

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР
ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ И КОНТРОЛЮ
ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

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

Выпуск

461

МЕТОДИКА МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ
НАБЛЮДЕНИЙ

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



ЛЕНИНГРАД ГИДРОМЕТЕОИЗДАТ 1982

Сборник посвящен вопросам совершенствования системы наземных метеорологических наблюдений, разработке и усовершенствованию методики наблюдений на сети наземных метеорологических станций и постов, разработке методики автоматизированного контроля достоверности информации, восстановления забракованных данных, восполнения пропусков в наблюдениях с целью обеспечения непрерывности рядов наблюдений. Ряд статей посвящен вопросам усовершенствования методики определения дальности видимости и высоты нижней границы облаков на авиационных метеорологических станциях, разработке методики оперативной обработки и контроля достоверности информации в автоматизированных системах метеорологического обеспечения полетов гражданской авиации.

Распечатан на специалистов УГКС и ГМО, работников региональных и территориальных центров сбора и обработки гидрометеорологической информации, а также на преподавателей и студентов гидрометеорологических вузов и техникумов.

The publication deals with the problems of improving the surface meteorological observation system, the development and refinement of observation technique at the network of ground meteorological stations and posts, the development of procedures for the automatic test of information reliability, restoration of rejected data, filling up the gaps in observations with the aim of ensuring continuous observation series. Some papers concern the problems of improving the techniques for estimating visibility range and cloud bottom altitude at aeronautical meteorological stations, the development of procedures for operative processing and checkout of information reliability in the automatic systems of meteorological provision of civil aviation flights.

The publication is intended for specialists of UGKS u GMO, workers of regional and territorial centers of collection and processing of hydrometeorological information, as well as would be a useful textbook for instructors and students of hydrometeorological institutes and technical schools.

Ленинградский
Гидрометеорологический ин-т
БИБЛИОТЕКА
Л-д 195196 Малоохтинский пр., 98

310922

Д. П. Беспалов, Л. Ф. Школяр

О РЕПРЕЗЕНТАТИВНОСТИ РЕПЕРНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ

Современное понятие о климате исходит из постоянного изменения климата под влиянием эволюции климатообразующих факторов. Эти факторы до последнего времени являлись результатом только физико-географических условий и космических воздействий. В соответствии с этим для изучения климата и климатообразующих факторов из состава действующих метеорологических станций I разряда была выделена реперная климатическая сеть станций. Поскольку изменения климата достаточно надежно прослеживаются на больших периодах времени, реперные станции были выбраны из числа тех, которые имели возможно больший период наблюдений.

В последнее время широкое развитие хозяйственной деятельности человека (особенно интенсивной застройки) стало вносить существенный вклад в изменение климатообразующих факторов, что поставило вопрос о необходимости изучения изменений климата, обусловленных антропогенными воздействиями на климатообразующие факторы. При этом оказываются необходимыми детальное изучение и оценка количественного изменения каждого из климатообразующих факторов и его влияния на климат и метеорологический режим достаточно ограниченных территорий. Эти задачи составляют основное содержание программы мониторинга климата, разработка и реализация которой составляют главное содержание климатологической программы исследований на длительное время.

В соответствии с новыми аспектами климатологической программы мониторинга необходимо иметь в составе реперной сети также и станции, расположенные в местах, где существенную роль играют антропогенные воздействия на климат. Таким образом, сеть для мониторинга климата должна состоять из станций, осуществляющих контроль за изменением физико-географических факторов формирования климата (с выделением станций с минимальным воздействием антропогенных факторов), и станций,

предназначенных для контроля за антропогенными факторами формирования климата.

С целью выбора станций для мониторинга климата в ГГО всеми УГКС была проведена работа по оценке репрезентативности реперных станций. Оценка производилась в соответствии с методикой, разработанной в ГГО [2]. Основу этой методики составляет получение оценки репрезентативности относительно средних особенностей физико-географических условий для района, которые определяются по группе станций, и оценки репрезентативности относительно «климатического фона» района расположения станции, в котором исключено влияние микроклиматообразующих факторов.

При оценке репрезентативности станция считалась репрезентативной, если по данным наблюдений этой станции можно было получить интерполированные значения в пунктах окружающего ее района с точностью до ошибки принятого метода интерполяции.

Интерполяция характеристик, по которым оценивалась репрезентативность станций, производилась в два приема: отдельно по каждой паре станций. Интерполированное значение вычислялось по формулам:

$$\begin{aligned}\tilde{y}_{p_1} &= p_1 y_1 + p_2 y_2, \\ \tilde{y}_{p_2} &= p_3 y_3 + p_4 y_4.\end{aligned}\quad (1)$$

Здесь y_1, y_2, y_3 и y_4 — значения интерполируемого элемента на 1, 2, 3 и 4-й опорных станциях соответственно; p_1, p_2, p_3, p_4 — интерполяционные коэффициенты (веса интерполяции):

$$p_1 = \frac{h_2}{h_1 + h_2}; \quad p_2 = \frac{h_1}{h_1 + h_2}; \quad p_3 = \frac{h_4}{h_3 + h_4}; \quad p_4 = \frac{h_3}{h_3 + h_4}, \quad (2)$$

где h_1, h_2, h_3, h_4 — расстояния опорной станции до реперной (или дублера), характерность которой определяется.

Оценка репрезентативности производилась по характеристикам температуры воздуха (средняя месячная и разность между средним максимумом и средним минимумом за месяц), влажности воздуха (упругость водяного пара) и скорости ветра. При оценке репрезентативности по скорости ветра необходимо было учитывать влияние застройки на ход скорости и направления ветра, а также проявление естественных колебаний, свойственных многолетним рядам наблюдений [1, 5]. В районах Средней Азии оценка репрезентативности станций по влажности воздуха затруднялась из-за влияния орошения на ход влажности.

В результате проведенной работы было установлено, что из общего числа реперных станций 421 и станций-дублеров 288 нерепрезентативных реперных станций оказалось 63 (15%), а станций-дублеров 17 (6%). При этом нерепрезентативными из-за застройки оказались 58 реперных климатических станций и 15 станций-дублеров, из которых 18 реперных станций и 2 станции-дублеры превратились в городские. Отдельные станции оказались не-

репрезентативными вследствие нахождения их в непосредственной близости от взлетно-посадочных полос, грунтовых и шоссежных дорог, а также в результате защищенности древесной растительностью.

В связи с этим в настоящее время встал вопрос о необходимости постоянно следить за изменениями в ближайшем окружении метеоплощадок. На ход метеорологических элементов оказывают влияние следующие изменения в окружении станций.

1. Изменения в наличии и характере растительности (расстояние древесной растительности от метеоплощадки не должно быть меньше 10-кратной ее высоты), а также изменения в степени защищенности (сплошной густой лес, разреженная, хорошо продуваемая лиственная растительность).

2. Застройка отдельными строениями (зданиями) вблизи станции или сплошной полосой зданий (населенные пункты с многоэтажной застройкой). Эти препятствия не должны находиться ближе их 10-кратной высоты. Станции, расположенные в населенных пунктах, обычно являются нерепрезентативными для окружающей территории.

3. Прокладка грунтовых и шоссежных дорог в непосредственной близости от метеоплощадок.

4. Наличие взлетно-посадочных полос вблизи метеорологических станций.

5. Создание малых водных объектов (прудов, оросительных или осушительных каналов, арыков и др.) в ближайших окрестностях станций. Наиболее сильно эти изменения проявляются в южных районах и в районах, где преобладают неорошаемые земли.

6. Введение искусственных поливов непосредственно вблизи станций (полив сельскохозяйственных участков).

Все отмеченные изменения в окружении метеорологической станции и их оценка заносятся в Техническое дело станции с указанием даты этих изменений.

Для установления влияния изменений в окружении метеорологической площадки на ход метеорологических элементов используются методы критического контроля метеорологической информации с помощью ЭВМ [3], а именно сравниваются наблюдаемые значения с интерполированными на контролируемой станции. Если разность этих значений (невязка) не превышает некоторую определенную величину (допуск), то измеренное значение рассматриваемого элемента будет достоверно и репрезентативно для окружающей территории. Если же невязка превышает допуск, то она подлежит дальнейшему анализу с учетом изменений в местоположении площадки.

В табл. 1 приведены примеры невязок для отдельных реперных станций. На 12 рассматриваемых реперных климатических станциях наблюдаются большие невязки по основным метеорологическим элементам, обусловленные влиянием застройки. На двух станциях (Бакчар и Казым) изменения в окружении метеопло-

Значения невязок интерполяции для отдельных реперных климатических станций

Станция	Средняя месячная температура воздуха, °С		Разность средних максимальных и минимальных температур воздуха, °С		Упругость водяного пара, гПа		Скорость ветра, м/с		Причина нарушения репрезентативности
	I	VII	I	VII	I	VII	I	VII	
Вентспилс	-0,2	0,0	-0,2	-1,6	0,0	0,5	0,4	1,3	Застроена
Кола	-0,4	0,5	1,3	0,3	0,2	0,8	0,3	0,6	
Вогучаны	-0,8	0,5	0,4	0,8	-0,1	-1,7	-0,4	-0,3	
Николаевск-на-Амуре	0,5	0,7	1,4	2,0	0,2	0,3	1,6	1,1	
Термез	-0,5	0,8	1,7	2,5	-0,6	1,3	0,4	0,6	
Ларьяк	0,0	0,3	0,8	0,2	0,0	0,2	0,9	0,6	То же.
Ленинград, ИЦН	1,4	0,9	-1,0	-1,0	0,2	0,0	-1,6	-1,4	
Волгоград, СХИ	0,0	-0,4	-0,6	2,1	0,0	0,1	1,4	0,6	Застроена (город)
Свердловск	0,8	0,6	1,4	-0,8	0,0	0,0	0,3	0,2	
Тбилиси, город	0,2	1,3	3,6	2,1	0,7	0,9	0,0	0,2	" "
Провиденция, бухта	1,3	3,2	-0,3	1,6	0,0	1,0	-2,0	-1,6	
Махакаала	0,0	-1,2	-0,2	-0,2	-0,2	-1,6	-0,2	-0,2	Застроена
Алма-Ата, ГМО	0,5	1,4	0,4	0,0	0,5	1,4	-0,7	-0,6	
Горький, ГМО	0,5	0,2	-1,4	-1,7	0,0	-0,3	0,2	0,0	Застроена (город)
Курдамир (дублер)	0,0	0,5	-0,2	0,2	0,0	-1,0	0,2	0,0	
Бакчар	0,3	0,2	-0,7	-0,2	0,1	-0,3	0,2	0,4	Вблизи метеоплощадки шоссеиные дороги с интенсивным движением
Казым	0,3	0,3	1,0	0,7	0,0	0,3	0,2	0,4	

Примечание. Курсивом выделены невязки, превышающие принятые допуски.

щадок (наличие отдельных деревянных строений) не сказались на ходе метеорологических элементов, невязки по основным элементам не превышают допуски, и станции являются репрезентативными. Значительные невязки на станциях Термез и Ларьяк вызваны расположением вблизи метеоплощадок взлетно-посадочных полос. На ст. Кюрмамир невязки по температуре и влажности воздуха, превышающие допуски, обусловлены близостью к метеоплощадке шоссеых дорог.

Среди рассмотренных застроенных станций и нерепрезентативных для окружающей территории такие станции, как Ленинград, ИЦП, Волгоград, СХИ, Свердловск, Тбилиси, город, Алма-Ата, ГМО, можно считать характерными для условий города.

Как показал анализ полученных результатов оценки репрезентативности станций, застройка площадок наиболее существенное влияние оказывает на скорость ветра. На температуру и влажность воздуха влияние застройки прослеживается реже.

Для повышения репрезентативности реперной сети оказывается необходимым принять ряд мер. Станцию, оказавшуюся нерепрезентативной по всем основным метеорологическим элементам, следует или перенести, или закрыть, если в данном пункте имеется другая станция. В отдельных случаях застроенные станции, которые превратились в городские, можно использовать как специализированные станции для изучения метеорологического режима города. Станции, оказавшиеся нерепрезентативными только по скорости ветра, переносить не следует. Для получения репрезентативных данных по скорости ветра рекомендуется вынести ветровой прибор за пределы площадки и установить его на той же высоте. Если же подобрать место и вынести прибор невозможно, на площадке нужно установить анеморумбометр на большой высоте. При этом прибор устанавливается на такой высоте по отношению к окружающим препятствиям, чтобы он оказался в поле неискаженного ветрового потока. Согласно [4], в первом приближении за такую высоту можно принять уровень 6 м и более, выше среднего уровня крыш или других окружающих препятствий, при этом скорость ветра необходимо приводить к высоте 10 м, как принято на всей сети.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антонец В. Д., Литвякова Л. А. Особенности временных рядов скорости ветра.— Труды ГГО, 1979, вып. 425, с. 42—46.
2. Беспалов Д. П., Школяр Л. Ф., Репина В. С. Репрезентативность метеорологических станций и методы ее количественной оценки.— Труды ГГО, 1980, вып. 435, с. 15—21.
3. Методические основы автоматизированной системы метеорологических наблюдений/Под ред. Д. П. Беспалова.— Л.: Гидрометеоздат, 1971.— 118 с.
4. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 10, ч. 1, 1976.— 240 с.
5. Школяр Л. Ф. К вопросу об уменьшении скорости ветра за последнее десятилетие.— Труды ГГО, 1980, вып. 435, с. 96—98.

Е. Н. Романова, А. В. Калашников

МЕЗОКЛИМАТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИ ОЦЕНКАХ РЕПРЕЗЕНТАТИВНОСТИ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ В СЛОЖНЫХ ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Для равнинных территорий вопрос об оценке репрезентативности метеорологических станций и рациональном построении сети благодаря работам О. А. Дроздова [1], Р. Л. Кагана [2] можно считать решенным. Однако применение результатов исследовательских принципов размещения сети метеорологических станций и пространственной интерполяции метеорологических элементов, разработанных для условий однородных в пространстве регионов, к условиям с выраженной неоднородностью подстилающей поверхности невозможно.

На территориях со сложным геоморфологическим строением и резким изменением метеорологического режима на близких расстояниях размещение метеорологических станций до настоящего времени происходит в значительной степени стихийно, что приводит к недостаточной их репрезентативности.

Проблема рационального размещения сети в сложных геоморфологических условиях может быть решена на основании анализа мезо- и микроклиматообразующего воздействия на метеорологический режим различных неоднородностей подстилающей поверхности.

В качестве объекта исследования нами была выбрана территория освоения БАМа, представляющая собой своеобразную физико-географическую область, очень сложную по геоморфологическому строению, с суровыми климатическими условиями. Сеть метеорологических станций здесь крайне редка и приурочена в основном к речным долинам; другие формы рельефа почти не охвачены регулярными метеорологическими наблюдениями.

Тщательный анализ местоположений метеорологических станций является необходимым этапом выполнения исследований данного направления.

Значительное изменение метеорологического режима на близких расстояниях делает необходимым дать точную оценку репре-

зентативности каждой метеорологической станции и выделить их основные типы.

Остановимся на понятии репрезентативности (характерности) метеорологических станций применительно к условиям сложного рельефа.

В сложных физико-географических условиях при оценке степени репрезентативности, очевидно, нельзя использовать понятие о репрезентативности метеорологических станций, которое исходит из возможности получения для данной станции интерполированного значения по окружающим станциям [3], поскольку пространственное изменение в этих условиях слишком велико и нелинейно.

