработки выбирается одно наименьшее из четырех отсчетов значение для каждого датчика ВНГО с учетом разности уровня ВПП и места установки датчика; по средним значениям прозрачности из двух отсчетов для каждого РДВ вычисляется МДВ, из которых затем вычисляются значения ДВ ОВИ.

Обработка результатов измерений при каждом обращении к ДБ введена для ускорения реакции на вызов информации между сроками измерений, когда окончательные данные формируются после одного обращения к СпДБ.

В срок измерений (см. рис. 2) выполняются блоки 14, 15, которые изменяют содержимое ячейки 100 ЗУ таким образом, чтобы после минутного оператора произошло обращение к участку основной программы (блоки 18—29 см. рис. 1), осуществляющему измерение и обработку температуры, влажности, давления. В процессе обработки и передачи данных происходят повторные обращения к минутному оператору, а в нем к блокам 14, 15. В связи с этим введена метка И, которая исключает многократную одинаковую запись в ячейку 100 и соответственно повторение блоков

18—29 основной программы. Помимо этого с помощью метки I устраняется повторное обращение к СпДБ (блок 19) и к выдаче данных на ИУ, РТА (блок 24) в течение 1 мин. Если ЦУ не выполняет измерений, то $I \leq 1000$; при обращении к ДБ метке I присваивается значение 2000, а во время измерения и обработки данных о температуре, влажности, давлении, т. е. в сроки измерений ($I = 3000$). В минутном операторе при поступлении сигнала минуты всегда в блоке 4 метка I увеличивается на единицу. В процессе логической обработки при $I > 1000$ запрещается блоком 10 обращение к СпДБ, а при $I > 2500$ — повторение измерений температуры и других параметров в стандартные сроки. Сброс метки ($I = 0000$) осуществляется в конце основной программы (блок 13 см. рис. 1) после выключения датчиков, но только при $I > 2000$. Это означает, что после обращения к СпДБ и передачи на ИУ (при этом метка $I = 2000$) следующее обращение к дистанционному блоку через элемент минутного оператора 10 не произойдет, пока не поступит хотя бы один минутный сигнал, увеличивающий I на единицу. При $I = 2001$ в основной программе (блоком 13 см. рис. 1) делается запись $I = 0$, тем самым разрешается переход к СпДБ только после поступления минутного сигнала.

Передача данных на ИУ по вызову и в ускоренном режиме обеспечивается блоками 9—11 и 19—24 (см. рис. 2). В блоке 9 по значению метки B производится проверка вызова и готовности датчика ВНГО к измерениям. Запись $B = 1$ или $B = 3$ выполняется в начале минутного оператора (блок 2); здесь же включается питание датчиков ВНГО. Метка B присваивается 1, если вызов поступил, а датчики были выключены; в режиме без выключения питания датчиков ВНГО сразу фиксируется $B = 3$. При $B < 3$ каждую минуту значение метки увеличивается на единицу в блоке 6. Если $B = 3$ и метка $I \leq 1000$, после блоков 9, 10 выполняются блоки 11, 19. При отсутствии вызова или когда ЦУ занято измерениями ($I > 1000$) измерение и обработка данных от ДБ обходятся и происходит обращение к выходному блоку 17.

После выполнения стандартной программы 19 всегда проверяется поступление вызова от ИУ. Это связано с тем, что один и тот же участок программы, включающий блоки 11, 13, 19 работает и при вызове, и в сроки измерений. Блок 20 позволяет разделить эти ситуации. Если вызова нет ($B = 0$), минутный оператор заканчивается, причем в этом случае обходится и выходной блок 17. При вызове, когда метка $B > 0$, выполняется передача данных на ИУ и РТА и затем работа минутного оператора повторяется, начиная с блока 3. Повторение необходимо в связи с тем, что участок программы, включающий блоки 19—24 занимает значительное время. В ускоренном режиме работы при $P < 0$ метке вызова информации на ИУ присваивается значение $B = 3$. Благодаря этому при следующем обращении к минутному оператору и $I \leq 1000$ осуществляется повторное измерение показаний датчиков, подключенных к ДБ, и передача данных на ИУ.

Передача на ИУ при вызове производится после одного обращения к СпДБ, т. е. при обработке используются два отсчета для каждого датчика ВНГО и один отсчет для каждого из трех датчиков прозрачности атмосферы. В ускоренном режиме при передаче данных на ИУ используется по одному отсчету от двух датчиков ВНГО и трех датчиков прозрачности атмосферы. Сокращение количества измерений производится в СпДБ при условии $P < 0$ для уменьшения времени прохождения блока 19.

Минутный оператор заканчивается проверкой метки E (блок 17), фиксирующей поступление минутного сигнала к моменту выполнения блока 3. При $E = 1$ (минутного сигнала не было) оператор обеспечивает выход в адрес 100 ЗУ. Если минутный сигнал был принят ($E = 0$), то минутный оператор повторяется, начиная со второго блока. Повторение связано с тем, что при наличии минутного сигнала сам оператор занимает время, сравнимое с минутой, и после его выполнения требуется снова проверить поступление минутного сигнала.

Так же как и в серийной станции, минутный оператор выполняет всю наиболее срочную работу: определение ВНГО, видимости, скорости и направления ветра, передачу этих данных на ИУ, быстрое повторение передачи на ИУ после проверки и исправления информации оператором. Остальная часть общей программы (см. рис. 1) занята менее срочными операциями (выявлением штормовой ситуации, измерением и обработкой данных о давлении, температуре и влажности воздуха, передачей сведений на РО и ТА, выключением питания датчиков).

В настоящее время ведется оснащение аэропортов станциями КРАМС-М с усовершенствованной программой. Первые образцы этих станций успешно работают в шести крупных аэропортах нашей страны. Программа этих станций, установленных в 1979—1980 гг., имела в соответствии с действовавшим наставлением особенность формы представления данных о видимости, которая состояла в том, что по показаниям трех датчиков РДВ определялись два значения МДВ — видимость на посадке как минимальное значение для трех датчиков, и видимость на взлете как минимальное значение для двух датчиков, размещенных на ВПП, а также соответствующие этим величинам значения ДВ ОВИ (посадочная и взлетная). Кроме того, в сумерки и ночью МДВ заменялась значением дальности видимости светового ориентира 60 Вт.

В последующих модификациях реализован алгоритм расчета трех значений ДВ ОВИ (или видимости светового ориентира) и минимального значения МДВ.

Эти две модификации усовершенствованной программы КРАМС-М различаются, в основном, в блоках 17 и 18 СпДБ (см. рис. 3).

Совершенствование автоматических аэродромных метеостанций пойдет по пути использования серийных микроЭВМ. Это расширит круг задач, решаемых станциями, позволит полностью решить про-

блемы оперативного обмена информацией с автоматизированными системами управления воздушным движением и обеспечит дальнейший рост эффективности и безопасности полетов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Автоматическая станция КРАМС/Под ред. Л. П. Афиногорова и М. С. Стернзата.—Л.: Гидрометеиздат, 1974.—217 с.
2. Грушин С. И., Романов Е. В. Модернизация станции КРАМС.—Труды ГГО, 1980, вып. 413, с. 3—13.

М. О. Кричак

ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ВЕРТИКАЛЬНОГО СТАТИСТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ВЕТРА

В работе [2] была изложена схема комплексного автоматического контроля ветра на высотах, которая может быть применена в центрах обработки и хранения аэрологической информации. Одним из компонентов этого контроля является вертикальный статистический контроль составляющих вектора ветра u и v , основанный на оптимальной интерполяции по вертикали. Суть этого метода хорошо известна, а эффективность практического использования для контроля, в частности поля геопотенциала, подтверждается многолетним опытом использования в различных прогностических центрах.

Применительно к задаче контроля ветра эффективность вертикальной оптимальной интерполяции была оценена в ряде работ, в том числе и работах автора. Было показано, что в отношении точности интерполяции вертикальный и горизонтальный методы дают близкие результаты, причем в районах с редкой сетью станций вертикальная интерполяция оказывается точнее горизонтальной и поэтому более предпочтительной.

Кроме того, постанционный способ поступления и хранения данных в центрах обработки аэрологической информации обуславливает необходимость реализации в первую очередь именно вертикального контроля.

Для упрощения практической реализации автоматического контроля представляется целесообразным вычислить заранее интерполяционные веса для различных изобарических поверхностей, районов и сезонов года, попытаться их осреднить и получить априорные оценки допустимых невязок между вычисленными и измеренными значениями составляющих вектора ветра на всех уровнях, для которых производится контроль исходной информации. Этой задаче и посвящена настоящая работа.

Контролируемые значения зональной и меридиональной составляющих вектора ветра относятся к стандартным поверхностям 850, 700, 500, 400, 300, 250, 200, 150, 100, 80, 50 гПа; статистический контроль данных более высоких уровней представляется нецелесообразным из-за недостаточной обеспеченности данных о статистической структуре.

Как уже было изложено в работе [2], при интерполяции значений каждой из составляющих вектора ветра на конкретный уровень используются их значения на двух уровнях — выше и нижележащем (исключение составляют только самый нижний и самый верхний уровни, для которых интерполяция заменяется экстраполяцией). Если на ближайших к контролируемому уровню или на одном из них данные отсутствуют, то используется следующая по удаленности пара уровней (или уровень). Таким образом, если обозначить номер контролируемого уровня « K », то интерполяция на него выполняется по одной из следующих четырех схем: I — влияющие уровни $K-1$ и $K+1$, II — $K-2$ и $K+2$, III — $K-1$ и $K+2$ и IV — $K-2$ и $K+1$.

При отсутствии данных на указанных уровнях данные уровня « K » не контролируются.

При практической реализации автоматического контроля хранения в памяти ЭВМ нескольких наборов параметров контроля (весов и допустимых невязок) для каждой стандартной изобарической поверхности представляется более целесообразным, чем их расчет каждый раз заново.

В настоящей работе необходимые характеристики для каждой из четырех применявшихся схем интерполяции были получены на ЭВМ БЭСМ-6 по программе Ю. М. Либермана. В качестве сведений о межуровневых корреляционных функциях составляющих u и v , так же как и в работе [2], нами использовались данные, содержащиеся в работах А. Қоханского [5] и В. Д. Қазначевой и Э. М. Байдала [1].

В работе [5] приведены значения полусумм коэффициентов вертикальной корреляции зональной и меридиональной составляющих вектора ветра для каждого из четырех сезонов года, рассчитанные по данным всего северного полушария для следующих широтных зон: I — полярной зоны ($\varphi \geq 60^\circ$), II — зона умеренных широт ($40^\circ \leq \varphi < 60^\circ$), III — тропической зоны ($30^\circ \leq \varphi < 40^\circ$), IV — экваториальной зоны ($\varphi < 30^\circ$).

В работе [1] содержатся значения коэффициентов вертикальной корреляции для января и июля, полученные отдельно для составляющих u и v по данным 50 станций СССР. Корреляционные матрицы осреднены для следующих районов: I — $\varphi > 60^\circ$ с. ш., II — $40^\circ \leq \varphi \leq 60^\circ$ с. ш., III — $\varphi < 45^\circ$ с. ш., IV — район Приморья, южнее 55° с. ш.

По данным о статистической структуре, приведенным в той и другой использованной работе, веса вертикальной оптимальной интерполяции рассчитывались едиными для обеих составляющих при использовании значений полусумм вертикальных коэффициентов корреляции для u и v . В работе [2] именно эти коэффициенты и содержатся, а по данным работы [1] они были предварительно рассчитаны.