Нельзя также пользоваться и определением репрезентативности, согласно которому наблюдения репрезентативной метеорологической станции показательны для общего положения в большом районе [8], поскольку из этого определения следует, что в сложных физико-географических условиях репрезентативные метеорологические станции вообще отсутствуют.

Очевидно, что при определении репрезентативности метеостанции нельзя привязывать это понятие обязательно к большой территории. В условиях регионов, сложных в физико-географическом отношении, нужно выделить характерные для рассматриваемой территории геоморфологические разновидности мезоклиматического масштаба. Например, для территории освоения БАМа в зависимости от особенностей климата следует выделить семь мезоклиматических типов местоположения: 1) широкие долины; 2) узкие долины; 3) перевалы, седловины; 4) котловины, впадины; 5) склоны; 6) плато, вершины; 7) острова, побережья.

Была рассмотрена сеть реперных климатических станций, количество которых в пределах территории освоения БАМа составляет 77. Анализ местоположений этих РКС показал, что очень часто характерность местоположения нарушается каким-нибудь вторичным признаком неоднородности подстилающей поверхности. Например, станция может располагаться в широкой долине, но на вершине холма; среди густого лесного массива, но на перевале. В таких случаях станцию следует считать нерепрезентативной, поскольку бессистемный охват вторичных признаков затрудняет правильное использование получаемой режимной информации.

Естественно, что из семи мезоклиматических типов один должен быть использован в качестве контрольного, т. е. репрезентативного в широком смысле. К такому типу, очевидно, следует отнести РКС, расположенные в широких долинах. Следует отметить, что такой тип является аналогом равнинных станций. Репрезентативными в более узком смысле являются метеорологические станции, местоположения которых относятся к перечисленным выше остальным шести типам.

При отсутствии режимной информации по какому-либо району необходимо определить мезоклиматический тип местоположения

согласно коду местоположений метеорологических станций [4] и выбрать станцию с аналогичным типом, удаленную на расстояние не более 50... 70 км.

Кодовая типизация отражает основные физические закономерности формирования климата и дает возможность представить природные условия в строгой схематической форме, позволяющей с помощью ЭВМ выбирать необходимые сочетания местоположений и группировать их по определенным типам местоположений.

На основании кода местоположений метеорологических станций составлена опытная программа для выбора станций по заданному признаку для ЭВМ БЭСМ-6. Алгоритм задачи заключается в том, что по произвольно заданному признаку K, L, N, \dots, j , описывающему определенный тип местоположения, производится отбор группы станций, обладающих этим признаком. Призначная группа задается в зависимости от цели исследования.

Таким образом, могут быть выделены определенные типы местоположений станций, по данным которых можно строить так называемые «фоновые» карты, получать неискаженные значения широтных градиентов различных элементов климата, производить теоретические исследования макроклиматического плана и т. д.

Метеостанции, данные которых пригодны для фоновых характеристик, могут находиться в различных типах макрорельефа: на низкой или возвышенной равнине, а также в предгорьях, низкорьях, плоскогорьях. Необходимым условием для всех перечисленных типов рельефа является расположение метеорологической станции на ровном месте, не находящемся под влиянием соседних возвышенностей (расстояние от метеостанции до доминирующей возвышенности должны быть больше 50 км).

Кроме фоновых характеристик, большой интерес представляют отклонения от фона, вызванные неоднородностями подстилающей поверхности в различных формах макрорельефа. Использование предлагаемого алгоритма позволяет группировать станции по типам неоднородностей подстилающей поверхности для мезо-микроклиматических исследований.

Целочисленный массив M размерностью 80 позволяет учитывать практически все факторы окружающей среды, влияющие на метеорологический режим, и другие сведения о станции, необходимые для контроля ее репрезентативности.

С целью выявления репрезентативности сети реперных станций на технический носитель нами была нанесена закодированная информация по четырем УГКС, охватывающим территорию БАМа. Следует отметить, что несовершенство физико-географических описаний обусловило неудовлетворительное состояние информации, нанесенной на технический носитель.

Использование даже новых уточненных физико-географических описаний не позволяет получить всю необходимую информацию о местоположении станций. Как правило, описания составлены подробно, но обычно за счет второстепенных факторов, не играющих большой роли в формировании местных климатических осо-

бенностей; количественные характеристики неоднородностей подстилающей поверхности, необходимые для оценки формирования мезо- и микроклиматов, как правило, отсутствуют. В этой связи следует рекомендовать скорейшее составление в УГКС описаний местоположений станций согласно [4].

При проведении исследований вследствие имеющейся неполноценности описаний для большей надежности полученных результатов параллельно с использованием ЭВМ выполнялся «ручной» анализ местоположений метеорологических станций. Кроме того, были проанализированы режимные данные по скорости и направлению ветра с точки зрения изменения ветрового режима под влиянием неоднородностей подстилающей поверхности.

Выполненные ранее исследования ветрового режима на территории освоения БАМа [6] показали очень сложную картину пространственного распределения скорости ветра. Эта сложность обусловлена как условиями циркуляции, так и особенностями геоморфологического строения рассматриваемой территории.

Для учета естественных макроклиматических изменений в пределах обширной территории освоения БАМа в соответствии с [7] было выделено пять физико-географических районов: Предбайкалье, Забайкалье, Зейско-Буреинская равнина, долины Амура и Усури, побережье Охотского моря. В пределах каждого района в определенном типе местоположения изменение метеоэлементов предполагается незначительным.

В табл. 1 приводятся значения скорости ветра по данным климатических справочников за январь и июль и вычисленные коэффициенты изменения скорости ветра, систематизированные по выделенным физико-географическим районам и по типам местоположения.

Большинство реперных станций в этих районах, так же как и вообще метеорологических станций, расположено в долинах рек; на склонах, плато и вершинах встречаются единичные станции.

Согласно данным табл. 1, отмечается большая изменчивость скорости ветра, даже в пределах конкретного местоположения. Для установления причин такой неоднородности были тщательно проанализированы особенности местоположения каждой станции с помощью кода характеристик местоположения метеорологических станций и уточненных физико-географических описаний.

Результаты анализа показали, что большой разброс значений скорости ветра в одинаковых местоположениях в пределах единого физико-географического района возникает вследствие «шумов» за счет так называемых вторичных типов неоднородностей подстилающей поверхности. Например, метеостанции Иркутск и Качуг расположены в долинах, но на возвышении, что существенно искажает режимную информацию в смысле ее репрезентативности для выделенных типов местоположений, т. е. для широких долин.

Организация режимных наблюдений с учетом упомянутых выше вторичных типов неоднородностей целесообразна при

Долина р. Усури

Бикин	1,7	2,1	0,8	1,0																
	2,3	2,1	1,2	1,0																
Лермонтовка																				
Долина р. Амура																				
Николаевск-на-Амуре	3,0	3,9	0,8	1,1																
	4,6	4,3	1,2	1,2																
Хабаровск	3,4	2,9	0,9	0,8																
	1,2	2,2	0,6	1,8																
Воскресенское	0,5	1,7	0,2	0,8																
Софийский																				
Принск																				
Бомнак	0,4	2,1	0,2	1,0																

Станция	Склоны			Станция	Перевалы, седловины			Станция	Плато, вершины			Острова, побережья					
	vI	vVII	K1		vI	vVII	K1		KVII	vI	vVII	K1	KVII	vI	vVII	K1	KVII

Предбайкалье

Баяндай	2,5	2,0	1,9	1,4	Хамар-	1,1	1,4	0,8	1,0	Ненастная	9,0	3,0	6,9	2,1	Остров	3,9	2,8	3,0	2,0
	1,1	1,2	0,8	0,8	Дабан										Большой				
	5,6	1,1	4,3	0,8											Ушканый				

Забайкалье

Икатский					Икатский	3,8	2,0	3,8	0,7	Усойский	5,7	3,0	5,7	2,0	Сосново-	3,2	3,1	3,2	2,0
					Перевал					Хребет					Озск	1,5	1,5	1,5	1,0
															Нижнеан-				
														гарск					

Зейско-Буренская равнина

Соленкуль	2,2	2,4	1,4	1,2											Аян	3,2	3,3	2,0	1,6
															Большой	2,5	1,2	1,6	0,6
															Шангар				

Основные типы реперных метеорологических станций на территории освоения БАМА

Широкие долины ($K=1,0$)	Узкие долины		Перевалы, седловины ($K=0,4 \dots 1,0$)	Котловины, впадины ($K=1,2 \dots 2,0$)	Склоны ($K=2,0$)	Плато, вершины ($K=2,0 \dots 0,4$)	Острова, побережья ($K=1,8$)
	продольные ($K=1,8 \dots 1,8$)	поперечные ($K=0,6 \dots 0,8$)					
Максимово Токма Орлнга Головское Залари Качуг ¹ Наканно ¹ Шиткино ¹ Иркутск ¹ Витим ¹ Зима ¹ Киренск ¹	Чечуйск Преобра- женка Ербогачен Усть-Нюк- жа	Средний Калар	Верхняя Гутара Орлик Ичера	Баяндай Ильчир ¹ Оленья Речка	Хамар- Дабан ¹	Ненастная ¹	Остров Вольшой Ушканий
Красный Чита Торей ¹ Соловьевск Мангут Кира ¹	Улан-Удэ ¹ Баргузин	Могоча Нерчинский Завод Цапир Кяхта ¹	Забайкалье Тунка ¹ Кунгур-Тук Минусинск Кызыл Эрзин Знаменка	Икатский Паревал	Усойский Хребет	Сосново- Озерк Нижне- ангарск ¹	

Широкие долины ($K=1,0$)	Узкие долины		Перевалы, седловины ($K=0,4...1,0$)	Котловины, впадины ($K=1,2...2,0$)	Склоны ($K=2,0$)	Плато, вершины ($K=2,0...4,0$)	Острова, побережья ($K=1,5$)
	продольные ($K=1,5...1,8$)	поперечные ($K=0,6...0,8$)					
Черлево Благовещенск Константиновка Мазаново		Норский Склад Экимчан Стойба		Соленкуль			Аян Большой Шантар ¹
Бикин Лермонтовка			Долина Уссури				
Николаевск-на-Амуре Хабаровск Елабуга Воскресенское ¹ Софийский Прииск ¹ Бомнак ¹			Долина Амура				

Примечание. Продольные и поперечные долины — долины, продольные и поперечные по отношению к преобладающему направлению ветра.

¹ Нерепрезентативные по условиям местоположения и защищенности.

проведении регулярных метеорологических наблюдений с использованием «микроклиматических кустов». При наличии таких наблюдений станет возможным систематизация режимных данных с учетом мелких типов неоднородностей подстилающей поверхности, т. е. создадутся предпосылки для выполнения микроклиматических оценок территорий по данным сетевых наблюдений. Однако при организации таких наблюдений заранее на основании учета микроклиматообразующих факторов должны быть предусмотрены все микроклиматические вариации метеорологического режима в пределах ареала микроклиматического куста.

Проведение регулярных метеорологических наблюдений на основании бессистемного охвата вторичных признаков неоднородностей подстилающей поверхности затрудняет правильную интерпретацию полученной информации.

Согласно данным табл. 1, репрезентативные станции, т. е. станции, на которых отсутствуют вторичные неоднородности, характеризуются небольшим диапазоном изменчивости средних скоростей ветра. (Эти данные можно осреднять в пределах каждого района по типам местоположений). На метеорологических же станциях, для которых характерна вторичная неоднородность, эта изменчивость велика. Так, например, существенные отклонения от данных так называемых «чистых» станций отмечаются на метеостанциях, расположенных в широких долинах (Зима, Иркутск, Витим, Торей и др.), при оценке местоположения которых выявлена вторичная неоднородность подстилающей поверхности. Использование данных наблюдений таких станций очень ограничено, поскольку указанные отклонения (или невязки) в несколько раз превышают допуски, приводимые в Методических указаниях [4].

Для выделения основных типов реперных метеорологических станций на территории освоения БАМа, кроме средних скоростей ветра, были проанализированы коэффициенты изменения скорости ветра в зависимости от местоположения метеорологических станций в определенных физико-географических районах (табл. 1). Коэффициенты изменения скорости ветра являются более чувствительными показателями особенностей местоположения, чем скорость ветра [5].

К сожалению, далеко не все местоположения на территории освоения БАМа охвачены регулярными наблюдениями, а в некоторых случаях даже единственную станцию нельзя считать характерной для выделенного типа местоположений. Например, ст. Хамар-Дабан относится к перевальным, однако расположена она на несколько десятков метров ниже перевала, и это делает ее нерепрезентативной для данного местоположения. Известно, что на перевалах наблюдается резкое усиление ветра ($K \geq 2$), а на этой станции, напротив, имеет место небольшое ослабление ветра по сравнению с широкими долинами.

Также неудачно по ряду причин отнесены некоторые станции к склоновым и др.

Классификация местоположений метеостанций оказалась возможной на основании анализа местоположений «ручным» способом и с помощью ЭВМ, а также по данным об изменении скорости и направления ветра (табл. 2).

Результаты исследований показали, что из рассмотренных 77 реперных климатических станций и их дублеров репрезентативными в строгом смысле слова являются только 54 станции, а 23 станции следует считать нерепрезентативными по условиям местоположения или защищенности. Кроме того, метеостанции неравномерно освещают особенности местоположений в мезоклиматическом плане. Во всех физико-географических районах территории освоения БАМа такие типы местоположений, как склоны, плато, вершины, перевалы, седловины, характеризуются данными одной-двух станций на весь район; иногда станции вовсе отсутствуют.

Расчет количественных значений изменений климатических параметров в зависимости от местоположения дает возможность проводить пространственную интерполяцию и экстраполяцию режимных данных в районах с редкой сетью регулярных наблюдений.

В настоящее время имеются потенциальные возможности оценить репрезентативность метеорологических станций и решить проблему рационального размещения сети и в сложных по геоморфологическому строению регионах на научной основе для всей территории СССР.

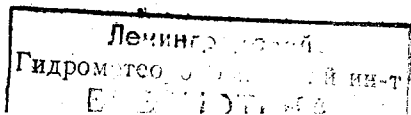
Такие исследования крайне необходимы для решения многих научных и прикладных задач. В частности, выбор реперных климатических станций для мониторинга климата должен обязательно осуществляться из числа репрезентативных станций, а также охватывать различные типы местоположений, поскольку различные преобладающие процессы приводят к неоднозначным изменениям метеорологического режима в разных геоморфологических структурах.

Информацию климатических справочников во вновь осваиваемых районах с редкой сетью наблюдений при организации структуры промышленных комплексов, выборе оптимальных местоположений при размещении городов, поселков, сельскохозяйственных объектов можно распространять на площади, не охваченные регулярными наблюдениями, только с учетом геоморфологических особенностей региона и изменений климатических параметров в зависимости от местоположения.

Указанное направление исследований должно активно развиваться в связи с уже существующими потребностями народного хозяйства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дроздов О. А. Метод построения сети станций в равнинной местности.— Труды ГГО, 1936, вып. 12, с. 10—12.
2. Каган Р. Л. Осреднение метеорологических полей.— Л.: Гидрометеоздат, 1979.— 212 с.