Осредненные для составляющих u и v дисперсии на различных изобарических поверхностях $\sigma_{u, v}^2$ были получены по данным ра-

бот [6] и [1]. Значения дисперсий ошибок измерения $\beta_{u,v}^2$ на основании приводящихся в работе [4] данных об ошибках измерения ветра в свободной атмосфере были приняты следующими:

p гПа . . .	850	700	500	400	300	250	200	150	100	80	50
β^2 м ² ·с ⁻² . . .	1,0	1,0	1,0	3,0	3,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0

Параметры вертикальной оптимальной интерполяции были рассчитаны в соответствии с детальностью использованных статистических данных, для каждой из широтных зон северного полушария по [5] и для каждого района для территории СССР по [1], для всех сезонов года, для 11 изобарических поверхностей (от 850 до 50 гПа).

Анализ результатов свидетельствует о том, что различие интерполяционных весов (a и b), а также средних квадратических значений теоретических невязок сопоставления (E) между измеренными и интерполированными значениями невелики, в связи с чем была осуществлена попытка осреднения весов как по территории, так и по сезонам года.

В качестве примера осредненные по зонам и сезонам значения интерполяционных весов a' и b' , вычисленные по данным работы [5] (A) и работы [1] (B) для I интерполяционной схемы, представлены в табл. 1.

Таблица 1

Осредненные интерполяционные веса для I схемы интерполяции

Веса	p гПа										
	850	700	500	400	300	250	200	150	100	80	50
A											
a'	0,00	0,53	0,39	0,59	0,43	0,53	0,51	0,52	0,30	0,43	0,28
b'	0,61	0,32	0,50	0,36	0,53	0,40	0,45	0,32	0,41	0,43	0,00
B											
a'	0,0	0,48	0,41	0,64	0,49	0,59	0,50	0,45	0,40	0,45	0,67
b'	0,55	0,37	0,56	0,39	0,56	0,42	0,47	0,44	0,44	0,40	0,00

Оценка правомерности осреднения весов выполнялась путем расчета изменения средней квадратической ошибки сопоставления $E = \sqrt{E'^2 + \beta^2}$, где E' — средняя квадратическая теоретическая ошибка интерполяции, β — средняя квадратическая ошибка измерений. Поскольку осредненные веса a' и b' уже не являются, строго говоря, весами оптимальной интерполяции, ошибки сопоставления в этом случае оценивались уже не по «оптимальным» формулам, а по формулам, являющимся общим случаем формул

расчета средней квадратической ошибки сопоставления при любом способе интерполяции.

Для случая интерполяции

$$E^2 = m_{00} + a^2 m_{11} + b^2 m_{22} + 2a'b'm_{12} - 2a'm_{01} - 2b'm_{02} + \beta^2,$$

для случая экстраполяции

$$E^2 = m_{00} + a^2 m_{11} - 2a'm_{01} + \beta^2,$$

где $m_{00} = m_{11} = m_{22}$ — дисперсий интерполируемого элемента, m_{12} , m_{01} , m_{02} — значения ковариаций между уровнями 1 и 2, 0 и 1, 0 и 2 соответственно.

Изменение ошибки сопоставления по отношению к ее значению, полученному для оптимальной интерполяции до осреднения весов оценивалось для каждой широтной зоны и каждого сезона года.

Анализ результатов свидетельствует о том, что применение осредненных весов не приводит к существенному изменению средней квадратической ошибки сопоставления; как правило, оно составляет не более 10 %, исключением являются уровни 80 и 50 гПа, где величина может изменяться на 30 и даже 50 %.

Значение E для каждой широтной зоны и сезона, полученные в результате применения весов, осредненных по всем районам и сезонам, представлены в табл. 2. Значения E относятся к первой схеме интерполяции по данным о статистической структуре, полученным в работах [5] (А) и [1] (В).

Таблица 2

Невязки сопоставления E (м/с) для вертикальной интерполяции составляющих вектора ветра по данным о межуровневой корреляции, полученным в работах [5] (А) и [1] (В)

Р гПа	А																В							
	I				II				III				IV				I		II		III		IV	
	з	в	о	л	з	в	о	л	з	в	о	л	з	в	о	л	з	л	з	л	з	л	з	л
850	5	5	4	5	5	4	4	5	5	4	4	4	3	3	3	3	5	4	5	4	5	4	4	4
700	4	4	4	4	4	4	4	4	5	4	4	4	4	3	3	3	3	3	4	3	4	5	4	5
500	5	5	4	4	5	5	5	4	5	5	4	4	4	4	3	3	3	3	4	3	4	4	5	4
400	5	5	5	5	6	5	5	5	6	6	5	4	5	4	4	4	4	4	4	4	5	4	5	5
300	6	6	6	6	7	6	6	6	7	7	6	7	7	6	5	5	4	4	4	5	5	5	5	6
250	5	5	5	5	6	6	6	5	7	7	7	5	5	5	5	5	4	5	5	5	5	5	6	5
200	5	5	5	5	6	6	6	6	8	8	6	6	6	5	5	5	4	5	5	5	5	6	6	6
150	5	5	5	4	7	6	7	6	8	8	8	6	6	6	6	5	4	4	5	4	5	5	6	7
100	5	5	4	4	6	5	6	5	7	7	7	6	7	7	6	6	4	5	4	4	5	5	7	7
80	6	6	4	4	6	5	5	5	6	6	6	5	8	8	8	7	5	4	4	3	5	5	7	7
50	9	9	6	4	8	6	6	5	6	6	6	5	9	9	9	7	8	4	7	4	6	7	8	8

Примечания: 1. Номера зон даны в соответствии с районированием, принятым в работах [5] и [1]; 2. З, В, О, Л — начальные буквы названий сезонов (зимы, весны, осени, лета).

Можно видеть, что значения E несколько меньше для лета, чем для остальных сезонов года и несколько меньше в средней тропосфере в экваториальной зоне, чем в зонах полярной, умеренной и тропической. Кроме того, прослеживается увеличение значений E в тропической и умеренной зонах на высотах от 300 до 100 гПа, что, очевидно, связано с большей изменчивостью ветра в областях струйных течений.

Теоретические оценки параметров вертикального контроля по данным работы [5] оказываются на 1—3 м/с больше, чем по данным работы [1]. Значения для второй, третьей и четвертой схем интерполяции выше, чем для первой схемы (на 3—4 м/с) на уровнях 850 и 700 гПа и практически такие же на более высоких уровнях.

Выполненная оценка величин E дает возможность теоретически установить допустимые критические значения невязок сопоставления Δ , представляющих собой в каждом конкретном случае разность между вычисленными по данным измерений и интерполированным значениями составляющих ветра u или v .

Исходя из нормальности распределения относительных невязок сопоставления $\delta = \Delta/E$, что показано в работе [2], мы можем, подвергая сомнению, например, 1% истинных данных, установить критическое значение $\delta_{\text{кр}} = 3$, поскольку дисперсия безразмерной величины δ равна 1, и тогда допустимое критическое значение невязки Δ , превышение которого свидетельствует об ошибке в данных, составит $3E$.

Для отработки критериев браковки теоретические оценки должны быть сопоставлены с эмпирическими результатами, полученными на достаточно большом оперативном материале.

Тем не менее, оцененные параметры уже могут быть использованы как в схемах, реализующих только вертикальный статистический контроль данных о ветре, так и в схемах комплексного контроля, одним из компонентов которого является вертикальный контроль.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Казначеева В. Д., Байдал Э. М. Обобщение характеристики вертикальных корреляционных связей ветра над СССР. Труды III Всесоюзного симпозиума по применению статистических методов в метеорологии.— М.: Гидрометеиздат, 1978, с. 171—182.
2. Кричак М. О. К вопросу об автоматическом контроле данных измерений ветра в свободной атмосфере.— Труды ГГО, 1970, вып. 267, с. 117—134.
3. Либерман Ю. М. Параметры статистического контроля вертикальных профилей геопотенциала и температуры.— Труды ЗСРНИГМИ, вып. 29, 1978, с. 17—23.
4. Решетов В. Д. Требования к точности измерений, разрешению в пространстве и во времени для информации о состоянии атмосферы.— Труды ЦАО, вып. 133, 1978, с. 55—65.
5. Kochanski A. Models of vertical correlations of the wind.— Meteorol., 1961, vol. 18, N 2, p. 151—159.
6. Oort A. H., Rasmusson E. M. Atmospheric circulation statistics.— NOAA Prof. Pap. 1971, N 5, p. 95—97.

ТРАНСФОРМИРОВАННЫЕ ПОГРЕШНОСТИ КОСВЕННО ОПРЕДЕЛЯЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ТЕПЛОВОГО БАЛАНСА

Как было показано в работе [5], ввиду косвенности определения величин испарения E , турбулентного потока тепла P и коэффициента обмена K , рассчитываемых по методу теплового баланса и методу турбулентной диффузии, погрешности измерения исходных параметров независимо от природы их возникновения проявляются в результатах вычислений в виде трансформированных ошибок. Очевидно, что точность определения результирующих величин E , P и K будет непосредственно зависеть от точности измерения указанных исходных параметров. Поскольку, однако, расчетные формулы для E , P и K в обоих случаях имеют нелинейную структуру, то трансформированные ошибки определения искомого элемента теплового баланса будут зависеть как от погрешностей измерения исходных параметров, так и от их абсолютных значений. В связи с этим рассмотрим вопрос о влиянии погрешностей измерения входных величин на точность определения результирующих элементов E , P и K , рассчитываемых по методу теплового баланса.

Рассмотрим вначале несколько общих соотношений. Пусть некоторая интересующая нас величина f непосредственно не измеряется, а рассчитывается по результатам прямых измерений совокупности n исходных параметров f_1, f_2, \dots, f_n . В соответствии с этим считается заданной функциональная зависимость

$$f = \Phi(f_1, f_2, \dots, f_n). \quad (1)$$

Погрешности измерения величин f_i , пересчитанные в выходную величину f , являются источниками трансформированной ошибки измерений, средний квадрат которой в первом приближении может быть вычислен по формуле [1]:

$$\overline{\Delta f^2} = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial \Phi}{\partial f_i} \right)^2 \overline{\Delta f_i^2} + 2 \sum_{i < j}^n \left(\frac{\partial \Phi}{\partial f_i} \right) \left(\frac{\partial \Phi}{\partial f_j} \right) \overline{\Delta f_i \Delta f_j}. \quad (2)$$

Здесь Δf — абсолютная трансформированная ошибка определения величины f ; $\Delta f_i (i=1, 2, \dots, n)$ — погрешности измерения исходных параметров; черта, как и раньше, — операция статистического осреднения.

Как следует из этого равенства, трансформированная ошибка зависит от абсолютных значений аргументов f_i ; поэтому при проведении конкретных расчетов входящие в эти формулы частные производные $\partial \Phi / \partial f_i$ должны рассчитываться для заданных значений f_i . В частности, если требуется определить величину трансформированной ошибки Δf в некоторой средней точке простран-

ства переменных f_i , то частные производные $\partial\Phi/\partial f_i$ должны рассчитываться при значениях аргументов, равных соответствующим математическим ожиданиям \bar{f}_i . При этом во всех случаях трансформированная ошибка будет зависеть от структуры исходной формулы (1).

В тех случаях, когда ошибки Δf_i случайны, т. е. не содержат систематических составляющих, равенство (2) можно переписать в виде

$$\sigma_{\Delta f}^2 = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial\Phi}{\partial f_i}\right)^2 \sigma_{\Delta f_i}^2 + 2 \sum_{i < j}^n \left(\frac{\partial\Phi}{\partial f_i}\right) \left(\frac{\partial\Phi}{\partial f_j}\right) R_{ij}. \quad (3)$$

Здесь через $\sigma_{\Delta f_i}^2$ — $\sigma_{\Delta f_n}^2$, $\sigma_{\Delta f}^2$ обозначены дисперсии соответствующих исходных и трансформированной погрешностей; R_{ij} — корреляционный момент между ошибками Δf_i и Δf_j .

При необходимости более точной оценки трансформированных ошибок вместо расчетной зависимости (3) может быть использовано соотношение:

$$\sigma_{\Delta f}^2 = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial\Phi}{\partial f_i}\right)^2 \sigma_{\Delta f_i}^2 + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial^2\Phi}{\partial f_i^2}\right)^2 \sigma_{\Delta f_i}^4 + \sum_{i < j}^n \left(\frac{\partial^2\Phi}{\partial f_i \partial f_j}\right)^2 \sigma_{\Delta f_i}^2 \sigma_{\Delta f_j}^2, \quad (4)$$

которое справедливо при условии нормальности и независимости ошибок Δf_i . Исходя из равенств (2)–(4), не представляет также особого труда для любого значения f определить относительную среднюю, квадратическую трансформированную ошибку

$$\delta_f = \sqrt{\Delta f^2}/f = \sigma_{\Delta f}/f. \quad (5)$$

На основании приведенных зависимостей найдем трансформированные погрешности величин затрат тепла на испарение LE , турбулентного потока тепла P и коэффициента обмена K , определяемых по методу теплового баланса. Согласно этому методу

$$LE = [(R - B) \Delta e]/(\Delta e + a \Delta T), \quad (6)$$

$$P = [(R - B) a \Delta T]/(\Delta e + a \Delta T), \quad (7)$$

$$K = [(R - B) b]/(\Delta e + a \Delta T). \quad (8)$$

Здесь R — радиационный баланс подстилающей поверхности; B — поток тепла в почву; ΔT и Δe — градиенты температуры и абсолютной влажности между двумя уровнями измерения в приземном слое воздуха; L — удельная теплота парообразования; a и b — коэффициенты, зависящие от высоты местности и размерности величины Δe ($a=0,64$, если Δe выражается в гектопаскалях; $b=0,38$ для разности уровней измерения $\Delta z=1,5$ м).

Чтобы избежать последующих громоздких записей, перепишем исходные формулы (6) — (8) в виде

$$LE = xy/(y + az), \quad (9)$$

$$P = axz/(y + az), \quad (10)$$

$$K = bx/(y + az), \quad (11)$$

где $x=R-B$; $y=\Delta e$; $z=\Delta T$; a и b — те же, что и в (6) — (8).

Применяя к этим выражениям общие равенства (3) и (5) и предполагая, что ошибки измерения величин x , y и z статистически независимы ($R_{ij}=0$), получим следующие соотношения для относительных средних квадратических трансформированных погрешностей определения параметров E , P и K :

$$\delta_E = \sqrt{\left(\frac{1}{x}\right)^2 \sigma_{\Delta x}^2 + \left[\frac{az}{y(y+az)}\right]^2 \sigma_{\Delta y}^2 + \left(\frac{a}{y+az}\right)^2 \sigma_{\Delta z}^2}, \quad (12)$$

$$\delta_P = \sqrt{\left(\frac{1}{x}\right)^2 \sigma_{\Delta x}^2 + \left(\frac{1}{y+az}\right)^2 \sigma_{\Delta y}^2 + \left[\frac{y}{z(y+az)}\right]^2 \sigma_{\Delta z}^2}, \quad (13)$$

$$\delta_K = \sqrt{\left(\frac{1}{x}\right)^2 \sigma_{\Delta x}^2 + \left(\frac{1}{y+az}\right)^2 \sigma_{\Delta y}^2 + \left(\frac{a}{y+az}\right)^2 \sigma_{\Delta z}^2}. \quad (14)$$

В этих формулах $\sigma_{\Delta x}$, $\sigma_{\Delta y}$ и $\sigma_{\Delta z}$ — абсолютные средние квадратические ошибки определения величин x , y и z .

Из последних равенств видно, что трансформированные ошибки определения элементов теплового баланса зависят не только от ошибки измерения параметров x , y и z , но и от абсолютных значений этих величин. Принимая, что при использовании стандартной методики измерений $\sigma_{\Delta x}=0,014$ кВт/м², $\sigma_{\Delta y}=0,1$ гПа, $\sigma_{\Delta z}=0,1$ °С [2—4], и следовательно, модули этих величин связаны соотношением $|\sigma_{\Delta y}| = |\sigma_{\Delta z}| = 5|\sigma_{\Delta x}| = \sigma_{\Delta}$, выражения (12) — (14) можно представить в следующей форме:

$$\delta_E = \sqrt{\frac{1}{25x^2} + \frac{a^2(y^2+z^2)}{y^2(y+az)^2}} \sigma_{\Delta}, \quad (15)$$

$$\delta_P = \sqrt{\frac{1}{25x^2} + \frac{y^2+z^2}{z^2(y+az)^2}} \sigma_{\Delta}, \quad (16)$$

$$\delta_K = \sqrt{\frac{1}{25x^2} + \frac{1+a^2}{(y+az)^2}} \sigma_{\Delta}. \quad (17)$$

Используя полученные соотношения, исследуем вопрос о зависимости трансформированных погрешностей от ошибок определения входных величин. Поскольку во всех случаях задача является трехмерной (величины δ зависят от параметров x , y и z), то ее оказалось целесообразно решать в два этапа. Вначале для каждого

из трех элементов E , P и K в координатах (y, z) строились изолинии

$$\varphi(y, z)|_{x=1, \delta=\text{const}} = 0, \quad (18)$$

отвечающие заданному значению относительной средней квадратической трансформированной погрешности δ (%) при $x = 0,7$ кВт/м² (рис. 1—3). Далее осуществлялся переход к значе-

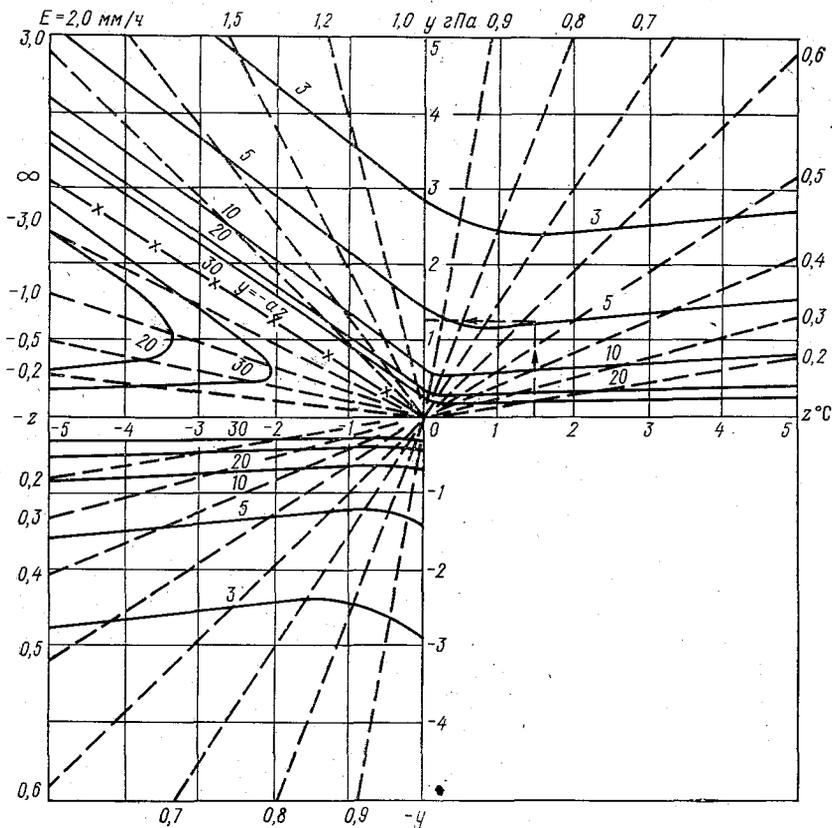


Рис. 1. Изолинии относительных ошибок δ_x ($x = \pm 0,7$ кВт/м²).

Пунктирными линиями показаны изолинии E (мм/ч).

ниям δ , соответствующим произвольным x . Для этой цели был построен универсальный для всех трех случаев график

$$\delta = \bar{\varphi}(x, y, z) = \sqrt{\delta^2(y, z)|_{x=1} + \frac{1}{25} \left(\frac{1}{x^2} - 1 \right)}, \quad (19)$$

изображенный на рис. 4.

Помимо изолиний относительных погрешностей $\delta(y, z)|_{x=1}$, пунктирными линиями на рис. 1—3 изображены изолинии абсолютных значений косвенно определяемых элементов E , P и K , на-

личие которых позволяет рассчитать абсолютные трансформированные ошибки.

Проиллюстрируем это на примере определения относительной ошибки δ_E , возникающей при вычислении испарения E . Допустим, что в результате измерений получены значения $x=0,42$ кВт/м², $y=1,25$ гПа, $z=1,5^\circ\text{C}$. По данным y и z (см. рис. 1) находим

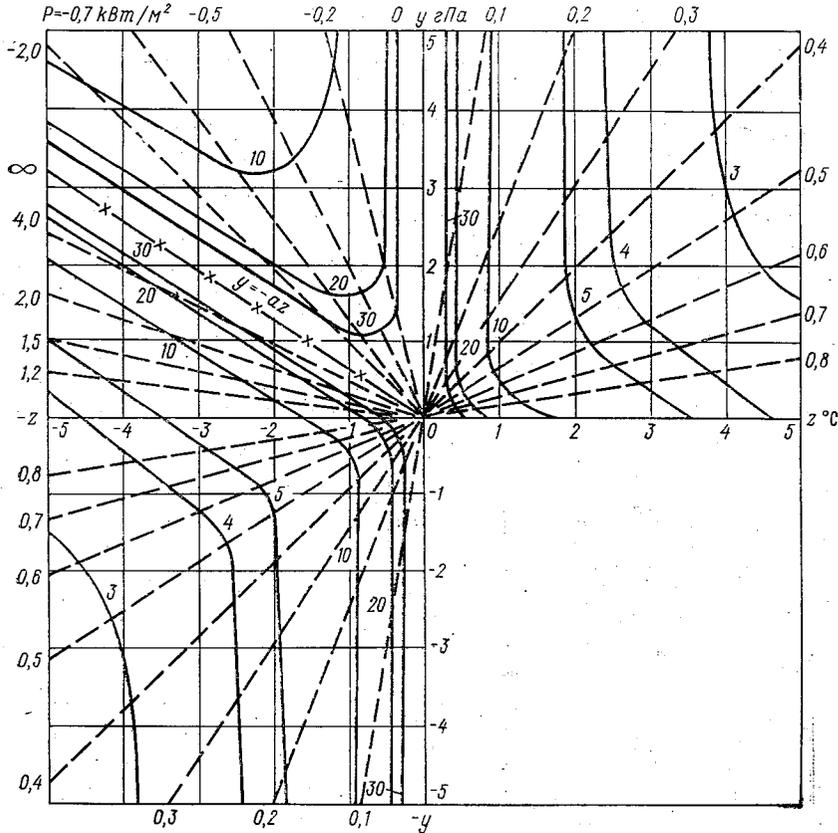


Рис. 2. Изолинии относительных ошибок δ_P ($x=\pm 0,7$ кВт/м²).