3. Методические указания управлениям гидрометеорологической службы по оценке репрезентативности реперных станций и их дублеров.—Л.: изд. ГГО, 1978.—22 с.
4. Романова Е. Н., Васильева Л. Г. Кодовая типизация местоположений метеорологических станций.—Труды ГГО, 1976, вып. 375, с. 14—36.
5. Романова Е. Н. Микроклиматическая изменчивость основных элементов климата.—Л.: Гидрометеиздат, 1977.—278 с.
6. Романова Е. Н. Ветровой режим на территории освоения БАМ.—Труды ГГО, 1980, вып. 426, с. 55—69.
7. Суслов С. П. Физическая география СССР.—Л.: Учпедгиз, 1947.—346 с.
8. Хромов С. П., Мамонтова Л. И. Метеорологический словарь.—Л.: Гидрометеиздат, 1974.—567 с.

Д. П. Беспалов, Л. А. Грошева

О ВОСПОЛНЕНИИ ПРОПУЩЕННЫХ ДАННЫХ В МАТЕРИАЛАХ НАБЛЮДЕНИЙ

Получение непрерывного ряда наблюдаемого элемента в режимных и климатических обобщениях и обеспечение полноты выборок требуют, чтобы наблюдения по всем метеорологическим элементам на станции не имели пропусков. Для этого все станции должны быть снабжены необходимыми приборами и оборудованием в соответствии с программой наблюдений станции.

Однако, несмотря на все принимаемые меры, пропуски в наблюдениях все же имеют место. Это связано обычно с выходом из строя тех или иных измерительных средств, использованием приборов с недостаточным диапазоном измерения (термометров), а также с ошибками при производстве измерений.

Обработка рядов наблюдений с пропусками для получения достоверных выводов требует специального анализа исходных данных. Так, при расчете среднего (за сутки, декаду, месяц) необходимо оценить возможное отличие среднего по неполному ряду от среднего по полному; при выборке максимальных и минимальных значений следует убедиться, что пропуск не падает на экстремальное значение и т. п. В ряде случаев оказывается необходимым восстанавливать пропущенное значение.

Методика восстановления пропущенных значений определяется возможностью использования имеющихся данных для расчета. Наиболее часты случаи пропуска значения одного какого-нибудь элемента в срок. В этих случаях для восстановления пропуска достаточно эффективно могут использоваться связи с другими метеоэлементами, которые измерены в этот срок на станциях, или косвенные оценки измеряемой величины наблюдателем на станции. Так, например, при пропуске срочного значения температуры оно может быть получено по отсчету по спирту минимального термометра или выведено из показаний термографа; при выходе из строя прибора для измерения ветра скорость и направление могут быть получены из визуальных оценок (по шкале Бофорта) и т. п. Такого рода восстановление информации лучше всего делать непосредственно на станции, отмечая восстановленные значения

(в книжке и при перфорации) специальным знаком и оговаривая в примечаниях способ, которым оно получено.

Восстановление срочных значений при обработке данных на ЭВМ требует разработки специальных методов. При этом следует отметить, что упрощенные методы внутростанционного логического контроля, вообще говоря, неправомерно использовать для восстановления пропущенных или забракованных данных. Например, если для контроля срочных значений температуры поверхности почвы используется сопоставление ее с максимальной температурой на основе неравенства $t_{\text{ср}} \leq t_{\text{макс}}$, то замена $t_{\text{ср}}$ на $t_{\text{макс}}$ (при выходе из строя срочного термометра), очевидно, неправомерна, хотя такое восстановленное значение и не будет забраковано при логическом контроле. Восстановление срочных значений, если на станции не произведено измерение этого элемента каким-либо другим техническим средством, возможно только путем анализа суточного хода на станции, расположенной в аналогичных условиях. При этом следует учитывать различия наблюдаемых значений на станции-аналоге и на станции, для которой производится восстановление пропущенных значений. Однако такое восстановление может быть допустимо только для ограниченного числа пропусков (5... 7 пропусков в месяц для одного срока).

Наряду с методом построения суточного хода средних месячных значений представляет интерес исследовать возможности простой интерполяции забракованного или пропущенного среднего месячного значения по данным только обрабатываемой станции, без привлечения данных станции-аналога. Возможности линейной интерполяции достаточно хорошо исследованы: для элементов, не имеющих суточного хода, и для значений, отличных от экстремальных, линейная интерполяция дает удовлетворительные результаты, и повышение степени интерполирующего полинома не дает существенного повышения точности интерполированного значения. Однако в общем случае наиболее перспективной представляется интерполяция с помощью полиномов 3-го порядка:

$$u(t_i) = a_1 t_i^3 + a_2 t_i^2 + a_3 t_i + a_4, \quad (1)$$

где $u(t_i)$ — значение элемента в срок t_i , i — номер срока.

Коэффициенты a_1 , a_2 , a_3 и a_4 получим, применяя (1) к четырем другим срокам, для которых известно значение элемента u , и решая полученную систему относительно a_1 , a_2 , a_3 и a_4 :

$$u(t_j) = a_1 t_j^3 + a_2 t_j^2 + a_3 t_j + a_4. \quad (2)$$

При выборе сроков t_j возможны три варианта расположения их относительно срока t_i :

$$t_{j1} < t_i < t_{j2} < t_{j3} < t_{j4}; \quad t_{j1} < t_{j2} < t_i < t_{j3} < t_{j4};$$

$$t_{j1} < t_{j2} < t_{j3} < t_i < t_{j4},$$

что соответствует интерполяции по одному сроку до интерполируемого срока t_i и по трем после него, по двум до и по двум после, по трем до и по одному после.

Таблица 1

Станция, дата	Сроки							
	0	03	06	09	12	15	18	21
Минск	-0,2	0,23	0,0	0,35	-0,8	-0,47	1,6	-0,69
I 1972	-0,15	0,0	-0,24	0,53	0,32	-1,07	0,47	0,13
	-0,0	0,35	-0,8	-0,47	1,6	-0,7	-0,2	0,22
	-0,12	0,19	-0,35	0,14	0,37	-0,75	0,62	-0,11
Радошковичи	-0,5	0,4	0,05	0,2	-0,62	-0,77	1,9	-0,64
I 1972	-0,3	-0,04	0,14	0,4	0,48	-1,2	0,4	0,35
	0,1	0,2	-0,6	-0,77	1,9	-0,64	-0,52	0,43
	-0,23	0,19	-0,14	-0,06	0,59	-0,87	0,6	0,05
Минск	0,3	-0,4	0,23	0,05	-0,15	-0,29	0,63	-0,34
I 1975	0,27	-0,15	-0,22	0,1	0,2	-0,41	0,23	-0,2
	0,22	0,05	-0,15	-0,3	0,63	-0,38	0,3	-0,4
	0,26	-0,17	-0,05	-0,05	0,23	-0,36	0,39	-0,31
Радошковичи	0,12	-0,06	0,08	0,2	-0,43	0,02	0,43	-0,25
I 1975	0,12	-0,05	-0,14	0,27	-0,02	-0,28	0,17	-0,08
	0,08	0,2	-0,44	0,03	0,43	-0,24	0,12	-0,18
	0,11	0,03	-0,17	0,17	-0,01	-0,17	0,24	-0,17
Минск	-0,35	-0,3	0,58	-0,65	-0,2	0,3	-0,12	0,65
IV 1975	0,2	-0,38	0,43	0,13	-0,2	0,08	-0,6	0,3
	0,58	-0,65	-0,2	0,3	-0,15	0,85	-0,45	-0,3
	0,14	-0,44	0,27	-0,03	-0,18	0,41	-0,39	0,22
Радошковичи	-0,2	-0,5	0,45	0,2	-0,4	0,35	-0,05	0,72
IV 1975	0,33	-0,3	0,25	0,27	-0,24	0,04	-0,45	0,13
	0,45	-0,37	-0,4	0,35	-0,05	0,73	-0,2	-0,51
	0,19	-0,39	0,1	0,27	-0,23	0,37	-0,23	0,11
Минск	0,6	-0,6	0,75	-1,6	0,57	0,3	0,3	-0,3
VII 1972	0,4	-0,5	1,06	-0,41	-0,2	-0,2	0,2	-0,38
	0,75	-1,6	0,5	0,3	-0,3	-0,3	0,57	-0,6
	0,58	-0,9	0,77	-0,57	0,02	-0,06	0,36	-0,43
Радошковичи	-0,12	0,1	-0,15	-1,35	0,75	0,4	-0,3	0,64
VII 1972	-0,07	0,1	0,9	-0,52	-0,27	0,2	-0,43	0,08
	-0,15	-1,35	0,78	0,4	-0,3	0,65	-0,13	0,1
	-0,11	-0,38	0,51	-0,49	0,06	0,42	-0,29	0,27
Минск	0,4	-0,95	1,6	-2,87	1,3	0,5	-0,3	0,32
VII 1975	0,63	-1,06	1,91	-0,87	-0,33	0,2	-0,22	-0,26
	1,6	-2,87	1,3	0,5	-0,3	0,33	0,4	-0,94
	0,74	-1,63	1,6	-1,08	0,22	0,34	-0,04	-0,29
Радошковичи	1,05	-1,6	1,9	-3,3	1,65	0,4	-0,2	0,11
VII 1975	1,07	-1,26	2,2	-1,1	-0,26	-0,09	-0,07	-0,69
	1,9	-3,3	1,65	0,4	-0,2	0,2	1,05	-1,6
	1,34	-2,05	1,92	-1,33	0,4	0,17	0,26	-0,73
Минск	-0,1	-0,58	0,15	-1,4	0,2	0,88	-0,80	0,93
VII 1979	0,4	-0,56	0,81	0,15	-0,58	-0,53	0,65	0,05
	0,85	-1,42	0,23	0,87	0,80	0,32	-0,08	-0,58
	0,38	-0,85	0,4	-0,23	0,14	0,78	-0,19	0,13

В соответствии с (1) для всех трех случаев выбора сроков была проведена интерполяция средних месячных значений температуры воздуха, температуры точки росы, упругости водяного пара, дефицита упругости и относительной влажности для станций Минск и Радошковичи за апрель, июль и январь 1972, 1975 и 1979 г. для каждого из восьми сроков.

В табл. 1 приведены разности между интерполированными и фактически наблюдаемыми значениями невязки интерполяции температуры воздуха для каждого из сроков. В первой строке (δ_1) приведены невязки для первого варианта выбора сроков интерполяции (один до и три после срока), во второй (δ_2) — для второго и в третьей (δ_3) — для третьего варианта; в четвертой строке (δ) приведены средние значения невязки из всех трех вариантов.

Как видно из таблицы, второй вариант выбора сроков (два до срока интерполяции и два после) даже для зимних условий при сравнительно небольшом суточном ходе далеко не всегда дает наименьшую невязку. Наилучшие результаты получаются, если интерполяция выполнена по всем трем вариантам выбора сроков и из них взято среднее значение. При этом невязка не превышает $0,6^\circ\text{C}$ в 81 % всех случаев. В январе невязка $0,6^\circ\text{C}$ не превысила в 91 % всех случаев, в апреле — в 100 %, в июле — в 68 % случаев.

Большие невязки в июле приходятся на срок 06 ч, когда наблюдается минимум температуры воздуха, а также на сроки, ближайšie к 06 ч; это связано с тем, что значение за срок 06 ч входит в расчетные данные для них.

Поскольку при расчете использовались непроконтролированные данные, некоторые завышенные невязки можно объяснить наличием неточных данных, что сказывается не только на невязке в восстанавливаемый срок, но и на невязке при восстановлении ближайших сроков. Так, в табл. 2 приведены расчеты невязок для ст. Радошковичи за июль 1972 г. при значении температуры воздуха, заниженном на 1°C (1-й вариант) в срок 03 ч, и при

Таблица 2

Станция	Сроки							
	0	03	06	09	12	15	18	21
Радошковичи (с ошибкой)	-0,14	1,1	1,65	-0,34	0,45	0,4	-0,3	0,64
	-0,7	1,1	0,23	-0,35	-0,27	0,2	-0,43	0,25
	-1,6	-0,34	0,53	0,4	-0,3	0,65	-0,4	1,1
	-0,9	0,62	0,8	-0,1	-0,04	0,42	-0,38	0,66
Радошковичи	-0,12	0,1	-0,15	-1,35	0,75	0,4	-0,3	0,64
	-0,07	0,1	0,9	-0,52	-0,27	0,2	-0,43	0,08
	-0,15	-1,35	0,78	0,4	-0,3	0,65	-0,13	0,1
	-0,11	-0,38	0,51	-0,49	0,06	0,42	-0,29	0,27

Таблица 3

Восстанавливаемый элемент	Элемент	Сроки									
		0	03	06	09	12	15	18	21		
Температура точки росы	Упругость	0,2	-0,37	0,65	-0,64	0,26	-0,11	0,08	-0,04		
	Относительная влажность	0,3	-0,2	0,8	-0,5	0,5	0,2	0,2	0,2		
	Дефицит	-0,3	0,6	-0,2	-0,1	1,0	-0,3	0,9	0,3		
		-0,2	0,6	-0,1	-0,3	1,0	-0,7	1,1	-0,2		
Упругость водяного пара	Температура точки росы	0,07	-0,27	0,49	-0,49	0,21	0,01	-0,06	0,02		
	Относительная влажность	0,0	-0,4	0,4	-0,6	0,1	-0,2	-0,2	-0,1		
	Дефицит	-0,4	0,4	-0,3	-0,2	0,6	-0,4	0,5	0,1		
		-0,3	0,4	-0,2	-0,4	0,6	-1,1	0,6	-0,3		
Относительная влажность	Температура точки росы	-2,67	4,17	-2,1	-0,5	2,9	-3,96	1,9	0,27		
	Относительная влажность	0,0	-2	3	-3	0	-3	-2	-1		
	Дефицит	1,0	-1	4	-3	1	-2	-2	-1		
		-2,0	4	-1	-2	3	-7	2	-2		
Дефицит упругости водяного пара	Температура точки росы	0,2	-0,57	0,13	0,64	-0,73	0,97	-0,67	0,34		
	Относительная влажность	-0,1	0,3	-0,5	0,5	-0,1	0,2	0,1	0,1		
	Дефицит	-0,2	0,1	-0,6	0,4	-0,3	-0,1	0,0	0,0		
		0,3	-0,6	0,2	0,1	-0,7	0,3	-0,6	-0,1		

правильных значениях. Как видно, после исправления ошибки все значения средних невязок уложились в допуск.

По формуле (1) были также рассчитаны характеристики влажности (температура точки росы, упругость водяного пара, относительная влажность и дефицит упругости водяного пара) по ст. Минск за июль 1979 г. Средние невязки интерполяции даны в первой строке для каждой характеристики в табл. 3. Для сравнения в таблицу помещены невязки для этих же характеристик, найденных по психрометрическим таблицам по температуре воздуха и по элементу, восстановленному по формуле (1). Элемент, по которому находилась данная характеристика, указан во второй графе.

Как видно из таблицы, невязки будут меньше, а значит, и точнее восстановление, если по формуле (1) рассчитывать значения температуры точки росы или упругости водяного пара и, используя их, по таблицам находить остальные характеристики.

При межстанционном контроле средних месячных значений следует уделить особое внимание восстановленным данным.