Пунктирными линиями показаны изолинии P (кВт/м²).

величину $\delta_E|_{x=1}$, которая в данном случае оказывается равной 5%. Установив теперь по универсальному графику (см. рис. 4) точку пересечения 5%-ной кривой с вертикалью $x=0,6$, по оси ординат отсчитываем результирующее значение δ_E , равное 6%. Как видно из рис. 1, это соответствует абсолютному значению испарения

$$E = xE(x=1) \approx 0,36 \text{ мм/ч.}$$

Совершенно аналогична процедура нахождения относительных трансформированных ошибок δ_P и δ_R по рис. 2 и 3.

Из рассмотрения графиков, приведенных на рис. 1—3, видно, что зависимость трансформированных ошибок δ_E , δ_P и δ_K от аргументов y и z является совершенно различной.

При одинаковых по знаку y и z величина трансформированной ошибки для E практически не зависит от z и уменьшается с увеличением абсолютного значения y . В случае, когда y и z имеют разные знаки, а именно $y > 0$, а $z < 0$, и удовлетворяется условие

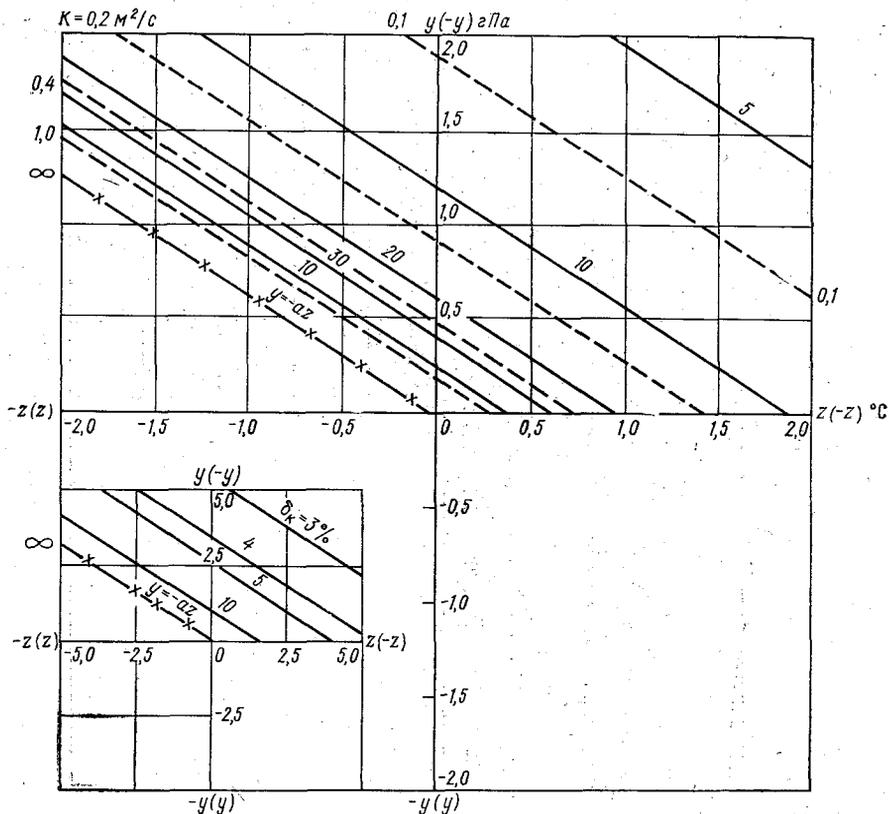


Рис. 3. Изолинии относительных ошибок δ_K ($x=0.7 \text{ кВт}/\text{м}^2$).

Пунктирными линиями показаны изолинии K ($\text{м}^2/\text{с}$).

$y = -az$, ошибки δ_E увеличиваются с ростом абсолютного значения z и уменьшаются с увеличением значения y . Если указанное условие не выполняется, т. е. $y < -az$, то функция $y_E = y_E(z) |_{x=1, \delta = \text{const}}$ носит более сложный характер, напоминая гиперболу, расположенную между осью абсцисс и прямой $y = -az$.

Что касается турбулентного потока тепла, то здесь имеют место закономерности, в известной степени обратные аналогичным закономерностям для E . А именно, при одинаковых знаках y и z в первом и третьем квадрантах трансформированная ошибка δ_P в основном определяется величиной z и слабо зависит от y

Во втором квадранте при $y < -az$ значение δ_P увеличивается с ростом y и, наоборот, уменьшается с ростом абсолютной величины z ; при $y > -az$ зависимости $y_P = y_P(z) |_{x=1, \delta = \text{const}}$ имеют вид «гиперболических» кривых.

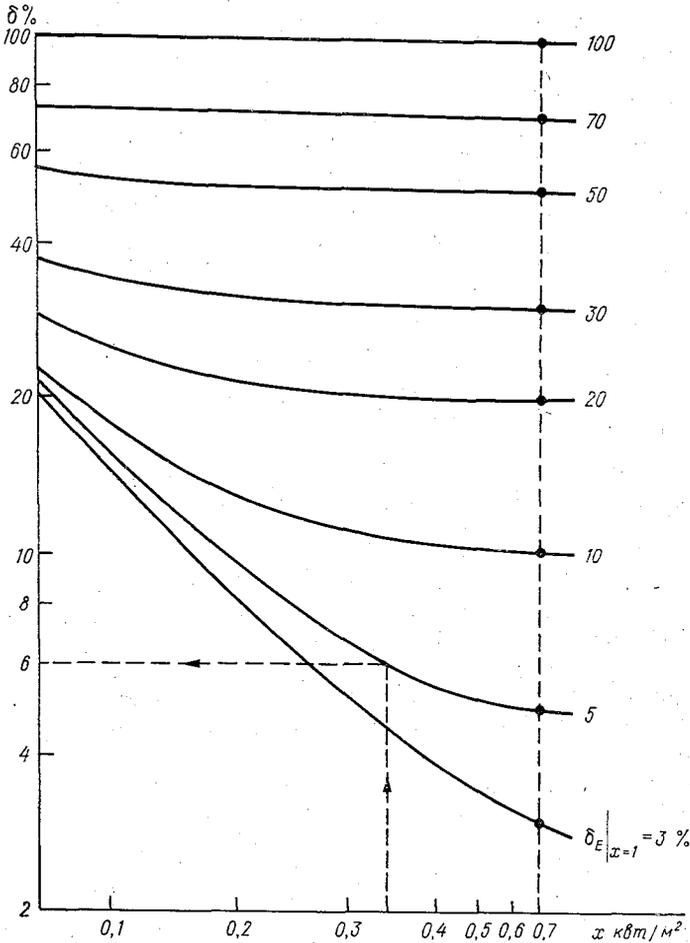


Рис. 4. Универсальный график для определения относительных ошибок вычисления величин E , P и K , соответствующих произвольным значениям x .

Для K изолинии ошибок $y_K = y_K(z) |_{x=1, \delta = \text{const}}$ представляют собой линии, параллельные прямой $y = -az$, причем по мере удаления от нее по обеим координатам ошибки δ_K уменьшаются.

Общим для всех трех случаев является резкое возрастание трансформированных ошибок вблизи значений $y = -az$, при которых погрешности стремятся к бесконечности. Одинаков также

характер зависимости ошибок от x . Это объясняется тем, что в расчетных формулах (6)—(7) величины E , P и K связаны со значением x линейно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вентцель Е. С. Теория вероятностей.— М., Физматгиз, 1962.— 564 с.
2. Методические основы автоматизированной системы метеорологических наблюдений/Под ред. Д. П. Беспалова.— Л.: Гидрометеиздат, 1971.— 120 с.
3. Руководство по градиентным наблюдениям и определению составляющих теплового баланса.— Л., Гидрометеиздат, 1964.— 37 с.
4. Руководство по теплобалансовым наблюдениям.— Л.: Гидрометеиздат, 1977.— 150 с.
5. Саноян М. Г. Границы применимости методов теплового баланса и турбулентной диффузии.— Труды ГГО, 1980, вып. 435, с. 72—80.

Л. С. Мордовина, Г. Н. Новохацкая

ПОГРЕШНОСТИ В ОПРЕДЕЛЕНИИ НАБЛЮДАТЕЛЕМ АТМОСФЕРНЫХ ЯВЛЕНИЙ, СВЯЗАННЫХ С ВЫПАДЕНИЕМ СНЕГА

Наблюдения за атмосферными явлениями на метеорологических станциях производятся визуально. При любых инструментальных измерениях прежде всего решается вопрос о том, можно ли имеющимся прибором измерить требуемую величину. Для этой цели служит несколько характеристик прибора: диапазон измерения, цена деления, класс точности. Метеорологические наблюдения, производимые визуально, в отличие от инструментальных наблюдений, не имеют метрологического обеспечения.

Данная работа ставит целью определить погрешность визуального распознавания наблюдателем вида и интенсивности атмосферных явлений, связанных с выпадением снега. Как показали исследования в области инженерной психологии [5], человек обладает вполне определенным пределом в своих возможностях распознавания и запоминания. Прием информации из внешней среды ограничен величинами абсолютного и дифференциального порогов чувствительности анализаторов, имеющихся у человека. Независимо от вида анализатора, с помощью которого воспринимается сигнал, человек в состоянии различить только 7 ± 2 градации любой характеристики сигнала (длины, цвета, силы звука и т. д.) [1]. Цифра семь представляет собой среднюю статистическую величину, в зависимости от особых природных данных и предшествующего опыта эта величина, а также границы выделяемых градаций могут несколько изменяться.

Визуальная оценка ситуации наблюдателем (атмосферных явлений и облачности) определяется тремя факторами: существую-

щими инструкциями, предшествующим опытом и личными особенностями наблюдателя. В тех случаях, когда описания атмосферных явлений в Наставлении [3] недостаточно информативны, наблюдатель вынужден вырабатывать свои критерии, которые зависят от предшествующего опыта наблюдателя и его физиологических особенностей [5]. Производимый на станциях внутростанционный контроль сводит к минимуму различия в оценках атмосферных явлений на одной станции, но он же, закрепляясь в традициях, увеличивает различия в оценках явлений на разных станциях.

В Наставлении [3] не определено понятие интенсивности для большинства атмосферных явлений, поэтому эту величину наблюдатели определяют, руководствуясь собственными критериями. Как было указано выше, существующая практика производства метеорологических наблюдений и контроля за ними должна приводить к тому, что в разных климатических зонах представления об интенсивности атмосферных явлений должны быть различными.