Если при контроле метеорологического элемента невязка интерполяции превысит допуск браковки, а у элемента дан признак, что он восстановлен, то его надо браковать и вместо среднего месячного значения оставлять пропуск.

Таким образом, предложенным методом можно восстанавливать средние месячные значения температуры воздуха и характеристики влажности. При восстановлении срока с минимальной температурой в летние месяцы следует дополнительно привлекать данные близлежащих станций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методические основы автоматизированной системы метеорологических наблюдений/Под ред. Д. П. Беспалова.—Л.: Гидрометеоиздат, 1971.—118 с.

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ СУТОЧНОГО ХОДА СРЕДНЕЙ МЕСЯЧНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ МЕТОДОМ ВРЕМЕННОЙ ИНТЕРПОЛЯЦИИ

Временная интерполяция неоднократно предлагалась для целей контроля срочных значений метеорологических элементов [1, 2, 3, 5]. При этом значение метеорологического элемента (или его отклонения от нормы для рассматриваемого элемента) сравнивалось со значением, полученным в результате интерполяции, а по полученной невязке судили о достоверности контролируемых значений.

Вообще говоря, чтобы выбраковывать неверные значения метеорологических элементов с достаточной надежностью, интерполяционные формулы должны удовлетворять двум до некоторой степени противоречивым требованиям. Во-первых, они должны обладать высокой точностью интерполяции наблюдаемых значений метеозлементов и, во-вторых, высокой чувствительностью к ошибкам в исходных данных. Таким образом, невязки интерполяции должны быть малы при интерполяции правильных значений и достаточно велики, когда в исходной информации имеются ошибки.

Как правило, формулы, предлагаемые разными авторами [1, 2, 3, 5], при использовании для интерполяции по срокам в отсутствие норм одновременно двум этим требованиям не удовлетворяют.

Все вышесказанное относится к случаю интерполяции с помощью полиномов Лагранжа [5]. В частности, как было показано в работе [2], при использовании формул [5] для интерполяции средних месячных значений температуры точность интерполяции неодинакова для разных сроков наблюдений и колеблется в значительных пределах в зависимости от амплитуды суточного хода. В отдельные сроки наблюдения ошибки интерполяции могут достигать $1,5^{\circ}\text{C}$.

В работе [3] приводится формула тригонометрической интерполяции, обеспечивающая высокую точность,— максимальная ошибка интерполяции средних месячных значений температуры

воздуха по восьми срокам для ст. Ленинград, ГМО не превышает в июле $0,17^{\circ}\text{C}$. Однако указанная формула совершенно непригодна для выявления ошибок в исходной информации. Предположим, что в один из основных сроков наблюдений, например в срок $\tau=1$ ч, информация ошибочна, т. е. $f_1=f_1^{\text{ист}}+\delta$, где δ — значение ошибки, а f_i — значение метеоэлемента в срок наблюдения i . Тогда, используя формулу тригонометрической интерполяции по данным за восемь основных сроков, приведенную в работе [3], получим

$$f_t = F_t^{\text{ист}} + \delta \left\{ \frac{1}{8} + \frac{1}{4} \cos \frac{\pi}{12} (t-1) + \frac{1}{4} \cos \frac{\pi}{6} (t-1) + \frac{1}{4} \cos \frac{\pi}{4} (t-1) + \frac{1}{8} \cos \frac{\pi}{3} (t-1) \right\}, \quad (1)$$

где $F_t^{\text{ист}}$ — значение метеоэлемента в срок $\tau=t$, полученное при интерполяции истинных значений. Полагая в (1) t равным основным срокам наблюдения, получим $f_1=F_1^{\text{ист}}+\delta$, $f_i=f_i^{\text{ист}}$ ($i \neq 1$).

Итак, при любом значении ошибки δ в исходной информации невязки интерполяции будут такими же, как если бы интерполировалось истинное значение f_1 , т. е. предложенная в [3] формула не выявляет ошибок в исходной информации.

Интерполяционные формулы, приведенные в работе [2], дают удовлетворительную точность интерполяции срочных средних месячных значений температуры (максимальная невязка меньше $0,5^{\circ}\text{C}$), но удовлетворительную чувствительность к ошибкам в исходной информации можно получить, используя указанные формулы, только при соответствующем выборе участков кривой суточного хода для интерполяции в каждом конкретном случае ($\Delta_{\text{макс}} \leq \leq$ точность интерполяции $\pm (0,1 \dots 0,5)\delta$, где $\Delta_{\text{макс}}$ — максимальная невязка интерполяции, δ — максимальное значение ошибки в исходной информации).

Указанная проблема потеряет свою актуальность с появлением устойчивых средних месячных значений элементов по срокам, т. е. при получении достаточно длинных рядов восьмисрочных наблюдений. Известно, что амплитуда колебаний отклонений срочных значений от нормы меньше, чем амплитуда колебаний самих значений. Это обстоятельство приводит к тому, что при интерполяции отклонений от нормы точность интерполяционных формул заметно возрастает. Вот почему при интерполяции отклонений самые простые интерполяционные формулы обладают необходимой для практических целей точностью. Согласно работе [3], даже применение такой простейшей интерполяции, как линейная, дает достаточную точность интерполяции отклонений средних месячных значений температуры в срок и относительной влажности. Средняя погрешность интерполяции на станциях Ленинград, ГМО и Воейково составляет $0,07 \dots 0,38^{\circ}\text{C}$ для температуры и $0,5 \dots 2\%$ для относительной влажности. Эта же формула пригодна и для восстанов-

ления срочных данных, если речь идет о пропуске одного срока наблюдения.

На практике нередко возникает необходимость восстановления наблюдаемых значений за несколько сроков подряд. Все рассмотренные выше формулы при восстановлении срочной информации такой возможности не дают, так как они, как правило, хорошо аппроксимируют только часть кривой суточного хода в окрестности ближайших к восстанавливаемому срокам наблюдений. При отсутствии информации за несколько сроков наблюдений одновременно необходимо подбирать формулы, с помощью которых можно аппроксимировать с хорошей точностью всю кривую суточного хода сразу, используя данные известной части сроков наблюдений.

Это соображение было принято во внимание при выборе метода интерполяции в следующей задаче. Кривая суточного хода отклонений значений средней месячной температуры в срок от десятилетней средней аппроксимировалась параболой третьего порядка:

$$\Delta T(\tau) = A\tau^3 + B\tau^2 + C\tau + D, \quad (2)$$

с помощью метода наименьших квадратов. Здесь $\Delta T(\tau)$ — отклонение температуры в срок наблюдения τ ; A, B, C, D — независимые коэффициенты, определяемые методом наименьших квадратов.

В качестве исходного материала были взяты данные срочных наблюдений средней месячной температуры за июль 1967—1979 гг. для шести станций Северо-Западного УГКС, имеющих различные микроклиматические особенности. В основном это были так называемые «краевые» станции, расположенные обычно на границе области пространственной интерполяции, когда влияющие станции удается подобрать только с одной стороны от контролируемой. Выбор температуры воздуха для расчетов объясняется тем, что она имеет четко выраженный суточный ход с достаточно большой по сравнению с остальными основными метеорологическими элементами амплитудой, а погрешность временной интерполяции, как правило, растет с ростом амплитуды суточного хода интерполируемого элемента [1]. Согласно исследованиям Е. С. Рубинштейн [4], чтобы получить устойчивую норму для средней месячной температуры с точностью до $0,5^\circ\text{C}$, необходим период осреднения, равный 40... 50 годам. Для срочных данных этот период увеличивается. С учетом возможной связности рядов наблюдений период осреднения может возрасти до 80 лет. Ввиду того, что рядов восьмисрочных наблюдений необходимой длительности не существует, для рассматриваемой задачи в качестве климатологической нормы использовались средние за имеющийся период наблюдений.

В табл. 1 приводятся средние квадратические значения невязок интерполяции по восьми срокам наблюдения для каждой станции. (Осреднение проводилось за 12 лет.) Из таблицы видно, что

кривая суточного хода аппроксимируется достаточно точно (максимальное значение невязки не превосходит 0,28 °С).

Таблица 1

Средние квадратические значения невязок аппроксимации (°С) по восьми срокам наблюдений (1-я строка) и при интерполяции с одним пропущенным сроком (2-я строка)

Станция	Срок, ч							
	00	03	06	09	12	15	18	21
Любань	0,09	0,13	0,27	0,28	0,19	0,16	0,24	0,12
	0,22	0,21	0,46	0,41	0,28	0,27	0,38	0,30
Воейково	0,08	0,15	0,19	0,19	0,17	0,12	0,20	0,09
	0,25	0,24	0,32	0,28	0,25	0,21	0,32	0,32
Ломоносов	0,06	0,13	0,13	0,15	0,17	0,19	0,08	0,04
	0,19	0,21	0,23	0,22	0,25	0,32	0,12	0,20
Озерки	0,09	0,19	0,16	0,22	0,16	0,13	0,19	0,08
	0,35	0,31	0,28	0,32	0,24	0,22	0,30	0,25
Мощный	0,07	0,14	0,09	0,16	0,17	0,14	0,09	0,05
	0,18	0,23	0,16	0,24	0,25	0,24	0,14	0,12
Выборг	0,05	0,10	0,18	0,10	0,19	0,12	0,18	0,08
	0,15	0,17	0,30	0,15	0,27	0,21	0,30	0,29

Далее была сделана попытка восстановления кривой суточного хода при различных вариантах пропуска сроков наблюдения. Средняя квадратическая невязка по каждому поочередно исключаемому сроку приводится в табл. 1. Результаты расчетов при одновременном пропуске сроков 6, 9, 12 ч) и сроков 6, 9, 12, 15 ч даны в табл. 2.

Выбор пропускаемых сроков на кривой суточного хода соответствует участкам наибольшего изменения температуры от срока к сроку. Как показывают данные табл. 1 и 2, точность восстановления на приморских станциях Ломоносов, Озерки, Мощный, Выборг достаточна для контроля и восстановления информации ($\Delta_{\text{макс}} = 0,52^\circ\text{C}$ для четырех пропущенных сроков, $\Delta_{\text{макс}} = 0,47^\circ\text{C}$ для трех пропущенных сроков наблюдения). Для станций Любань и Воейково точность восстановления хуже ($\Delta_{\text{макс}} = 0,62^\circ\text{C}$ для четырех пропущенных сроков, $\Delta_{\text{макс}} = 0,51^\circ\text{C}$ для трех пропущенных сроков). Это объясняется тем, что для станций, расположенных в глубине континента, дисперсия срочной средней месячной температуры от года к году больше, чем для приморских станций. Но эти станции можно контролировать методом пространственной интерполяции.

Таким образом, восстановление кривой суточного хода может быть проведено достаточно успешно, если число пропусков не превышает трех подряд. При одновременном пропуске четырех сроков наблюдения подряд возможность восстановления с доста-

Таблица 2

Средние квадратические значения невязок (°С) при трех (1-я строка) и четырех (2-я строка) пропущенных сроках наблюдений

Станция	Срок, ч							
	00	03	06	09	12	15	18	21
Любань	0,02	0,04	0,28	0,51	0,41	0,12	0,17	0,06
	0,00	0,00	0,25	0,62	0,61	0,39	0,00	0,00
Воейково	0,02	0,04	0,32	0,39	0,31	0,12	0,15	0,06
	0,00	0,00	0,30	0,49	0,48	0,36	0,00	0,00
Ломоносов	0,07	0,10	0,34	0,36	0,22	0,06	0,07	0,04
	0,00	0,00	0,23	0,32	0,27	0,20	0,00	0,00
Озерки	0,02	0,04	0,36	0,47	0,24	0,12	0,16	0,06
	0,00	0,00	0,37	0,52	0,45	0,37	0,00	0,00
Мощный	0,01	0,02	0,25	0,36	0,31	0,06	0,08	0,03
	0,00	0,00	0,26	0,38	0,31	0,20	0,00	0,00
Выборг	0,02	0,04	0,28	0,19	0,30	0,11	0,14	0,05
	0,00	0,00	0,26	0,29	0,44	0,34	0,00	0,00

точной точностью определяется микроклиматическими особенностями станции. Точность восстановления срочных данных зависит от положения восстанавливаемого срока на кривой суточного хода. Максимальные ошибки восстановления характерны для сроков 06 и 09 ч.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беспалов Д. П., Светлова Т. П. О точности представления суточного хода метеорологических элементов по срочным данным.— Труды ГГО, 1971, вып. 260, с. 124—128.
2. Завьялова А. В., Светлова Т. П. Об одном способе контроля и восстановления метеорологической информации по срокам.— Труды ГГО, 1978, вып. 416, с. 15—19.
3. Каган Р. Л., Дроздовская П. П. Об интерполяции метеорологических элементов во времени.— Труды ГГО, 1966, вып. 194, с. 3—10.
4. Рубинштейн Е. С. Однородность метеорологических рядов во времени и пространстве в связи с исследованием изменения климата.— Л.: Гидрометеоздат, 1979.— 80 с.
5. Чубенко М. А. Исследование ошибок временной интерполяции основных метеорологических элементов.— Труды Новосибирского регионального метеорологического центра, 1969, вып. 2, с. 20—27.

Т. В. Ашкинази, Э. Г. Богданова

СРАВНЕНИЕ ВИЗУАЛЬНОГО И ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ И ИНТЕНСИВНОСТИ ДОЖДЕЙ НА МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ СТАНЦИЯХ

Стандартным прибором для определения интенсивности дождей на сети метеорологических станций СССР служит плювиограф. Кроме того, плювиограф является пока единственным прибором, фиксирующим продолжительность дождей. И хотя результаты регистрации продолжительности в настоящее время не обобщаются в стандартной режимной информации, потребность в них существует. В частности, все расчеты распределений продолжительности осадков по их интенсивности ведутся на основе обработки плювиографических данных, так как результаты визуальных наблюдений за продолжительностью дождей для этой цели непригодны. В то же время традиционные режимные характеристики продолжительности и интенсивности дождей — средние многолетние месячные и годовые значения — получаются по данным визуальных наблюдений за продолжительностью и результатам осадкомерных измерений.

Известно и вполне объяснимо [7], что существуют систематические различия между результатами визуального и инструментального определения продолжительности и интенсивности дождей. Погрешности плювиографа подробно исследовались уже в ряде работ [3, 6]. Однако до сих пор нет количественной характеристики этих различий, которую можно было бы использовать для перехода от инструментальных данных к визуальным или наоборот. Исследование соотношения между визуальными и инструментальными определяемыми продолжительностью и интенсивностью дождей и является целью данной работы.

Материалом для исследования послужили данные 20 станций, расположенных на территории СССР в условиях максимально различного режима выпадения дождей — от наветренных морских побережий Кольского полуострова, Камчатки и Кавказа до засушливых внуконтинентальных районов Казахстана.

Сопоставлялись месячные значения продолжительности дождей, зафиксированные pluviографом ($\tau_{\text{п}}$) (из таблиц ТМ-14) и определенные наблюдателем визуально ($\tau_{\text{в}}$) (из раздела «Продолжительность атмосферных явлений» таблицы ТМ-1). Кроме того, сравнивались значения средней месячной интенсивности жидких осадков, полученные по данным pluviографа ($I_{\text{п}}$) и по визуальным данным ($I_{\text{в}}$). Они рассчитывались из следующих соотношений:

$$I_{\text{п}} = \frac{x_{\text{п}}}{\tau_{\text{п}}}, \quad I_{\text{в}} = \frac{x_{\text{ос}}}{\tau_{\text{в}}}, \quad (1)$$

где $x_{\text{п}}$ — месячное количество осадков по pluviографу, подсчитанное по таблице ТМ-14; $x_{\text{ос}}$ — количество осадков за тот же месяц, измеренное стандартным осадкомером (таблица ТМ-1).