Нами была поставлена цель проверить это предположение и оценить, насколько велики могут быть эти различия. В качестве примера были рассмотрены явления, связанные с выпадением снега. Для того чтобы можно было сравнивать субъективные оценки интенсивности какого-либо явления, регистрируемые наблюдателями, работающими на разных станциях, необходимо, чтобы существовал объективный критерий интенсивности. В случае снегопадов таким критерием может служить интенсивность снегопада, рассчитанная по осадкомерным измерениям. Согласно Наставлению [3], на метеостанциях четыре раза в сутки производится измерение количества осадков, попавших в осадкомерное ведро. Выбрав по таблицам ТМ-1 случаи таких снегопадов, когда между двумя последовательными измерениями осадков визуальная оценка интенсивности снегопада остается неизменной, получаем продолжительность осадков и количества снега, что дает возможность оценить инструментальное значение интенсивности снегопада (в мм/час). Для того чтобы исключить ветровую погрешность в определении количества выпавших осадков, нами выбирались только те случаи, когда скорость ветра в течение всего снегопада не превышала 3 м/с. Сопоставление величины интенсивности снегопада, рассчитанной по инструментальным данным, с оценкой интенсивности, определяемой наблюдателем на основе зрительного восприятия, позволяет ответить на вопрос, как влияют климатические условия на визуальную оценку ситуации.

В работе проанализированы сведения, полученные в разных климатических зонах об атмосферных явлениях, связанных с выпадением снега. В зависимости от интенсивности выпадения снега наблюдатель различает сильный, умеренный и слабый снегопады, в случае сильного ветра, кроме того, еще отмечается метель с выпадением снега. Метель с выпадением снега также подразделяется по интенсивности на три градации, но что служит мерой интенсивности такой метели: интенсивность снегопада или скорость

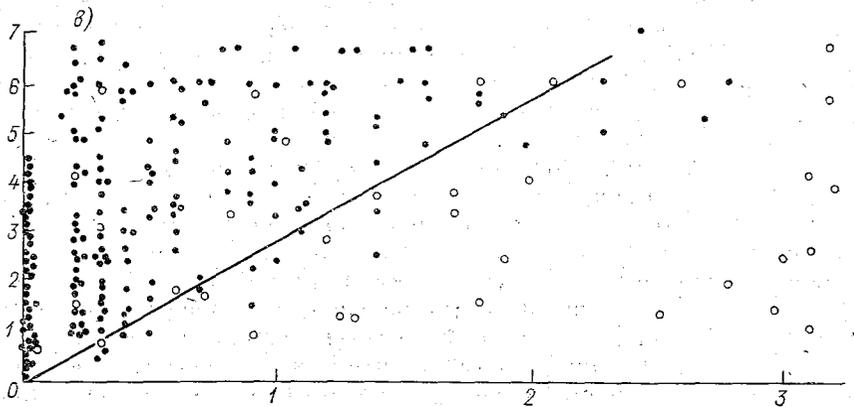
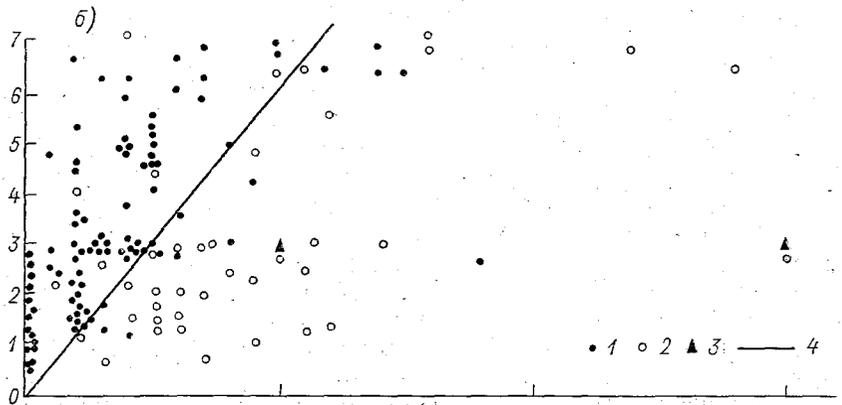
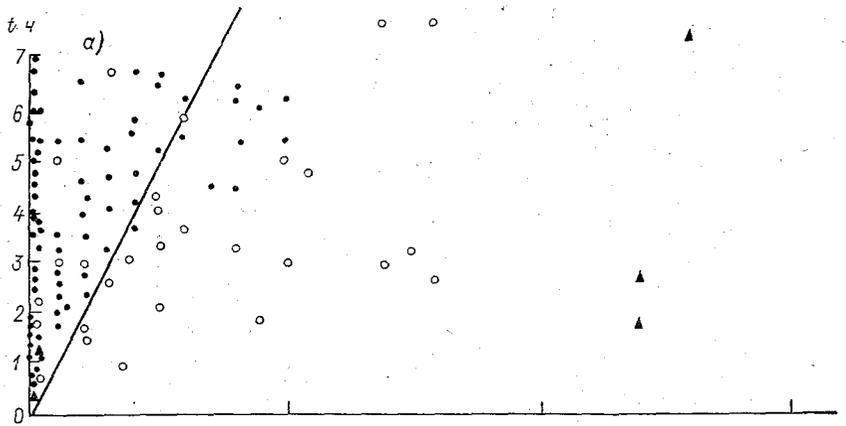


Рис. 1. Сравнение визуальной и рассчитанной по инструментальным наблюдениям оценок интенсивности снегопадов.

Метеостанции: а — Татарская, Петропавловск (Казахское УГКС), б — Верхоянск, Джанглы (Якутское УГКС), в — Березино, Костюковичи (Белорусская УГКС).
Снегопады: 1 — слабый, 2 — умеренный, 3 — сильный, 4 — граница между слабыми и умеренными снегопадами.

ветра — решает сам наблюдатель. Рисунок 1 представляет собой сравнение визуальных оценок интенсивности снегопада с инструментальными измерениями. К сожалению, случаи, когда между двумя измерениями интенсивность снегопада, определенная визуально, не изменялась, встречаются редко. Поэтому, чтобы набрать достаточное количество случаев со слабыми и умеренными снегопадами, пришлось просмотреть по каждой из станций материалы наблюдений за 5 лет. Случаев сильных снегопадов, удовлетворяющих названным выше условиям, встретилось при этом очень мало.

На рис. 1 по оси абсцисс отложено измеренное количество выпавших осадков (в мм), а по оси ординат — продолжительность снегопада (в часах). Снегопады разной интенсивности (по визуальной оценке) отмечены разными значками. Наклон радиуса-вектора, соединяющего любую из точек с началом координат, характеризует интенсивность соответствующего снегопада (в мм/ч). Полученное поле точек можно разделить на две области: слабые и умеренные снегопады. На рис. 1 проведены линии, разграничивающие эти две области.

Анализ собранных материалов наблюдений позволяет сделать следующие выводы:

1) На каждой станции существует довольно четкая граница между сильными и слабыми снегопадами, хотя иногда и встречаются случаи, когда визуальная оценка не соответствует величине, рассчитанной по инструментальным данным.

2) Граница между слабыми и умеренными снегопадами зависит от климатических условий на метеорологической станции. Там, где встречаются снегопады, имеющие по осадкомерным измерениям значительную интенсивность (Белорусская ССР), эта граница смещается в сторону более сильных снегопадов. В Казахской ССР и Якутской АССР, где выпадает мало снега [2, 4], эта граница проходит в области меньших интенсивностей. Отношение величин граничных интенсивностей, разделяющих поле точек на две области (слабых и умеренных снегопадов), в Белорусской ССР и Якутской АССР приблизительно равно 4.

3) В Белорусской ССР символ сильного снегопада (*²) почти не встречается. В Казахстане понятие о сильном снегопаде ассоциируется у наблюдателя с сильным ветром, поэтому случаи сильных снегопадов, которые были зафиксированы в табл. ТМ-1, не попали на рис. 1. Отметим, что при сильных снегопадах в этих случаях количество снега, попавшего в осадкомер, относительно невелико. В Белорусской ССР, наоборот, часты случаи, когда за короткий отрезок времени выпадает большое количество снега, но поскольку для наблюдателей это привычное явление, отметка *² здесь встречается редко.

Приведенные данные свидетельствуют о том, что у наблюдателей представление об интенсивности снегопада определяется не только его объективной оценкой, которая может быть опреде-

лена по осадкомерным измерениям, но и его относительной повторяемостью.

Как отмечалось выше, в Казахской ССР символ *² ставится только при сильном ветре, когда одновременно ставится и символ *† (метель с выпадением снега). В [3] нет указания, когда снегопад, сопровождаемый ветром, классифицируется как снегопад, а метель с выпадением снега определяется по усмотрению наблюдателя. В этом случае также следует ожидать, что преимущественное употребление того или другого символа определяется климатическими условиями на станции, в частности, повторяемостью сильных ветров. В связи с этим отдельно были рассмотрены снегопады, сопровождаемые ветром, скорость которого превышает 5 м/с. Были отобраны только те случаи, когда наблюдались установившийся снежный покров и постоянная отрицательная температура. Сравнивались станции, на которых, согласно [4], совпадают месячные нормы количества выпавшего снега. При этом можно считать, что условия для возникновения метели примерно одинаковы.

Таблица 1

Повторяемость (%) метелей с выпадением снега от общего числа снегопадов при различных скоростях ветра

Станция	Скорость ветра, м/с					Повторяемость ветра со скоростью 9 м/с
	5	6	7	8	9	
Белорусское УГКС						
Березино	60	90	94	100	100	3,9
Костюковичи	13	16	70	95	100	4,1
Барановичи	1	9	65	95	100	6,9
Витебск	0	0	100	100	100	11,6
Верхневолжское УГКС						
Даровская	16	81	100	100	100	1,2
Воткинск	62	80	90	90	100	2,2
Омутнинск	9	99	99	100	100	3,8
Новый Тарьял	1	6	26	60	61	14,7

Из табл. ТМ-1 отдельно выписывались случаи снегопадов при скоростях ветра 5, 6, 7, 8, 9 м/с и отмечались случаи, когда одновременно с символом * ставился символ *†. В табл. 1 представлена относительная повторяемость случаев, когда была отмечена метель с выпадением снега. В последней графе табл. 1 указана относительная повторяемость скорости ветра, превышающей 9 м/с, для каждой рассматриваемой станции. Анализ данных табл. 1 показывает, что, действительно, при прочих равных условиях, чем чаще на метеостанции наблюдаются сильные ветры, тем меньше вероятность, что наблюдатель при выпадении снега отметит ме-

тель ($\times\ddagger$). На метеостанции Новый Тарьял в отличие от других рассмотренных станций, при выпадении снега, сопровождаемого ветром, отмечается поземок. На метеостанции Витебск наблюдатели, очевидно, вообще не смотрят происходит дефляция снега или нет, здесь существует четкая граница (7 м/с), начиная с ко-