Выбор периода сравнения с 1960 по 1965 г. был обусловлен тем, что в это время в таблицу ТМ-14 еще включались данные обо всех дождях, а не только о сильных, как это делается при современной обработке записей pluviографа. Кроме того, с 1960 г. в ТМ-1 появились сведения о месячной продолжительности осадков, которые раньше в месячных выводах отсутствовали. Таким образом, возникла возможность сравнить величины $\tau_{\text{п}}$ и $\tau_{\text{в}}$, не прибегая к слишком громоздким подсчетам продолжительности осадков из данных ежедневных наблюдений.

За каждый месяц сезона жидких осадков (от момента установки до снятия pluviографа) рассчитывались средние за указанный период значения $\bar{\tau}_{\text{п}}$, $\bar{\tau}_{\text{в}}$, $\bar{I}_{\text{п}}$ и $\bar{I}_{\text{в}}$, вычисленные по формулам

$$\bar{\tau}_{\text{п}} = \frac{\sum \tau_{\text{п}}}{n}; \quad \bar{\tau}_{\text{в}} = \frac{\sum \tau_{\text{в}}}{n}; \quad (2)$$

$$\bar{I}_{\text{п}} = \frac{\sum x_{\text{п}}}{\sum \tau_{\text{п}}}; \quad \bar{I}_{\text{в}} = \frac{\sum x_{\text{ос}}}{\sum \tau_{\text{в}}}. \quad (3)$$

Здесь величина n (число лет осреднения) не всегда равна 6 (практически от 2 до 6), так как часть данных pluviографа приходилось отбраковывать из-за неисправностей в работе прибора или недостатков в его эксплуатации. В итоге в обработку вошло 470 месяцев для всех 20 станций. После осреднения это дало соответственно по 108 значений $\bar{\tau}_{\text{п}}$, $\bar{\tau}_{\text{в}}$, $\bar{I}_{\text{п}}$, $\bar{I}_{\text{в}}$, по которым построены приводимые ниже графики (рис. 1 и 2).

Поскольку известно, что pluviограф с наибольшей погрешностью отмечает длительность слабых дождей, естественно было обследовать зависимость отношения $\bar{\tau}_{\text{п}}/\bar{\tau}_{\text{в}} = m$ именно от интенсивности осадков. На рис. 1 представлена эта зависимость. На абсциссе графика — величина $\bar{I}_{\text{в}}$, легко определяемая для любой метеостанции и за любой период (в том числе и за многолетний — по данным Справочника по климату СССР). Средняя кривая проведена по центрам тяжести экспериментальных точек в интервалах

значений \bar{I}_B , равных 0,2 мм/ч. Коэффициент корреляции и среднее квадратическое отклонение, характеризующие тесноту и точность полученной зависимости, составляют соответственно $r_{m, \lg I_B} = 0,58$ и $\sigma_m = 0,14$.

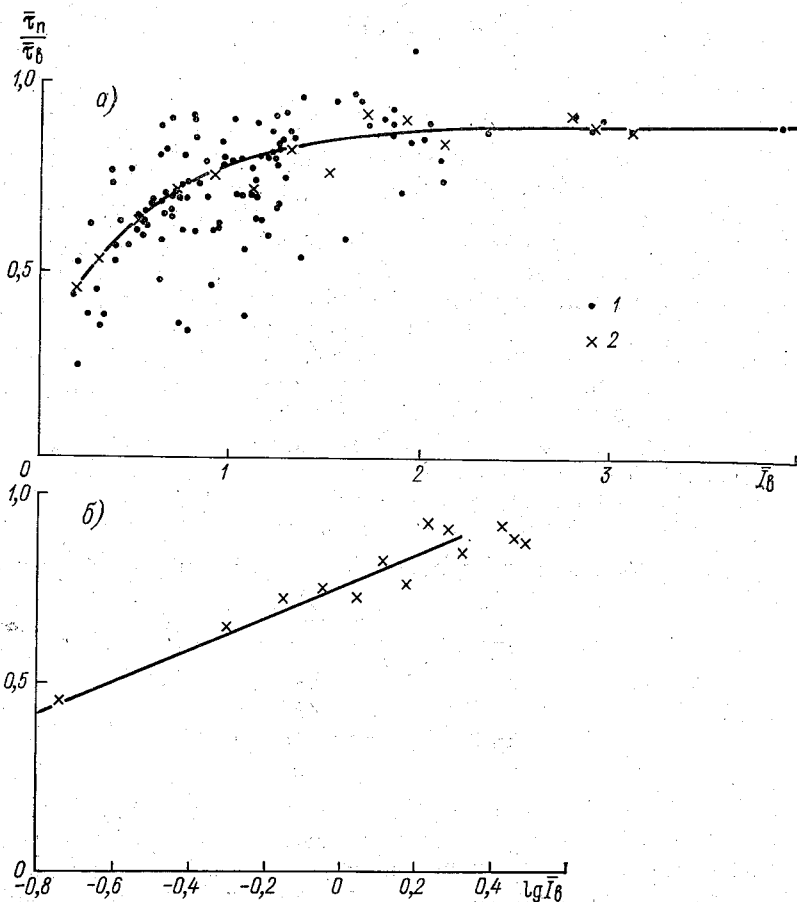


Рис. 1. Зависимость соотношения инструментально и визуально определяемой продолжительности дождей $\frac{\bar{\tau}_П}{\bar{\tau}_В}$ от средней месячной интенсивности осадков \bar{I}_B мм/ч.

a — в прямоугольных координатах; *б* — в полулогарифмических координатах; 1 — данные за отдельные месяцы, 2 — средние взвешенные значения.

Согласно рис. 1 формула, связывающая величины $\bar{\tau}_П$ и $\bar{\tau}_В$, имеет вид

$$\bar{\tau}_П = \bar{\tau}_В (0,75 + 0,41 \lg \bar{I}_B). \quad (4)$$

Эта формула хорошо описывает найденную зависимость при $\bar{I}_B = 2$ мм/ч, а при значениях $\bar{I}_B > 2$ мм/ч различие между величинами $\bar{\tau}_H$ и $\bar{\tau}_B$ почти не меняется с ростом \bar{I}_B и не превышает 10 % величины $\bar{\tau}_B$. Если учесть при этом, что на большей части территории СССР в большую часть сезона жидких осадков средние месячные значения интенсивности составляют 0,5... 1,5 мм/ч, то выясняется, что pluviограф недоучитывает в условиях СССР от 15 до 35 % продолжительности жидких осадков по сравнению с визуальным способом ее определения.

Вполне очевидно, что если величины τ_H и τ_B различаются между собой, то должны отличаться друг от друга и величины I_H и I_B . Но в соответствии с формулами (1) разница между I_H и I_B обусловлена не только различиями в значениях продолжительности. Как известно [6], количества осадков x_H и x_{0c} тоже не вполне совпадают по причине различий в инструментальных погрешностях осадкомера и pluviографа. Поэтому связь между I_H и I_B не могла быть получена из формулы (4). Для ее определения следовало непосредственно сопоставить значения \bar{I}_H и \bar{I}_B . Результаты этого сопоставления показаны на рис. 2. Представленный график демонстрирует систематическое превышение значений интенсивности, определенных по pluviографу, над значениями, полученными по данным визуальных наблюдений и осадкомерных измерений. Связь между \bar{I}_H и \bar{I}_B оказалась линейной. Описывающая ее формула имеет вид

$$\bar{I}_H = 0,25 + \bar{I}_B. \quad (5)$$

Коэффициент корреляции $r_{I_H, I_B} = 0,93$, среднее квадратическое отклонение значений \bar{I}_H от средней линии связи $\sigma_{I_H} = \pm 0,25$ мм/ч. Нужно заметить, что нами использован очень короткий период осреднения; с увеличением этого периода уже до 30 лет (длительность, принятая при расчете норм осадков) величина σ_{I_H} соответственно уменьшится примерно вдвое. Такая точность вполне удовлетворительна для большинства практических целей.

Таким образом, формулы (4) и (5) устанавливают количественную зависимость между значениями продолжительности и интенсивности дождей, определенными визуально и инструментально, а также дают возможность перехода от одних значений к другим с известной степенью точности.

Полученные результаты позволяют дать некоторые рекомендации как методического, так и режимного характера.

Во-первых, существенная разница между τ_H и τ_B говорит о необходимости считаться с этим при конструировании любого устройства, фиксирующего продолжительность осадков, для замены им визуальных наблюдений. Недостаточная чувствительность приборов к слабым дождям приводит к значительным потерям при подсчете общей продолжительности осадков. Следовательно, нужно

либо предусматривать фиксацию всех слабых дождей, либо наперед знать, что при переходе от визуальных к инструментальным измерениям продолжительности однородность климатических ря-

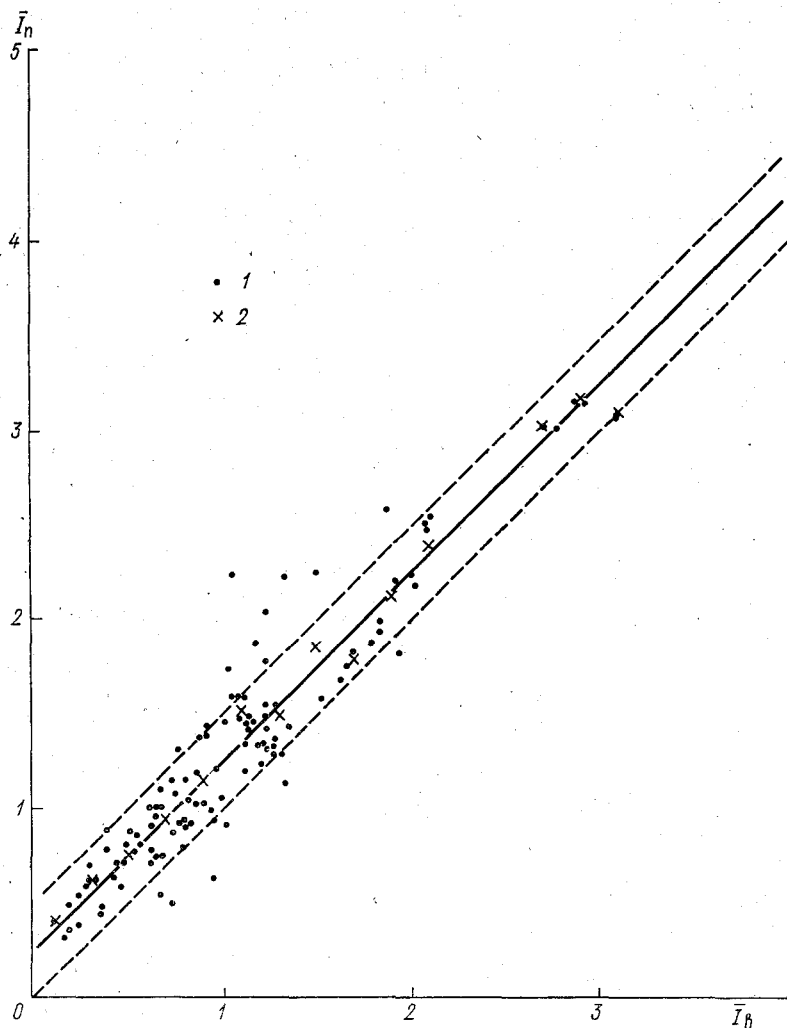


Рис. 2. Соотношение средней месячной интенсивности дождей, определяемой по pluвиографу (\bar{I}_n мм/ч) и по результатам визуальных наблюдений (\bar{I}_v мм/ч).

1 — данные за отдельные месяцы; 2 — средние взвешенные значения.

дов этой величины будет нарушена и потребуются их увязка с неизбежным при этом ухудшением точности результата.

Во-вторых, полученная при помощи (5) возможность перехода от I_v к I_n позволяет получать характеристики кривых внутриме-

сячного распределения количества и продолжительности жидких осадков по градациям их интенсивности практически для всего земного шара. До настоящего времени такие распределения строились посредством специальной трудоемкой обработки плевниографических данных лишь для пунктов установки плевниографов [1, 2]. В работе [4] обоснована возможность получения таких распределений в зависимости от средней месячной интенсивности $I_{\text{п}}$, определенной по данным плевниографа, и приведены расчетные графики. С помощью (5) эти графики теперь могут использоваться везде, где есть данные для расчета $I_{\text{в}}$, т. е. сведения о количестве осадков и их визуальной продолжительности. Количество осадков, как известно, измеряется осадкомерами везде, а способ косвенного расчета визуальной продолжительности осадков, вполне пригодный по точности для данной цели, предложен в работе [5].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев Г. А. О практическом использовании кривых распределения продолжительностей и слоев осадков по интенсивности их выпадения.— Труды ГГО, 1966, вып. 195, с. 113—119.
2. Алибегова Ж. Д. Структура полей жидких осадков за короткие интервалы времени.— Л.: Гидрометеиздат, 1975.— 134 с.
3. Богданова Э. Г., Горбунова И. Г., Макаров Ю. В. Погрешности определения интенсивности дождей с помощью стандартного плевниографа.— Труды ГГО, 1978, вып. 416, с. 20—35.
4. Богданова Э. Г. О расчете некоторых характеристик интенсивности дождей.— Метеорология и гидрология, 1979, № 2, с. 40—44.
5. Богданова Э. Г., Струзер Л. Р., Ашкинази Т. В. Продолжительность и интенсивность твердых осадков в Северной Америке.— В кн.: Материалы гляциологических исследований. Хроника, обсуждения. М., 1980, вып. 37, с. 80—84.
6. Горбунова И. Г., Боженко В. Г., Павлова Н. П. О систематических погрешностях стандартного плевниографа.— Труды ГГО, 1968, вып. 215, с. 125—134.
7. Лебедев А. Н. Продолжительность дождей на территории СССР.— Л.: Гидрометеиздат, 1964.— 510 с.

Д. П. Беспалов, Т. П. Светлова, А. Я. Смалькова

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ КОНТРОЛЯ РЕЖИМНОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ НЕОДНОРОДНЫХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ РЯДОВ

Режимной метеорологической информацией называют обычно совокупность обобщенных за месяц характеристик, издаваемых в виде ежемесячника и подлежащих занесению на долговременный носитель (архивации). Как справедливо отмечается в [1], качество этой исходной для дальнейшей климатологической обработки информации определяет возможности и характер всего процесса получения количественных климатических характеристик. Недостаточное внимание к однородности рядов по данным отдельных пунктов наблюдения может привести к ошибочным выводам при исследовании пространственной и временной изменчивости метеорологических элементов, колебаний и изменений климата и т. п.

Известно, что нарушение однородности рядов наблюдений может быть вызвано различными причинами, среди которых некоторые виды систематических ошибок определения элемента и прежде всего ошибки, возникающие из-за дефектов приборов и нарушений методики. Устранение неоднородности представляет сложнейшую проблему, так как точный учет условий, влияющих на метеорологический режим, и их изученность все еще оставляют желать лучшего.

Бытует представление, что массовая проверка метеорологических рядов на однородность должна выполняться на стадии формирования архива, а существующие методы проверки рядов на однородность не могут быть реализованы на ЭВМ из-за отсутствия объективных количественных критериев однородности.

Цель настоящей статьи — показать, что такое представление опровергается опытом автоматизированного контроля режимной метеорологической информации, проводимого в течение ряда лет в нескольких вычислительных центрах и в первую очередь в ВЦ Белорусского УГКС, где он внедрен ранее других УГКС, а результаты его анализируются наиболее правильно и полно.

Автоматизированный пространственный контроль является обязательным звеном системы сбора и обработки режимной метеорологической информации. Согласно действующим отраслевым руководящим методическим материалам по внутростанционному и пространственному контролю режимной метеорологической информации (ОРММ), он выполняется после формирования и выдачи обобщенных таблиц данных, прошедших внутростанционный (синтаксический и логический) контроль и исправленных по его результатам.

В соответствии с технологией обработки, обобщения и сдачи в Гидрометфонд информация станций и постов контролируется в виде ежемесячных пакетов данных, занесенных на технический носитель (перфоленту).

Состав метеорологической информации, поступающей в центры обработки для режимных обобщений, регламентируется объемом месячных пакетов данных, определяемым программой наблюдений станций, т. е. включает в себя определенный набор параметров для каждого из 13 измеряемых подсистемой наземных метеорологических наблюдений (ПНМН) элементов. Из 83 параметров, наблюдаемых ПНМН, для 41 параметра в процессе получения месячной таблицы подсчитываются декадные и месячные выводы, которые представляют собой средние и экстремальные значения, суммы, число случаев и дней с повторяемостью явления и явлением и др.

Достоверность режимной метеорологической информации, используемой для получения климатических характеристик и выдаваемой потребителям, зависит в первую очередь от наличия в ней систематических ошибок, поскольку они более существенно снижают качество обобщенных за некоторый период данных. Для выявления этого вида ошибок осуществляется контроль пространственной согласованности данных, основанный на том, что систематические ошибки имеют место на отдельных станциях, и станции с ошибочными данными расположены случайно относительно станций с достоверными данными. Такой подход аналогичен методу «группового эталона», применяемому в метрологии, и, как будет показано ниже, гарантирует высокий уровень достоверности информации, включаемой в Гидрометфонд.

Как было показано ранее [1, 4], неудовлетворительная работа приборов, нарушения требований их установки и методики наблюдений за различными элементами приводят к значительным расхождениям фактических и интерполированных по окружающим станциям значений элементов на контролируемой станции.

Последнее обстоятельство позволяет осуществлять постоянный надзор за сохранностью метрологических характеристик действующими приборами в период между плановыми инспекциями станций и в межповерочные интервалы, установленные для каждого типа приборов.

Довольно успешно межстанционный контроль обнаруживает и ошибки, оставшиеся невыявленными на первом этапе контроля

(внутристанционном), призванном исключать случайные ошибки и грубые промахи. В качестве примера можно привести ст. Столбцы, где в ноябре 1975 г. расхождение фактических и интерполированных значений (невязка) разности средних максимальной и минимальной температур воздуха оказалось равным $2,7^{\circ}\text{C}$ (при допустимом значении $0,5^{\circ}\text{C}$), а невязка разности абсолютных ее значений за месяц $6,7^{\circ}\text{C}$. Дополнительный анализ материалов наблюдений этой станции с привлечением данных книжки КМ-1 подтвердил полученные на втором этапе контроля невязки и показал, что при выборе экстремумов температуры воздуха по ежедневным наблюдениям была допущена ошибка, которая исказила и месячные выводы для рассматриваемой станции. Соответствующие срочные данные были исправлены, а месячные выводы пересчитаны.

Переходя к обсуждению других материалов, имеющихся в нашем распоряжении, напомним только, что на протяжении последнего десятилетия на сети станций БССР осуществлялось экспериментальное опробование новых методов и технических средств наблюдений, в частности была создана сеть из 43 полуавтоматических станций (М-106). Контроль на ЭВМ данных каждого наблюдения, который так детально ранее никогда не проводился, позволил обнаружить ряд характерных ошибок этих станций [2]. Анализ результатов контроля и других вспомогательных материалов (барометрического журнала, технических дел станций и т. д.) показал, что все имевшие место случаи продолжительного выхода датчиков за пределы допустимых расхождений с обычными наблюдениями и их возвращение к стабильному состоянию хорошо прослеживаются по изменению значений полученных в результате контроля невязок.

Наиболее часто нестабильность показаний автоматических станций наблюдалась для таких основных параметров, как температура воздуха и температура точки росы. Так, например, в июне 1976 г. невязка температуры воздуха на ст. Барановичи оказалась равной $0,84^{\circ}\text{C}$. Одновременно превысила допустимые значения и невязка относительной влажности — 4 %. Контрольные сравнения значений температуры воздуха и относительной влажности, зарегистрированных станцией М-106, с данными обычных наблюдений выявили плохую работу датчика температуры воздуха автоматической станции. Средние значения температуры воздуха и относительной влажности за месяц были пересчитаны по данным обычных наблюдений. Плохая работа датчиков наблюдалась и на ст. Лельчицы и Житковичи в 1973 г.

Приведенные случаи представляют особый интерес. Появление невязок, превысивших допустимое значение за счет погрешности измерительного прибора, — явление чрезвычайно редкое в практике автоматизированного контроля режимных метеорологических характеристик, что давало повод говорить о неэффективности методики применительно к температуре воздуха. В действительности, как следует из рассмотрения технических дел и других докумен-

тов ряда УГКС (Белорусского, Северо-Западного, Омского), за последние 10... 15 лет на сети не встречалось случаев эксплуатации неисправных термометров продолжительное время, а следовательно, и появления систематических ошибок по этому элементу.

Наиболее значительное количество невязок, превысивших допустимое значение, вызвано плохой работой датчика точки росы. Это обстоятельство повлекло за собой необходимость многочисленных пересчетов средних за месяц по данным обычных наблюдений (Брест, Брагин, Гомель, Докшицы, Житковичи, Костюковичи, Октябрь); в отдельных случаях даже за два последующих месяца. Наиболее характерной в этом смысле можно считать ст. Ивацевичи, где в марте—октябре 1974 г. невязки интерполяции относительной влажности составили соответственно 10 и 13 %.

Плохая работа датчика ветра станции М-106 была выявлена с помощью пространственного контроля на ст. Вилейка в ноябре 1975 г. (невязка 1,5 м/с) и на ст. Житковичи в ноябре 1974 г. (невязка 1,7 м/с). После пересчета средней месячной скорости ветра по данным обычных наблюдений последняя уменьшилась на 1,1 м/с. Были обнаружены и отдельные случаи, когда неудовлетворительно работал датчик давления. В качестве примера приведем ст. Лельчицы, где в апреле 1974 г. невязка составила 1,3 гПа, и ст. Лепель, где в июне и июле 1976 г. невязки давления оказались равными 0,72 и 0,62 гПа соответственно.

Эффективность использования результатов контроля для выявления нарушений работы автоматических станций, в результате которого практически все случаи продолжительного выхода показаний датчиков М-106 за пределы допустимых расхождений своевременно обнаруживались (а их причины устранялись), дает основание говорить о возможности выявления неоднородности метеорологических рядов по изменению невязок интерполяции во времени.

Следует заметить, что в данном случае речь должна идти о климатологической однородности метеорологических рядов, возникающей под влиянием местных причин, таких, как перенос площадки, застройка, разрастание древесных насаждений, нарушения методики измерений, систематические ошибки наблюдателя или прибора, и сказывающейся на изменении климатических характеристик на одной станции.

Известно, что однородным считается ряд, характеристики которого меняются от года к году лишь в соответствии с естественной изменчивостью макропроцессов, оказывающих влияние на погоду и климат данного района.

Статистическая неоднородность возникает как следствие изменения климата на большой территории и предлагаемым методом обнаружена быть не может.

Признаком нарушения метеорологической однородности ряда является резкое изменение с какого-то момента невязки элемента для рассматриваемой станции по сравнению с предыдущим периодом или ее выход за пределы допустимых значений и дальней-

шее увеличение по абсолютной величине. Здесь, как и в случае стандартных климатологических методов выявления неоднородности ряда [3], заметное изменение невязки говорит о том, что начиная с момента возникновения причины неоднородности фиксировался другой уровень метеорологического элемента.

Показателен в этом отношении пример ст. Гродно, где продолжительное время измерение характеристик ветра производилось по прибору М-63, установленному на крыше здания аэропорта ($h=16$ м). Ранее наблюдения производились по флюгеру, установленному на площадке (высота мачты 12 м). Указанное обстоятельство привело к нарушению однородности ряда наблюдений и выразилось в резком увеличении скорости ветра по сравнению с соседними станциями и предыдущим периодом наблюдений на ст. Гродно. В табл. 1 для наглядности приводятся данные о скорости ветра на рассматриваемой станции и ближайших к ней.

Таблица 1

Средняя месячная скорость ветра
(м/с) по группе станций БССР

Станция	1975 г.		1976 г.	
	XII	I	II	III
Гродно	7,6	6,2	3,5	
Щучин	4,2	4,0	2,1	
Волковыск	4,3	3,5	1,8	
Лида	4,8	4,4	2,1	

Невязки интерполяции с момента установки прибора М-63 на крыше здания аэропорта до момента возвращения к измерениям на прежней высоте значительно превышают допустимое для скорости ветра значение 1 м/с. В частности, для декабря 1975 г. и января 1976 г. они равны соответственно 4,2 и 3,5 м/с. Выход невязок за пределы допу-

стимых значений свидетельствует о том, что соответствующая им часть ряда имеет другой уровень фиксируемого элемента и требует увязки с предыдущим периодом наблюдений скорости ветра.

Не представляет труда обнаружить неоднородность в ряду наблюдений за давлением на ст. Щучин, где имело место отвинчивание чашки у станционного барометра. Вызванное этим обстоятельством увеличение невязок, начавшееся в мае 1974 г., продолжалось по октябрь. Как следует из приведенных невязок интерполяции для этой станции, уменьшение последних до размеров, характерных для месяцев, предшествующих возникновению неисправности, произошло только в ноябре:

Месяц	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Невязка, гПа . . .	0,23	0,43	0,46	0,53	0,47	0,46	0,56	0,20	0,30

Как следует из технического дела станций, 15 октября 1974 г. посетивший станцию инспектор произвел довинчивание чашки, тем самым устранив причину нарушения ряда наблюдений на этой станции.

Нарушение однородности ряда может быть вызвано и переносом станции. Так, например, невязки среднего месячного дав-

ления на ст. Ивацевичи в августе 1973 г. превысила допустимое значение и составила 0,69 гПа, в сентябре она снова оказалась завышенной (0,74 гПа). Согласно журналу истории станции, 19 июля 1973 г. станция была перенесена на новое место, а высота ее в паспорте оставлена прежней, что и явилось причиной возникновения неоднородности.

Вообще говоря, любая погрешность, возникшая при измерениях, немедленно сказывается на значении невязки интерполяции. В этой связи показательно изменение невязок по давлению для ст. Славное в июле—декабре 1976 г.:

Месяц	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Невязка, гПа . . .	0,39	-2,08	1,47	1,48	1,59	1,79

Скачкообразное увеличение невязки интерполяции в августе и наличие повышенных значений невязки в последующие месяцы свидетельствуют о нарушении однородности ряда на ст. Славное в 1976 г. Возникновение неоднородности ряда, как можно выяснить из технического дела станции, связано с неисправностью барометра. Действительно, в связи с выходом из строя барометра наблюдения в августе на этой станции проводились по барографу — прибору, используемому на сети только для определения вида барической тенденции из-за наличия значительной инструментальной поправки наблюдения. В сентябре наблюдения проводились по новому барометру, однако имевшее место при замене барометра изменение его высоты не было занесено в паспорт станции. По этой причине невязки интерполяции хотя и несколько уменьшились по сравнению с августом месяца, в пределы допустимых значений не вернулись. Повышенные значения невязок для ст. Славное в августе—декабре 1976 г. свидетельствуют о наличии существенной неоднородности части ряда давления на ней.

Можно показать, что анализ невязок позволяет обнаруживать и нарушения однородности ряда, не связанные с неисправностью измерительных средств. Наиболее показателен в этом отношении пример ст. Полесская, где в течение ряда лет на летний период (с апреля по сентябрь) наблюдения переносятся на болотный массив, а в остальное время проводятся на так называемом суходоле. Указанное обстоятельство вызывает резкое увеличение невязок температуры воздуха в этот период, поскольку нарушается пространственная сравнимость данных рассматриваемой станции с данными других станций района. Для наглядности приведем невязки интерполяции средней месячной температуры воздуха на ст. Полесская в апреле—сентябре 1975 г.:

Месяц	IV	V	VI	VII	VIII	IX
Невязка, °С . . .	0,68	1,25	0,72	0,94	0,99	1,23

Для периода наблюдений на суходоле невязки интерполяции не превосходят максимально допустимого значения (0,5 °С), поэтому здесь мы их рассматривать не будем.

Представляют интерес и данные ст. Ганцевичи, где наблюдался наклон флюгера на северо-восток, из-за чего чувствительность его к малым скоростям ветра оказалась очень слабой. Невязки интерполяции с сентября 1973 г. по январь 1974 г. вышли за пределы допустимых значений и составили соответственно 1,6; 1,5; 1,7; 1,6; 1,5 м/с. Наличие группы повышенных значений невязок скорости ветра служит признаком нарушения однородности ряда на этой станции.

Можно привести и пример нарушения однородности ряда вследствие систематических ошибок наблюдателя. На ст. Докшицы в начале 1975 г. наблюдения проводились по неисправному психрометрическому термометру, что вызвало большие расхождения вычисленных значений относительной влажности с показаниями гигрометра. Вместо того чтобы выяснить причину этих расхождений, наблюдатели занимались подгонкой данных, при этом правильные показания гигрометра подгонялись под неверные данные, полученные по психрометру. При контроле результатов наблюдений на ЭВМ для этой станции невязки интерполяции относительной влажности составили 3,8, 6,6 и 4,0 %.

Можно привести и другие примеры нарушения однородности рядов вследствие систематических ошибок наблюдения или прибора. Следует, однако, заметить, что в настоящее время на подавляющем большинстве станций практически не наблюдается случаев продолжительного использования неисправных приборов и нарушения методики наблюдений. В первую очередь это относится ко всем видам термометров, поэтому можно ожидать, что нарушения однородности температурных рядов в ближайшем будущем будут возникать преимущественно за счет влияния местных причин (перенос метеорологической площадки, застройка, изменение защищенности) и антропогенных факторов. Обнаружить нарушения однородности, обусловленные такого рода факторами, по величине и динамике изменений невязок в принципе можно, однако для этого необходимо иметь достаточно большую выборку невязок. Между тем автоматизированный контроль режимной информации до сих пор не осуществлен в ряде регионов или проводится в течение непродолжительного времени.

Таким образом, как было показано выше, анализ результатов межстанционного контроля обеспечивает выявление нарушений однородности метеорологических рядов за счет систематических ошибок прибора или наблюдателя, а также за счет нарушений требований методики наблюдений и помогает исключить возможность попадания в архивы информации неоднородных данных.