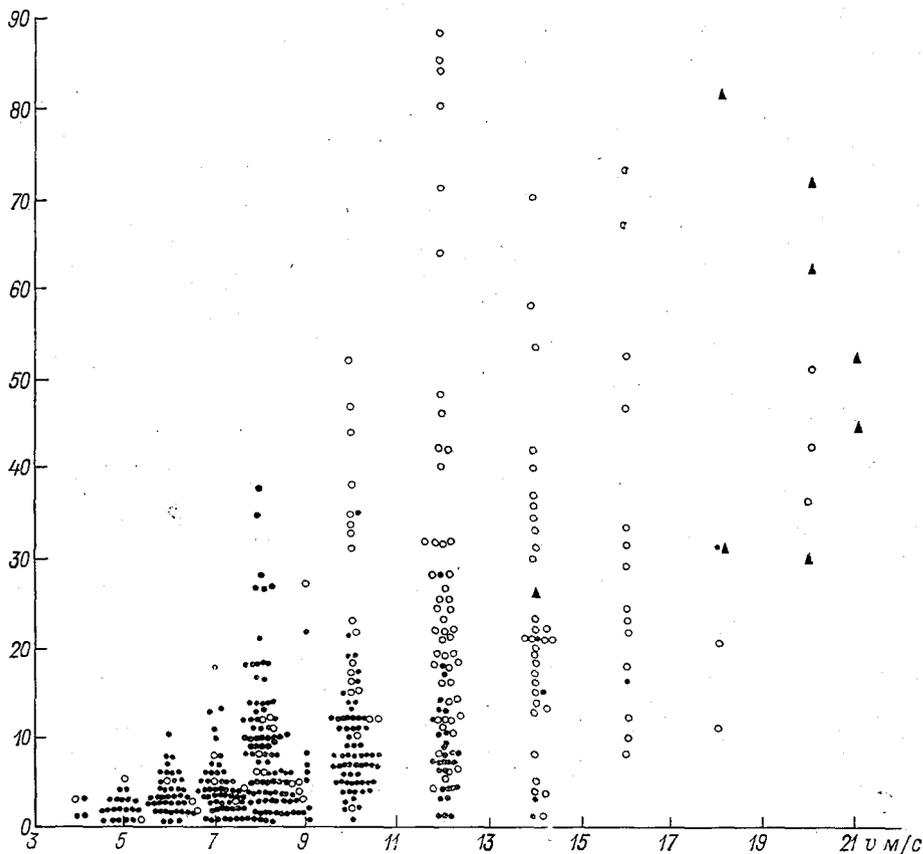


Рис. 2. Зависимость визуальной оценки интенсивности метели с выпадением снега от скорости ветра и от величины горизонтального снегопереноса, измеренного прибором ВО-2.

Усл. обозначения см. рис. 1.

торой во всех случаях выпадения снега ставится символ $\times\ddagger$. Таким образом, на примере метели с выпадением снега также прослеживается зависимость визуальной оценки ситуации от привычных условий на станции.

В работе [6] приводится алгоритм распознавания видов метелей на основе данных об измеряемых параметрах: относительной влажности, температуре воздуха, скорости ветра. Проверка,

проведенная автором [6], показала, что оправдываемость выбранного алгоритма невелика. Представляется, что полученный результат, вызван тем, что выбор критериев для распознавания и их проверка производились в разных климатических зонах, где наблюдатели по-разному классифицируют наблюдаемые ситуации.

При визуальной оценке интенсивности метели с выпадением снега наблюдатель сталкивается с еще более сложной ситуацией: различной может быть как интенсивность снегопада так и скорость ветра. Что служит критерием интенсивности метели в [3] не указано. При климатологических обобщениях, а также для расчета снегозапасов, используют величину горизонтального снегопереноса при метели. Очевидно, эта величина и должна характеризовать интенсивность метели. Однако визуально эта величина трудно определима. Насколько точно наблюдатель определяет интенсивность метели можно оценить, сравнивая визуальную оценку с инструментальной.

На ст. Центральная (Мурманского УГКС) много лет проводятся измерения горизонтального переноса снега при метелях. Эти наблюдения дают возможность сопоставить инструментальные наблюдения с визуальными. На рис. 2 представлены результаты такого сопоставления. По оси абсцисс отложена скорость ветра, по оси ординат.—интенсивность горизонтального переноса снега (I г/(мин·см²)), измеренная прибором ВО-2. Метели разной интенсивности (по визуальной оценке) обозначены разными значками. Поле точек на рис. 2 демонстрирует тот факт, что визуальная оценка интенсивности метели не дает информации о количестве переносимого снега, в основном интенсивность метели наблюдателем оценивается по скорости ветра. На основании вышеизложенного можно сказать (как и в предыдущих примерах), что предельные скорости ветра, разделяющие метели различной интенсивности, зависят от их средней повторяемости и, следовательно, определяются общими климатическими условиями на метеостанции.

Таким образом, сведения об атмосферных явлениях, получаемые на метеостанциях, расположенных в различных климатических зонах, несут различную информацию, что следует учитывать при использовании данных об атмосферных явлениях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Миллер Дж. Магическое число семь плюс или минус два. О некоторых пределах нашей способности перерабатывать информацию.— В кн.: Инженерная психология. М., Прогресс, 1964.— 205 с.
2. Михайлова В. Н., Швер Ц. А. Суточные максимумы твердых и жидких осадков.— Труды ГГО, 1980, вып. 440, с. 45—52.
3. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам.— Л.: Гидрометеоздат, вып. 3, ч. 1, 1969.— 307 с.
4. Справочник по климату СССР. Ч. 3, 4, вып. 7, 24, 29, 1967—1968 гг.
5. Стивенс С. С. Экспериментальная психология.— М.: Изд-во иностр. лит., 1960.— 408 с.
6. Федорова Е. А. Определение наличия атмосферных явлений по данным автоматических станций.— Труды ГГО, вып. 396, 1977, с. 70—76.

АЛГОРИТМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОНТРОЛЯ СОСТАВЛЯЮЩИХ РАДИАЦИОННОГО БАЛАНСА

Важными показателями эффективности использования научно-исследовательского флота (НИФ) Госкомгидромета и других ведомств являются объем и качество гидрометеорологической информации, получаемой судами. Проблема увеличения объема собираемых данных решается путем создания и внедрения на суда автоматизированных измерительных комплексов [1, 3]. Что же касается качества судовой гидрометеорологической информации, то применительно к автоматизированным способам ее получения наблюдается существенное отставание. В настоящее время имеется единственное методическое пособие, в котором представлены алгоритмы первичного (внутристанционного) контроля судовых гидрометеорологических данных [2]. В отношении контроля данных наблюдений составляющих радиационного баланса поверхности океана первые разработки появились лишь в последнее время. В частности, в [10] представлены алгоритмы контроля часовых сумм суммарной радиации конкретного дня по данным актинометрического измерительного комплекса. Однако суммарная радиация является лишь одной из составляющих радиационного баланса. Цель настоящей статьи — представить на обсуждение алгоритмы автоматизированного контроля прямой, отраженной радиации и радиационного баланса, а также варианты реализации этих алгоритмов на ЕС ЭВМ. Предлагаемые к обсуждению алгоритмы вместе с алгоритмом [10] следует рассматривать как единую систему физического (критического) контроля составляющих радиационного баланса поверхности океана, получаемых с помощью полуавтоматизированных и автоматизированных измерительных комплексов за короткие (1—2 ч) промежутки времени.

Исходной информацией для контроля составляющих радиационного баланса по нижеследующим алгоритмам являются ежечасные данные об облачности (общее количество облаков и количество облаков нижнего яруса), ежечасные данные о температуре воды и воздуха и непосредственные результаты измерений (регистрации) составляющих радиационного баланса.

Как и в случае контроля суммарной радиации [10], алгоритмы контроля прочих составляющих радиационного баланса предполагают классификацию данных измерений по условиям облачности на четыре группы: безоблачная и малооблачная погода — балл общей N и нижней облачности n ($N \leq 2$; $n \leq 2$); условия сплошной облачности верхнего и среднего ярусов ($N=10$, $\boxed{10}$); $n \leq 2$); условия сплошной облачности нижнего яруса ($N=10$, $\boxed{10}$);

$n=10, \boxed{10}$) и условия переменной облачности ($N < 10; 2 < n \leq 9$). Для каждой облачной группы предлагается свой алгоритм.

Алгоритм контроля прямой радиации S

Безоблачные условия. В этих условиях прямая радиация S , приходящая к поверхности океана (суши), в основном зависит от высоты Солнца h_{\odot} в момент измерения t и прозрачности атмосферы $P(t)$, т. е.

$$S(t) = f[h_{\odot}(t), P(t)]. \quad (1)$$

Выражение (1) для безоблачных условий с точностью до 10 % хорошо описывается формулой из [7]:

$$S_{\text{расч}}(t) = I_0 e^{-\tau_0 \sin h_{\odot}}, \quad (2)$$

где I_0 — солнечная постоянная, τ_0 — оптическая плотность вертикального столба атмосферы.

Естественно предположить, что при малооблачной погоде измеренная прямая радиация S не должна превышать рассчитанную по формуле (2). Это условие выполняется тогда, когда оптическая плотность атмосферы τ_0 в момент измерения не ниже, чем принятая для оценки потока $S_{\text{расч}}$ в выражении (2). Обычно для безоблачной атмосферы над океаном величины τ_0 меняются в пределах 0,2—0,6 и более [4, 5].

Таким образом, контроль результатов измерений S сводится к проверке выполнения следующего условия:

$$S^*(t) \leq 1,0, \quad (3)$$

где $S^*(t) = S_{\text{изм}}(t) [S_{\text{расч}}(t)]^{-1}$, а $S_{\text{расч}}(t)$ рассчитывается по (2) при $\tau_0 = 0,2$.

В работе [4] исследовалась изменчивость величин S^* для умеренных и тропических широт северных районов Атлантики. Оказалось, что для этих районов значение S^* изменяется в диапазоне 0,7—1. Однако были отмечены случаи, когда вследствие мощных выносов пыли с Африканского континента, значение S^* уменьшалось до 0,2—0,3 [5, 9]. Таким образом, условие (3) целесообразно модифицировать:

$$0,2 \leq S^*(t) \leq 1,0. \quad (4)$$

Переменная облачность. При измерениях S в условиях переменной облачности наблюдается большая изменчивость $S_{\text{изм}}(t)$ за короткие промежутки времени (5—10 мин). Как следует из [8], основной вклад в процесс изменчивости S в указанных условиях вносит облачность нижнего яруса. В связи с этим в основу алгоритма контроля прямой радиации могут быть положены результаты исследований статистической структуры S при кучевых обла-

ках [8]. Из указанной работы для $S_{\text{изм}}(n, t)$ получаем следующее выражение:

$$S_{\text{изм}}(n, t) = S_{\text{расч}}(t)(1,04 - 0,10n \pm \sigma_S), \quad (5)$$

где n — балл облачности нижнего яруса, $\sigma_S = 0,08$.

С учетом сказанного выше, максимальное значение $S_{\text{изм}}(t)$ при конкретном n будет равно:

$$S_{\text{макс}}(n, t) = S_{\text{расч}}(t)(1,12 - 0,10n). \quad (6)$$

При наличии на небосводе одновременно облачности нижнего и других ярусов значения S , очевидно, не должны превышать значений, оцениваемых по выражению (6) при соответствующих значениях n и h_{\odot} . При наличии на небосводе, кроме облаков нижнего яруса, облачности других ярусов должно наблюдаться уменьшение значений S за счет возможного экранирования диска Солнца облаками верхнего и среднего ярусов в просветах между облаками нижнего яруса. С учетом сказанного, для контроля прямой радиации в условиях переменной облачности необходимо проверять выполнение соотношения

$$0 < S_{\text{изм}}(N, n, t)[S_{\text{макс}}(n, t)]^{-1} \leq 1,0, \quad (7)$$

где $S_{\text{макс}}(n, t)$ оценивается по соотношению (6).

Сплошная облачность среднего и верхнего ярусов. В табл. 1 представлены некоторые параметры плотности распределения величины S^* при перистой и высококучево-облачности для тропических районов Атлантики. Эти функции получены по непрерывным регистрациям прямой радиации на борту НИСП «Эрнст Кренкель» в период экспедиции АТЭП-74 [4].