Величина расхождений фактических и интерполированных значений элементов (невязок) позволяет судить о размере соответствующих поправок на неоднородность ряда, а изменение невязок во времени дает возможность установить длину недоброкачественной части ряда, не прибегая к более сложным и трудоемким методам, применяемым для этой цели.

Основное преимущество, которое мы получаем, используя результаты контроля для обнаружения неоднородности рядов, заключается в его оперативности, поскольку такой контроль проводится непосредственно после получения данных за истекший месяц.

Наконец, анализ невязок интерполяции позволяет не только уловить момент нарушения однородности ряда, но в подавляющем большинстве случаев оперативно устранить и причину появления неоднородных данных. Только разумное сочетание анализа результатов контроля режимной информации с традиционными приемами выявления и устранения климатологической неоднородности рядов позволит создать полноценные архивы режимных данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беспалов Д. П., Светлова Т. П. Использование результатов контроля метеорологической информации.— Труды ГГО, 1978, вып. 416, с. 3—10.
2. Гольберг М. А. Использование данных автоматизированных средств измерений для режимных обобщений.— В кн.: Разработка и эксплуатация автоматических метеорологических станций. Л., Гидрометеониздат, 1974, с. 154—163.
3. Кобышева Н. В., Наровлянский Г. Я. Климатологическая обработка метеорологической информации.— Л.: Гидрометеониздат, 1978.— 295 с.
4. Светлова Т. П. Анализ результатов контроля среднего месячного давления.— Труды ГГО, 1978, вып. 416, с. 11—19.

Э. Г. Богданова

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТАНДАРТНОЙ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РЕЖИМНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ И ИНТЕНСИВНОСТИ ОСАДКОВ

Современные исследования режима атмосферных осадков как научного, так и прикладного направлений все чаще требуют не только традиционных сведений об их количестве, но и разнообразных характеристик их продолжительности и интенсивности. Необходимость получения этих данных в малоизученных и труднодоступных районах (высокогорье, Мировой океан), а также в глобальном масштабе понуждает разрабатывать косвенные расчетные методы, базирующиеся на связи искомым характеристик с основными метеорологическими элементами, измеряемыми на сети метеорологических станций и широко представленными в справочной литературе.

К числу таких методов, предложенных в последние годы, относятся:

— расчет средней многолетней месячной и годовой продолжительности осадков по связи с числом дней с осадками и характеристиками температуры и влажности воздуха [8, 9 11];

— расчет месячной интенсивности осадков как отношения месячного количества осадков к их месячной продолжительности, полученной вышеупомянутым расчетным методом;

— расчет месячной интенсивности осадков по данным о температуре и влажности воздуха (для равнинных территорий) [6, 7];

— расчет характеристик внутримесячного распределения сумм и продолжительности дождей по градациям их интенсивности в зависимости от средней месячной интенсивности жидких осадков [9];

— расчет средней многолетней месячной и годовой доли и количества осадков разных видов (твердых, жидких и смешанных) по связи с температурными характеристиками [4, 5, 12, 13].

Практически этот перечень представляет собой комплекс взаимосвязанных расчетных методов, позволяющий на основе стан-

дартной информации о температуре и влажности воздуха, количестве осадков и числе дней с осадками разносторонне осветить режим продолжительности и интенсивности осадков, включая пространственную изменчивость и годовой ход их средних и вероятностных характеристик.

В данной работе представлены опыт и результат применения предложенного комплекса для расчета и картирования некоторых характеристик продолжительности и интенсивности осадков. Такой расчет имеет целью, с одной стороны, согласование и увязку отдельных методов и создание единой расчетной методики, а с другой — детализацию и уточнение этой методики в широком диапазоне физико-географических и климатических условий. Кроме того, впервые полученные карты выбранных характеристик уже сами по себе представляют интерес для климатологического осмысления.

Расчет и картирование произведены для территории Западной Европы и акватории Северной Атлантики. Выбор этого района обусловлен следующими соображениями:

— соседство территории СССР, где искомые характеристики определяются по данным непосредственных измерений, и зарубежных территорий, где применяются косвенные методы, позволяет по смыканию изолиний дополнительно проконтролировать достоверность и точность получаемых расчетных характеристик;

— большое ландшафтное и климатическое разнообразие выбранного района дает возможность проследить его отражение в изменчивости рассчитываемых величин;

— акватория Северной Атлантики — определенно наиболее изученная в метеорологическом отношении часть Мирового океана, где исходные данные, необходимые для расчетов, надежнее, чем в других его частях.

Предложенный комплекс расчетных методов позволяет получить достаточно широкий набор характеристик продолжительности и интенсивности осадков. Однако ограниченный объем статьи определяет возможность представления в ней лишь самых обобщающих характеристик: средней многолетней годовой продолжительности и интенсивности осадков и вклада дождей разной интенсивности в общую сумму и продолжительность осадков за весь период с жидкими осадками.

Средняя годовая продолжительность и интенсивность осадков

Карта средней годовой продолжительности и интенсивности осадков строилась лишь для территории Западной Европы, так как характеристики годовой продолжительности (так называемой повторяемости) и интенсивности осадков на акватории Северной Атлантики уже существуют: они получены в Главной геофизической обсерватории под руководством В. Я. Шаровой на основе методики, изложенной в монографии [17].

В соответствии с расчетной схемой [10] средняя многолетняя продолжительность осадков за год (τ_r ч) определяется как сумма месячных значений продолжительности осадков ($\tau_{\text{мес}}$ ч), которые вычисляются по данным о средней многолетней месячной температуре воздуха (t °С), относительной (r %) и абсолютной (e гПа) влажности воздуха и о числе дней с осадками за месяц (D). Расчетная формула имеет вид

$$\tau_{\text{мес}} = 0,01D^{1,5}e^2(100 - r)10^{\alpha + \beta t}, \quad (1)$$

где α и β — постоянные: $\alpha = -0,355$, $\beta = -0,0699$.

Исходными данными для расчетов послужили сведения о необходимых метеорологических параметрах из известных справочных изданий [15, 20, 21]. Температура воздуха представлена в них, как правило, в виде норм (т. е. с периодом осреднения не менее 30 лет), а сведения о влажности и числе дней с осадками не столь надежны и многочисленны, поэтому приходилось пользоваться средними значениями этих параметров за более короткие периоды, вплоть до 3... 5 лет, что в известной мере отразилось на точности результатов расчета.

Кроме того, не все страны Европы публикуют число дней с осадками $\geq 0,1$ мм, значение которого входит в формулу (1). Например, в Великобритании осадки измеряются с точностью до 0,01 дюйма (0,25 мм) и соответственно публикуется число дней с осадками $\geq 0,01$ дюйма; в Италии публикуется лишь число дней с осадками $\geq 1,0$ мм. Во всех подобных случаях использовались предложенные в работе [8] методика и формулы для приведения числа дней с осадками разных градаций к числу дней с осадками $\geq 0,1$ мм. Необходимые для этого месячные количества осадков с учетом погрешностей осадкомерных приборов взяты из рабочих материалов к составлению карт осадков в Атласе мирового водного баланса [2].

Для составления карты средней многолетней годовой продолжительности осадков Западной Европы по формуле (1) были вычислены значения τ_r на 100 станциях зарубежной территории. Кроме того, для 34 станций прилегающей территории СССР из данных Справочника по климату СССР [19] нанесены фактически наблюдаемые значения годовой продолжительности осадков. Изолинии проведены на бланке масштаба 1 : 15 000 000 с гипсометрической основой в соответствии со следующей шкалой: 250, 500, 750, 1000, 1500 и 2000 ч/год. Полученная карта представлена на рис. 1 а, где дано также расположение станций, для которых рассчитывались значения τ_r .

Сопоставление расчетных (на зарубежной территории) и измеренных (на территории СССР) величин τ_r показало, что по обе стороны государственной границы СССР сходимость их достаточно близка, различия носят случайный характер и не выходят за пределы точности метода. При проведении изолиний неоднородности поля исследуемой величины на государственной границе не ощущается.

На полученной карте закономерно прослеживаются изменения годовой продолжительности осадков, обусловленные взаимодействием атмосферной циркуляции и рельефа. Общая конфигурация изолиний естественно согласуется с ходом изолиний годового количества осадков (см. карту в [2]). Максимальные значения продолжительности осадков характерны для наветренных северных и северо-западных побережий Скандинавии и Ирландии, а также для высокогорья Альп, где значения τ_r составляют 1700... 2000 ч/год. Минимальные значения τ_r соответствуют южному побережью Пиренейского полуострова ($\tau_r < 200$ ч/г).

По данным отдельных, достаточно близко расположенных станций в Альпах удается проследить рост продолжительности осадков с высотой. При изменении высот станций от 400... 600 до 2500... 3000 м годовая продолжительность осадков растет от 700... 800 до 1700... 1800 ч/год (табл. 1). Высотный градиент годовой продолжительности осадков в соответствии с данными табл. 1 составляет примерно 400... 500 ч на 1000 м.

Таблица 1

Годовая продолжительность осадков (τ_r) на станциях с разной абсолютной высотой. Альпы

Станция	Координаты		Высота, м	τ_r ч
	φ	λ		
Сантис	47°15'	9°21'	2500	1710
Цюрих	47°23'	8°34'	569	999
Мюнхен	48°09'	11°43'	529	815
Клагенфурт	46°39'	14°21'	452	678
Зоннблик	47°03'	12°57'	3107	1729
Цугшпитце	47°25'	10°59'	2962	1799

Наличие сведений о продолжительности осадков позволяет рассчитывать их интенсивность, как среднюю месячную, так и годовую, путем деления соответствующих средних многолетних месячных и годовых количеств осадков на их продолжительность. Интенсивность осадков — параметр, интересный сам по себе как комплексная климатическая характеристика, отражающая режим выпадения осадков и до настоящего времени очень слабо изученная. Известные режимные обобщения характеристик интенсивности осадков на зарубежной территории в масштабе континентов [18] имеют характер самого первого приближения, дающего представление лишь о порядке величин и общем направлении их изменения, но не содержат конкретной информации, пригодной для практического использования.

Представленная на рис. 16 карта средних годовых значений интенсивности осадков I_r мм/ч построена по данным тех же

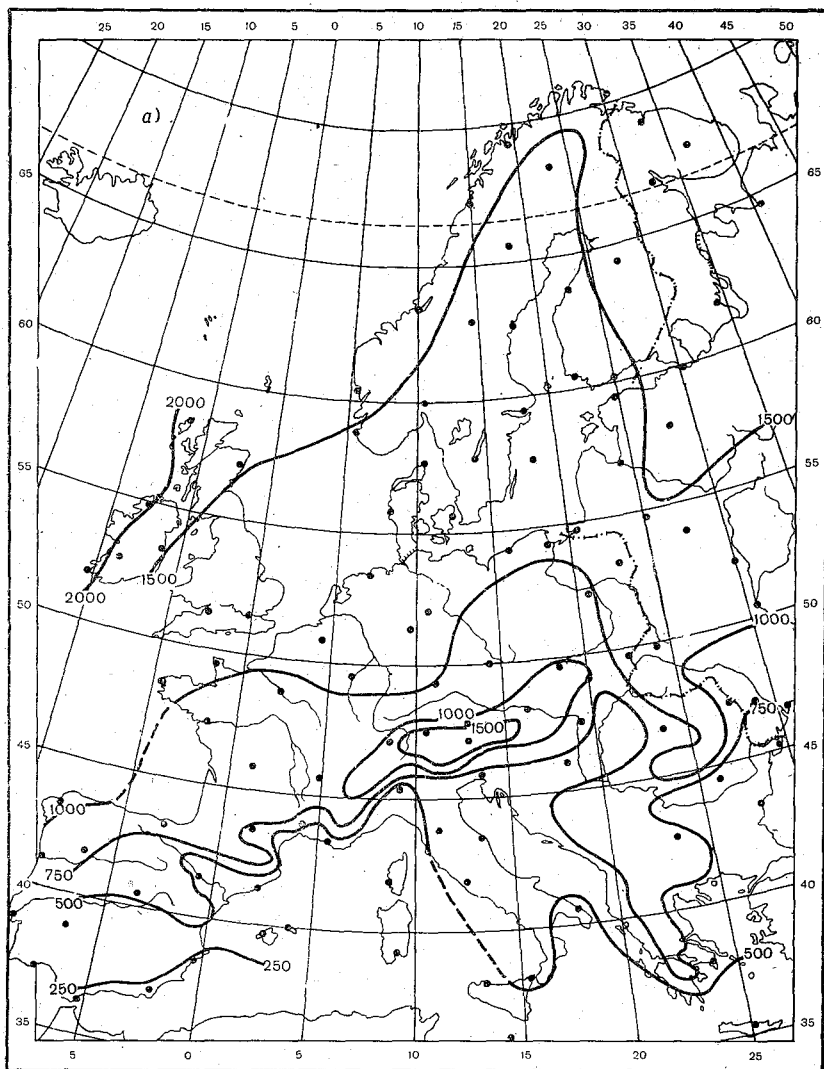


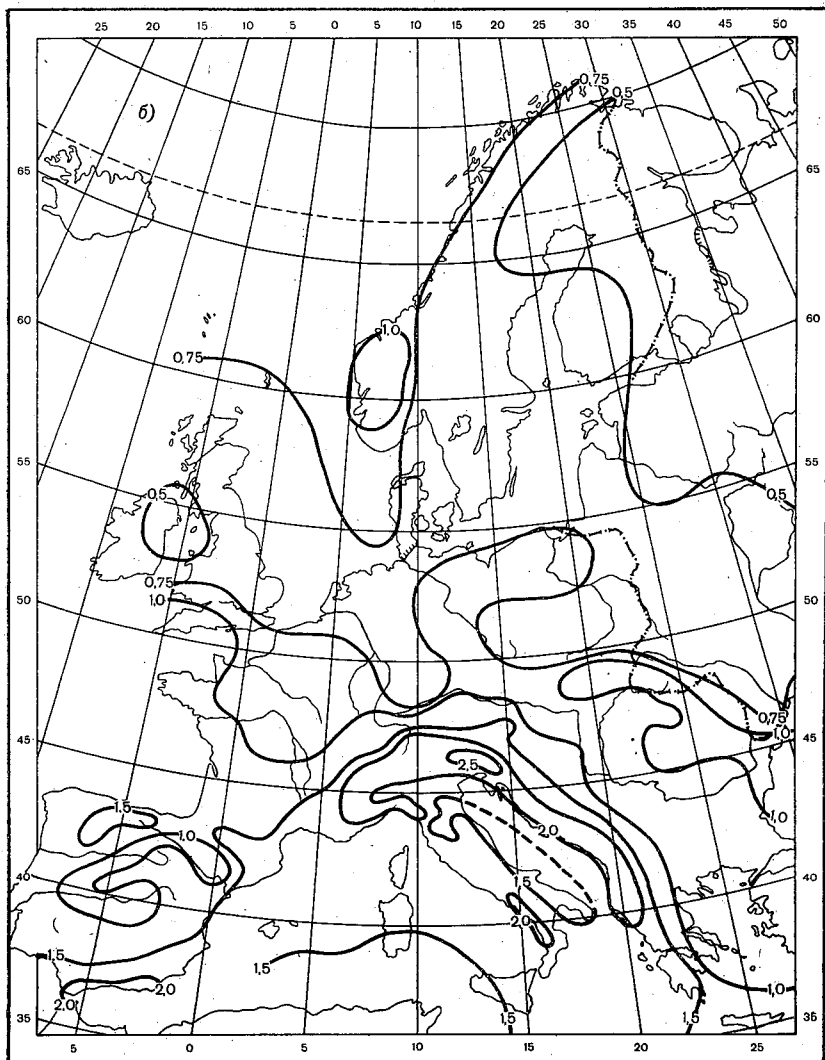
Рис. 1. Карта средних многолетних годовых значений прѳодол

станций, что и описанная карта продолжительности. Значения I_{Γ} мм/ч рассчитаны из соотношения

$$I_{\Gamma} = \frac{x}{\tau_{\Gamma}}, \quad (2)$$

где x — средняя многолетняя годовая сумма осадков, исправленная с учетом приборных ошибок их измерения.