Таблица 1

Параметры плотностей распределения величин S^*

Облачность (балл, форма)	Пределы изменчивости				
	$S^*_{\text{мин}}$	$S^*_{\text{макс}}$	Мода	Вероятность моды	Медиана
10, $\overline{10}$ С1, Сs	0,35—0,55	0,85—0,90	0,70—0,75	0,19—0,21	0,60—0,67
10, $\overline{10}$ Ас, As	0—0,05	0,90—1,00	0—0,10	0,14—0,33	0,10—0,15

С учетом данных, приведенных в табл. 1, контроль величин S при сплошной облачности верхнего и среднего ярусов должен сводиться к проверке выполнения соответствия вида:

$$S^*_{\text{мин}} \leq S_{\text{изм}}(t)[S_{\text{расч}}(t)]^{-1} \leq S^*_{\text{макс}}, \quad (8)$$

при $S^*_{\text{мин}} = 0,35$ и $S^*_{\text{макс}} = 0,90$ для условий сплошной облачности верхнего яруса и при $S^*_{\text{мин}} = 0$ и $S^*_{\text{макс}} = 1,0$ для условий сплошной облачности среднего яруса.

Сплошная облачность нижнего яруса. При сплошной облачности нижнего яруса прямая радиация близка к нулю. Однако в случае наличия просветов между облаками, прямая радиация будет существенно отличаться от нуля. Выражение (5), заимствованное из [9], характерно для условий кучевой облачности при $2 < n \leq 9$. Очевидно, в условиях сплошной облачности нижнего яруса (при $n=10$, $\boxed{10}$) прямая радиация будет незначительно отличаться от величины S , оцениваемой по соотношению (6) при $n=9$. Тогда при сплошной облачности нижнего яруса измеренные величины прямой радиации должны быть не меньше нуля, но и не больше величины, оцениваемой по соотношению (6), при $n=9$.

Алгоритм контроля отраженной радиации R от поверхности океана

Отраженная от поверхности океана радиация R имеет следующие особенности:

— среди составляющих радиационного баланса этот поток очень мал;

— эта величина зависит от многих физических и субъективных факторов. К физическим факторам относятся высота Солнца h_{\odot} , количество (балл) и форма облаков, состояние моря (степень волнения и покрытость пеной) и т. д., к субъективным факторам относятся всякого рода «паразитные засветки» приемника радиации, появление которых обусловлено влиянием буруна и самого судна на измеряемые значения R .

Все это усложняет контроль, так как в разных ситуациях многие из перечисленных факторов по-разному влияют на результаты измерений значений R с борта судна.

В связи с этим для контроля отраженной радиации нами были обобщены данные измерений отраженной радиации на 30 судах, участвовавших в АТЭП-74. Оказалось, что в широком диапазоне погодных условий и для судов различной конструкции значения альбеда $A = RQ^{-1}$ (здесь Q — суммарная радиация) изменялись в пределах $4 \div 25\%$ при высотах Солнца от 10 до 80° (табл. 2).

Таблица 2

Пределы изменчивости величин альбеда A для разных высот Солнца

A	Высота Солнца h_{\odot}										
	10	15	20	25	30	35	40	50	60	70	80
$A_{\text{мин}}$	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3
$A_{\text{макс}}$	25	25	20	15	10	10	10	8	8	5	5

Таким образом, алгоритм контроля данных измерений отраженной радиации сводится к следующему:

— по данным измерений R и Q рассчитывается величина A при данной h_{\odot} ;

— проверяется выполнение соотношения вида:

$$A_{\min}(N, n, h_{\odot}) \leq A_{\text{изм}}(N, n, h_{\odot}) \leq A_{\max}(N, n, h_{\odot}) \quad (9)$$

при $A_{\min} = 0,04$ и $A_{\max} = 0,25$, взятых из табл. 2.

Алгоритм контроля радиационного баланса B поверхности океана

Запишем уравнение радиационного баланса для дневного и ночного времени суток в виде:

$$B_{\text{д}} = B_{\text{к}} + B_{\text{дл}}, \quad (10)$$

$$B_{\text{н}} = B_{\text{дл}}. \quad (11)$$

В уравнениях (10) и (11) $B_{\text{к}} = Q - R$ (коротковолновый баланс), $B_{\text{дл}} = E_{\downarrow} - E_{\uparrow}$ (длинноволновый баланс) (E_{\downarrow} и E_{\uparrow} — противоизлучение атмосферы и длинноволновое излучение поверхности океана соответственно).

Следовательно, для контроля величин радиационного баланса необходимо оценить изменчивость его составляющих ($B_{\text{к}}$ и $B_{\text{дл}}$) в безоблачных и облачных условиях.

Известно, что в условиях океана значения $Q \gg R$. Это означает, что при оценке величин $B_{\text{к}}$ изменчивостью отраженной радиации из-за разных метеоусловий можно пренебречь, и тогда для оценки изменчивости коротковолнового баланса можно воспользоваться соотношениями, приведенными в [10] для контроля данных измерений суммарной радиации.

Выше отмечалось, что $B_{\text{дл}} = E_{\downarrow} - E_{\uparrow}$. В первом приближении величины E_{\downarrow} и E_{\uparrow} можно оценить по закону Стефана-Больцмана, т. е. $E_{\downarrow} \approx \sigma T_{\text{в}}^4$ и $E_{\uparrow} \approx \sigma T_{\text{п}}^4$. Здесь $T_{\text{в}}$ и $T_{\text{п}}$ — температура воздуха и поверхности океана соответственно в кельвинах. По данным работы [6] в условиях океана противоизлучение атмосферы и излучение океана мало зависят от облачности в силу высокого влагосодержания «морской» атмосферы и составляют 85—90 % от $\sigma T_{\text{пв}}^4$ [6].

Приведенные соотношения используют в качестве критериев контроля длинноволновой составляющей радиационного баланса.

На основании сказанного предлагается следующий алгоритм контроля данных измерений радиационного баланса B .

Для дневных условий проверяется выполнение следующих соотношений:

при малооблачной погоде

$$0,3Q_{\text{расч}}(t) + \Delta B_{\text{мин}}^{\text{д}} \leq B_{\text{изм}}(t) \leq Q_{\text{расч}}(t) + \Delta B_{\text{макс}}^{\text{д}}; \quad (12)$$

при переменной облачности

$$Q_{\text{расч}}(t)(0,9 - 0,06n) + \Delta B_{\text{мин}}^{\text{д}} \leq B_{\text{изм}}(t) \leq \\ \leq Q_{\text{расч}}(t)(1,10 - 0,06n) + \Delta B_{\text{макс}}^{\text{д}}; \quad (13)$$

при сплошной облачности верхнего и среднего ярусов

$$0,1Q_{\text{расч}}(t) + \Delta B_{\text{мин}}^{\text{д}} \leq B_{\text{изм}}(t) \leq 0,7Q_{\text{расч}}(t) + \Delta B_{\text{макс}}^{\text{д}}; \quad (14)$$

при сплошной облачности нижнего яруса:

$$\Delta B_{\text{мин}}^{\text{д}} \leq B_{\text{изм}}(t) \leq 0,5Q_{\text{расч}}(t) + \Delta B_{\text{макс}}^{\text{д}}. \quad (15)$$

В ночные часы для всех условий, кроме сплошной облачности нижнего яруса, проверяется выполнение соотношения:

$$\Delta B_{\text{мин}}^{\text{н}} \leq B_{\text{изм}}(t) \leq \Delta B_{\text{макс}}^{\text{н}}; \quad (16)$$

при сплошной облачности нижнего яруса

$$-0,1 \leq B_{\text{изм}}(t) \leq \Delta B_{\text{макс}}^{\text{н}}. \quad (17)$$

В выражениях (12—17)

$$\Delta B_{\text{мин}}^{\text{д}} = 0,8\sigma T_{\text{в}}^4 - \sigma T_{\text{в}}^4; \quad (18)$$

$$\Delta B_{\text{макс}}^{\text{д}} = 0,9\sigma T_{\text{в}}^4 - 0,8\sigma T_{\text{п}}^4; \quad (19)$$

$$\Delta B_{\text{макс}}^{\text{н}} = \sigma T_{\text{п}}^4 - 0,8\sigma T_{\text{в}}^4; \quad (20)$$

$$\Delta B_{\text{мин}}^{\text{н}} = \sigma T_{\text{п}}^4 - \sigma T_{\text{в}}^4; \quad (21)$$

$$Q_{\text{расч}}(t) = I_0 \sin h_{\odot} (1 + 0,1 \operatorname{cosec} h_{\odot})^{-1}. \quad (22)$$

Программное обеспечение реализации алгоритмов контроля составляющих радиационного баланса на ЭВМ

Приведенные выше алгоритмы контроля составляющих радиационного баланса поверхности океана реализованы в виде системы программ на алгоритмическом языке Фортран применительно к ЕС ЭВМ (рис. 1). Машинная реализация алгоритмов контроля обеспечивает возможность производить оперативную оценку качества получаемой информации как в береговых центрах обработки, так и непосредственно на судах, производящих сбор и обработку актинометрической информации.

Система программ реализована в виде отдельных блоков (подпрограмм), порядок работы которых определяется строением общего алгоритма контроля, составом поступающих данных и

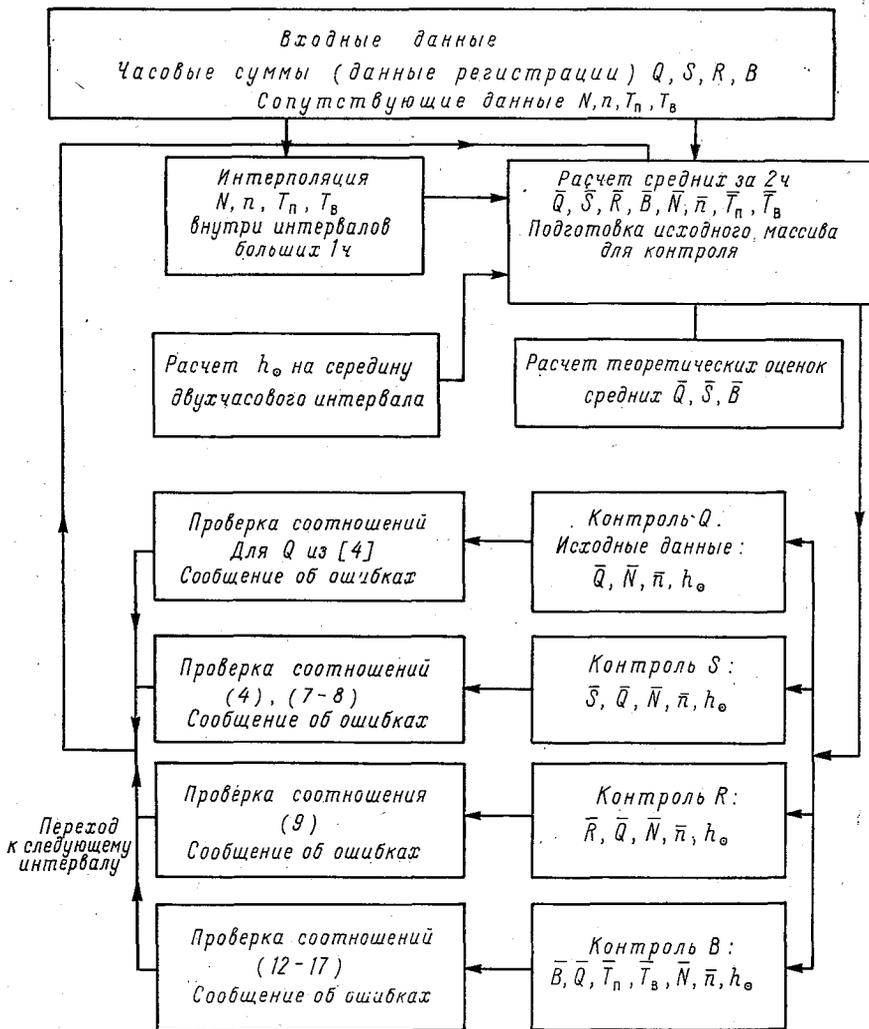


Рис. 1. Схема реализации на ЭВМ системы критического контроля составляющих радиационного баланса поверхности океана.

структурой их представления на внешних носителях. Наряду с подпрограммами контроля отдельных составляющих в состав системы входят сервисные подпрограммы, основной функцией которых является расчет вспомогательных параметров контроля: истинного времени, высоты Солнца и оценок значений составляющих радиационного баланса. В головной программе системы реализована возможность приема поступающей информации с внешних носителей различного типа (перфокарты, магнитные диски, магнитные ленты). Такое строение программы позволяет варьировать тип носителя при неизменной структуре подпрограмм контроля отдельных составляющих радиационного баланса.

Подпрограммы контроля прямой, отраженной радиации и радиационного баланса реализуют алгоритмы, приведенные в настоящей статье. Вместе с подпрограммой контроля суммарной радиации, основанной на алгоритме [10], они составляют блок подпрограмм критического контроля, в который поступают осредненные за двухчасовой интервал времени величины составляющих радиационного баланса, данные об облачности (балл N и балл n), значения температуры воды и воздуха, а также расчетные значения высоты Солнца.

Осреднение входных данных, в состав которых входят часовые суммы прямой, суммарной, отраженной радиации и радиационного баланса, ежечасные данные об облачности, температуре воды и воздуха, гринвичское время сроков измерений и ежечасные данные о координатах судна, производится в головной программе системы.

Для случая, когда параметры облачности, температура воды и воздуха определяются через промежутки времени больше одного часа, в системе перед осреднением исходных данных предусмотрена работа подпрограммы интерполяции значений этих элементов внутри интервалов между наблюдениями.

Расчет высоты Солнца и истинного солнечного времени на середину интервала осреднения производится по координатам судна и гринвичскому времени наблюдения [7].

Осредненные значения составляющих радиационного баланса определяются по их часовым суммам с помощью формулы:

$$\bar{T} = \frac{T_i + T_{i+1}}{7,2 \cdot 10^3}, \quad (23)$$

где T_i, T_{i+1} ($i=1, \dots, m$) — часовые суммы за два смежных часа, \bar{T} — среднее значение, m — число интервалов осреднения.

При наличии данных непрерывной регистрации с дискретностью менее одного часа средние вычисляются интегрированием:

$$\bar{T} = \frac{1}{7,2 \cdot 10^3} \int_{t_i}^{t_i''} M(t) dt, \quad (24)$$

где $t'_i = t_i - 3,6 \cdot 10^3$; $t''_i = t_i + 3,6 \cdot 10^3$; $i = 1, \dots, m$; t_i — середина двухчасового интервала осреднения; $M(t)$ — значение составляющей радиационного баланса в момент времени t внутри интервала (t'_i, t''_i) .

Осреднение сопутствующей информации осуществляется с помощью соотношений, аналогичных (23).

Расчет оценок S, B, Q на середину интервала осреднения, используемых в качестве критериев контроля, производится по формулам (2), (6), (18—22).

Осредненные данные по каждой составляющей радиационного баланса в комплексе с сопутствующими и расчетными данными, привлекаемыми для контроля, поступают на вход соответствующей подпрограммы контроля. В связи с многообразием проверяемых критериев контроля по каждой составляющей для различных облачных условий, авторы сочли целесообразным проводить классификацию входной информации по условиям облачности внутри подпрограммы контроля каждой составляющей радиационного баланса. В пределах каждой классификационной группы производится сравнение поступивших данных с расчетными оценками и численными критериями контроля. В случае обнаружения данных, не удовлетворяющих тому или иному критерию, подпрограммой генерируется сообщение, содержащее критерий контроля, при проверке которого была выявлена ошибка значения составляющих радиационного баланса (смежные часовые суммы), содержащие эту ошибку, гринвичское и истинное солнечное время середины данного двухчасового интервала, а также осредненные сопутствующие данные.

Заключение

Предложенные алгоритмы контроля и их математическое обеспечение являются первой попыткой системного подхода к разработке методов контроля актинометрической информации в условиях автоматизации процесса сбора и обработки гидрометеорологической информации, когда измерительные преобразователи замыкаются на ЭВМ или ее внешние накопители.

Апробация методики контроля, приведенной в статье, была осуществлена при критическом контроле составляющих радиационного баланса, полученных на 39 советских и зарубежных судах в период АТЭП. Общий объем проконтролированных данных составил по величинам Q, R, B 2500 часовых сумм, по S — около 1000 часовых сумм. Из указанного объема данных по Q выявлено 10 % сомнительных значений, по S — до 5 %, по R и B до 20 %. Результаты контроля были проанализированы совместно со специалистами по радиационным измерениям, подтвердившими их достоверность. Данное обстоятельство дает основание полагать, что предложенная схема контроля позволяет надежно оценивать качество измерений составляющих радиационного баланса поверхно-

сти океана при различных облачных условиях и высотах Солнца.

В дальнейшем возможны некоторые уточнения представленных алгоритмов, но, как представляется авторам, такие уточнения будут в основном сводиться к совершенствованию методик расчета численных критериев, не затрагивая самой идеологии схемы контроля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Борисенков Е. П., Федоров О. М. Автоматизированная система измерения, сбора и обработки гидрометеорологической информации на научно-исследовательских судах гидрометслужбы (СИГМА-С).— Труды ААНИИ, 1972, т. 301, с. 5—18.

2. Временные методические указания по машинному контролю Гидрометеорологической информации.— Обнинск, 1972, вып. 9.— 25 с.

3. Колкова Л. М., Савенков В. В. Анализ работы морской автоматической станции в период ее опытной эксплуатации.— Труды ГГО, 1977, вып. 388, с. 41—46.

4. Коэффициент прозрачности облачной атмосферы/И. А. Дюбкин, Р. Г. Тимановская, Д. Ф. Тимановский, А. В. Морачевский.— Труды ГГО, 1977, вып. 388, с. 106—114.

5. О связях оптических и аэрозольных характеристик атмосферы восточной части экваториальной Атлантики/А. Г. Лактионов, К. Я. Кондратьев, В. Н. Аднашкин и др.— В кн.: ТРОПЭКС-74. Т. 1. Атмосфера.— Л.: Гидрометеоиздат, 1976, с. 630—637.

6. Потоки теплового излучения в центре экваториальной Атлантики по расчетам и измерениям на НИС «Академик Курчатов»/А. С. Гинзбург, А. Т. Ершов, Б. А. Семенченко, Е. М. Фейгельсон.— В кн.: ТРОПЭКС-74. Т. 1. Атмосфера.— Л.: Гидрометеоиздат, 1976, с. 577—585.

7. Сивков С. И. Методы расчета характеристик солнечной радиации.— Л.: Гидрометеоиздат, 1968.— 199 с.

8. Тимановская Р. Г. Статистическая структура потоков прямой и суммарной радиации у поверхности Земли при кучевых облаках.— Труды ГГО, 1973, вып. 297, с. 142—155.

9. Тимановская Р. Г., Любельский В. А., Морачевский А. В. Качественная оценка наличия аэрозоля в атмосфере Тропической Атлантики по данным измерений прямой солнечной радиации.— Труды ГГО, вып. 434, 1980, с. 137—141.

10. Тимановская Р. Г. Алгоритм контроля достоверности часовых сумм суммарной радиации, получаемых с помощью полуавтоматических и автоматических измерительных комплексов.— Труды ГГО, 1980, вып. 445, с. 102—110.

СОДЕРЖАНИЕ

Д. П. Беспалов, С. М. Персин, Н. Г. Протопопов, Н. П. Русин. Основные вопросы разработки сетевой автоматической гидрометеорологической станции	3
Л. В. Анискин, А. Д. Бахменд, В. Е. Боханов, В. Е. Карлуша, С. А. Капустин, Р. А. Круглов, Ю. М. Лобозинов, Э. Л. Персина, М. С. Стернзат, Т. И. Ушакова. Аэродромная стационарная метеорологическая станция	12
С. М. Персин, Н. Г. Поликахина, Е. В. Романов, Л. А. Щепановская. Комплекс аппаратуры для измерения турбулентных переносов	28
С. М. Персии, Н. Г. Поликахина, Л. А. Щепановская. Сравнение результатов пульсационных и градиентных измерений	34
Д. П. Беспалов, Е. А. Федорова, Н. А. Херсонская. Об уточнении методики наблюдений над характеристиками снежного покрова	42
Д. П. Беспалов, Т. П. Светлова. Некоторые аспекты проблемы восстановления метеорологической информации	47
Л. А. Грошева, Е. А. Федорова. О вычислении средних месячных значений метеорологических элементов при пропусках наблюдений	53
А. В. Завьялова, В. С. Копычева, Т. П. Светлова. Исследование возможности контроля и восстановления ежедневных значений температуры воздуха по срокам методом временной интерполяции	58
Т. М. Мирошниченко. Анализ результатов контроля направления ветра	63
В. В. Изюмский, Г. А. Дмитриева. Статистический анализ потоков метеорологических сообщений для метеобеспечения аэропорта Пулково	70
Ю. В. Виноградов, Ю. Ф. Моисеев, Л. В. Патрикеев, А. И. Плеснев. Организация автоматизированного обмена метеорологической информацией центров УВД с бортами воздушных судов	76
Л. В. Анискин, С. И. Грушин, Е. В. Романов. Работа станции КРАМС-М при метеобеспечении полетов по второй категории	80
М. О. Кричак. Оценка параметров вертикального статистического контроля ветра	92
М. Г. Саноян. Трансформированные погрешности косвенно определяемых элементов теплового баланса	97
Л. С. Мордовина, Г. Н. Новохацкая. Погрешности в определении наблюдателем атмосферных явлений, связанных с выпадением снега	104
Р. Г. Тимановская, Е. Е. Федорович. Алгоритм автоматизированного контроля составляющих радиационного баланса	111

Труды ГГО, вып. 473

МЕТОДИКА МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

Редактор Л. А. Севастьянова. Техн. редактор Г. В. Ивкова. Корректор И. А. Динабург
Сдано в набор 26.07.83. Подписано в печать 21.11.83. М-38662. Формат 60×90¹/₁₆. Бумага
тип. № 1. Литературная гарнитура. Печать высокая. Печ. л. 8. Кр.-отт. 8,25. Уч.-изд.
л. 8,88. Тираж 700 экз. Индекс МОЛ-180. Заказ № 247. Цена 60 к.

Гидрометеиздат, 199053. Ленинград, 2-я линия, д. 23

Ленинградская типография № 8 ордена Трудового Красного Знамени Ленинградского объединения «Техническая книга» им. Евгении Соколовой Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли.
190000, Ленинград, Прачечный переулок, 6