Полученная карта позволяет рассмотреть основные закономер-



жидкости осадков τ_r ч/год (а) и их интенсивности I_T мм/ч (б).

ности пространственного распределения средней годовой интенсивности осадков на данной территории.

Поле интенсивности осадков, так же как и поле их количества, на территории Европы весьма сложно из-за сложности рельефа и большой изрезанности побережий. Общее увеличение интенсивности с севера на юг сильно изменяется под влиянием рельефа. Минимальные значения I_T (менее 0,4 мм/ч), отмечаемые во внутренних частях Скандинавии севернее Ботнического залива, почти

соседей с весьма высокими значениями интенсивности, превышающими на юго-западе Скандинавии 1 мм/ч.

С увеличением высоты местности значения I_T , как правило, также растут, что свидетельствует о более быстром росте с высотой количества осадков, чем их продолжительности.

Самые большие значения I_T (до 2... 2,5 мм/ч) наблюдаются в южных предгорьях и на склонах Альп, на западном побережье Балканского полуострова и на юго-восточном берегу Пиренейского полуострова. Эти максимальные значения интенсивности обусловлены не только большим количеством осадков, но и сравнительно малой их продолжительностью в этих районах.

Распределение количества и продолжительности дождей по грациям их интенсивности

Располагая сведениями о месячных значениях интенсивности осадков, можно получать одну из наиболее информативных и практически важных характеристик дождей — распределение их количества и продолжительности по грациям интенсивности. В работе [10] даны соответствующие расчетные графики, позволяющие определить вклад количества и продолжительности дождей любой интенсивности в их общую сумму и продолжительность за месяц, если известна средняя месячная интенсивность осадков. Однако при использовании этих графиков необходимо учитывать одно существенное обстоятельство: при их построении значения средней месячной интенсивности \bar{I} определены по данным пювиографа, т. е. путем деления количества осадков, измеренного пювиографом, на зафиксированную им же продолжительность осадков. При этом хорошо известно, что пювиограф имеет погрешности в определении и той, и другой величины [14, 16]. И в результате средняя месячная интенсивность осадков, измеренная пювиографом ($\bar{I}_П$), неизбежно отличается от соответствующего значения ($\bar{I}_В$), полученного делением количества осадков, измеренного осадкомером, на продолжительность, определяемую из данных визуальных наблюдений (или путем косвенного расчета, опирающегося также на данные визуальных наблюдений [11]).

Поэтому, прежде чем пользоваться графиком из работы [10], нужно определить соотношение между величинами $\bar{I}_П$ и $\bar{I}_В$. В работе [3] получена расчетная формула, связывающая эти величины. Связь между $\bar{I}_П$ и $\bar{I}_В$ оказалась линейной и описывается выражением

$$\bar{I}_П = 0,25 + \bar{I}_В \quad (3)$$

($\bar{I}_П$ и $\bar{I}_В$ в мм/ч).

Применение формулы (3) дает возможность использования значений $\bar{I}_В$ для расчета вклада количества и продолжительности

дождей разной интенсивности в их общую сумму и продолжительность с помощью графиков, приведенных в работе [10]. Этот метод и был применен для первого опыта картирования вклада осадков отдельных градаций интенсивности на территории Западной Европы и акватории Северной Атлантики. До сих пор подобные карты существовали лишь для территории СССР [1], где они строились по плювиографическим данным. Имея в виду возможность последующего сравнения полей картируемых величин, полученных из фактических измерений и косвенным расчетным методом, для картирования в Западной Европе и Северной Атлантике

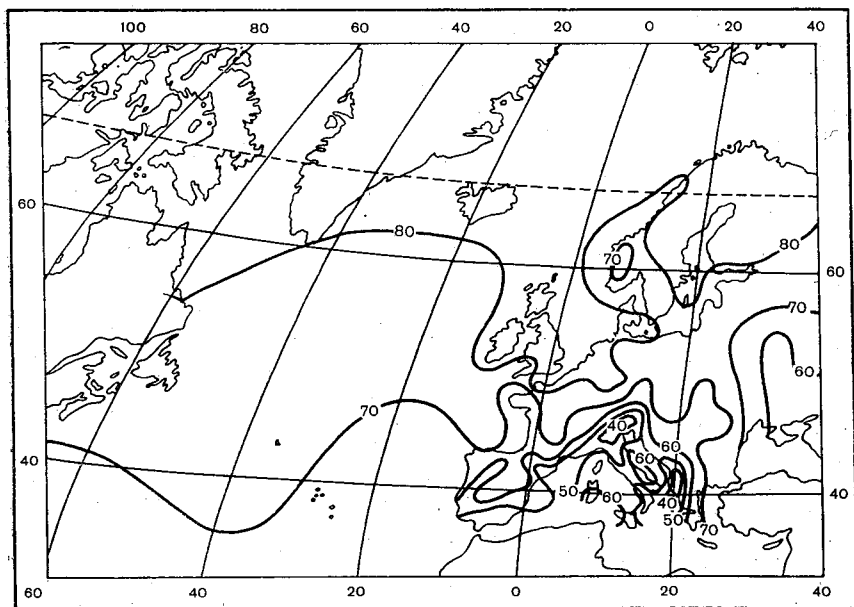


Рис. 2. Карта вклада осадков, выпадающих с интенсивностью $\leq 0,15$ мм/мин ($P_{0,15}$ %), в их общее количество за сезон жидких осадков.

была выбрана одна из тех характеристик, карта которой для СССР представлена в работе [1], а именно: доля общего количества осадков, выпадающая с интенсивностью $\leq 0,15$ мм/мин, $P_{0,15}$ %. Кроме того, эта характеристика показательна в климатическом отношении. Она представляет собой вклад в общую сумму жидких осадков дождей малой и средней интенсивности, почти повсеместно составляющих по продолжительности более 90 % длительности всех дождей, но по количеству заметно реагирующей на изменения климата, естественно и неизбежно связанные с изменением характера выпадения дождей.

На рис. 2 показана карта вклада (%) осадков, выпадающих с интенсивностью $\leq 0,15$ мм/мин, в общее количество осадков за весь период с жидкими осадками. Значения $P_{0,15}$ % рассчитаны

для тех же пунктов Западной Европы, по данным которых построены карты, представленные на рис. 1, а также для центров 10-градусных квадратов координатной сетки на акватории Северной Атлантики. Необходимые для расчета $P_{0,15} \%$ значения средней месячной интенсивности осадков и их месячные суммы на акватории сняты с упомянутых карт В. Я. Шаровой.

Начало и конец периода с жидкими осадками определялись с точностью до целого месяца на основании методики, предложенной в [4]. Если количество жидких осадков за месяц составляло не менее $\frac{2}{3}$ их общего количества, то этот месяц относился к периоду с жидкими осадками. Общее за сезон жидких осадков значение $P_{0,15} \%$ рассчитывалась как сумма месячных значений по формуле

$$P_{0,15} = \frac{\sum_n P_{0,15\text{мес}} x_{\text{мес}}}{\sum_n x_{\text{мес}}}, \quad (4)$$

где $P_{0,15 \text{ мес}}$ — снятое с графика из работы [10] значение месячного вклада (%) осадков интенсивностью $\leq 0,15$ мм/мин, а $x_{\text{мес}}$ — общее количество осадков за тот же месяц; n — число месяцев с жидкими осадками за сезон.

Таким же способом были рассчитаны значения $P_{0,15} \%$ для 34 пунктов примыкающей к Западной Европе части территории СССР, с той лишь разницей, что исходные для определения $P_{0,15 \text{ мес}}$ значения средней месячной интенсивности \bar{I}_B определены не по косвенно рассчитанным, а по фактически наблюдаемым значениям продолжительности осадков.

Анализ представленной на рис. 2 карты $P_{0,15} \%$ позволяет выявить следующие основные закономерности.

1. Диапазон пространственной изменчивости величины $P_{0,15}$ значителен: от 85... 87% на крайнем севере Скандинавии до 35... 40% в отдельных районах средиземноморского побережья.

2. Общее уменьшение вклада осадков умеренной интенсивности с севера на юг резко нарушается на территории материка особенностями рельефа и разнообразием сочетания равнинных и горных побережий с морской поверхностью.

3. Большей частью районы пониженных значений $P_{0,15}$ соответствуют районам повышенной средней годовой интенсивности осадков (см. рис. 1 б). Однако исключения составляют условия высокогорья, где при весьма значительной средней годовой интенсивности величина $P_{0,15}$ также сравнительно высока. Это объясняется разницей годового хода интенсивности осадков. Соотношение между средней интенсивностью за сезон жидких осадков и за год в высокогорье и на равнине различно: амплитуда годового хода при одном и том же значении I_T в горах значительно меньше, чем на равнине.

4. На акватории Северной Атлантики ход изолиний величины $P_{0,15}$ значительно более плавный, чем на материке, но тем не ме-

нее он четко согласуется с основными направлениями атмосферной циркуляции и океанических течений, подчеркивая их определяющую роль в формировании режима выпадения осадков над океаном.

5. Сопоставление части карты $P_{0,15}$, относящейся к территории СССР, с соответствующей картой Ж. Д. Алибеговой из работы [1] показало их весьма близкое соответствие, хотя методика расчета величин $P_{0,15}$ в них совершенно различна: карта Алибеговой построена по результатам громоздкой и трудоемкой обработки большого массива плювиографических данных, а карта, представленная на рис. 2, опирается на весьма простой косвенный расчетный метод. Расхождения, достигающие в отдельных районах 10... 15 %, обусловлены лишь разницей в определении границ периода с жидкими осадками: у Алибеговой взят период от установки до снятия плювиографа. Этот период иногда короче, чем тот, который положен в основу при составлении карты на рис. 2. Следовательно, значения $P_{0,15}$ на ней несколько больше, чем на карте Алибеговой, за счет ранних осенних и поздних весенних дождей, которые, как правило, выпадают со сравнительно небольшой интенсивностью.

Более детальный анализ полученной карты $P_{0,15}$ выходит за пределы возможного объема данной статьи и поэтому подлежит отдельному рассмотрению.

Следующая характеристика, которая также была рассчитана и картирована для Западной Европы и Северной Атлантики, — суммарная за год продолжительность (мин) дождей, выпадающих с интенсивностью ≥ 1 мм/мин ($Q_{1,r}$). Главной причиной выбора именно этой характеристики была ее большая практическая значимость для многих прикладных задач, так как продолжительность чрезвычайно сильных ливней, характеризующихся такой интенсивностью, интересует очень большое число потребителей в самых различных областях хозяйственной деятельности.

Для расчетов величины $Q_{1,r}$ точность соответствующего графика из работы [10] оказывается недостаточной, так как относительная длительность таких дождей составляет лишь малые доли процента от общей продолжительности осадков. Поэтому потребовалось существенное уточнение расчетного графика, для чего пришлось привлечь дополнительные исходные материалы. В работе [14], где сопоставлены результаты специальной уточненной обработки данных наблюдений по наземному плювиографу и данные обычной обработки стандартного плювиографа, подчеркивается, что при значительных интенсивностях ($>0,1$ мм/мин) точность показаний обоих приборов становится практически одинаковой. Поэтому для уточнения расчетного графика в области больших интенсивностей в дополнение к тем трем пунктам, по которым строились графики в работе [10], были использованы данные стандартных плювиографических измерений еще на шести станциях: Витебск (Белоруссия), Выру (Эстония), Лиепая (Латвия), Казань (Татарская АССР), Нижнедевницк (Воронежская область)

и Поти (Черноморское побережье Грузии), за период с 1960 по 1965 г. В сумме по всем станциям и за весь период в обработку вошло 234 месяца. Для каждого из них были вычислены значения средней месячной интенсивности \bar{I} мм/ч и определены абсолютное и относительное количества и продолжительность осадков, выпадающих с интенсивностью $1 \leq i \leq 2$ мм/мин и $i > 2$ мм/мин (x_i мм, τ_i мин, P_i %, Q_i %). Далее все месяцы рассортированы в следующих интервалах значений \bar{I} : 0,75; 0,76... 1,25; 1,26... 1,75; 1,76... 2,25; 2,26... 2,75; 2,76... 3,25; 3,26... 3,75 и $\geq 3,76$ мм/ч. Для каждого интервала найдено среднее значение \bar{I} и общие для всего интервала значения x_i , τ_i , P_i и Q_i . Все полученные результаты сведены в табл. 2 (n — число месяцев, попавших в каждый из интервалов значений \bar{I}).

По данным табл. 2 построены кривые, показанные на рис. 3, которые и являются уточнением графиков из работы [10] в области больших интенсивностей.

Зависимость величины Q % от средней месячной интенсивности (рис. 3 б) использована для расчета величин $Q_{1,г}$ в Западной Европе и Северной Атлантике. Карта, построенная на основании произведенных расчетов, приведена на рис. 4. Для ее составления использованы данные тех же пунктов, что и для составления предыдущих карт данной статьи.

Таблица 2

Абсолютное и относительное количества (x_i мм, P_i %) и продолжительность (τ_i мин, Q_i %) осадков, выпадающих с интенсивностью $1 \leq i \leq 2$ мм/мин и $i > 2$ мм/мин

\bar{I} мм/ч	n	x_i мм		τ_i мин		P_i %		Q_i %	
		1...2	>2	1...2	>2	1...2	>2	1...2	>2
0,64	32	1,3	—	1	—	0,12	—	0,001	—
1,02	68	43,7	5,5	32	2	1,31	0,16	0,016	0,001
1,48	60	119,0	35,2	81	13	3,16	0,94	0,053	0,009
1,95	31	135,7	25,3	106	7	5,92	1,10	0,149	0,010
2,48	19	178,0	29,5	143	11	8,18	1,36	0,277	0,021
2,96	12	168,4	58,3	114	15	8,34	2,89	0,323	0,042
3,43	6	79,4	} 216,7	62	} 64	11,20	} 8,73	0,490	} 0,181
4,06	6	324,1		154		18,28		0,680	
4,68									

В основном характер распределения значений $Q_{1,г}$ по рассматриваемой территории согласуется с полем интенсивности осадков (см. рис. 1 б), однако вследствие нелинейности связи Q с I увеличение продолжительности сильных ливней происходит значительно быстрее роста интенсивности. Если весь диапазон изменений интенсивности на данной территории лежит в пределах 0,4... 2,5 мм/ч, то значения $Q_{1,г}$ меняются более чем на порядок. Большие градиенты значений $Q_{1,г}$ на наветренных гористых побережьях на-

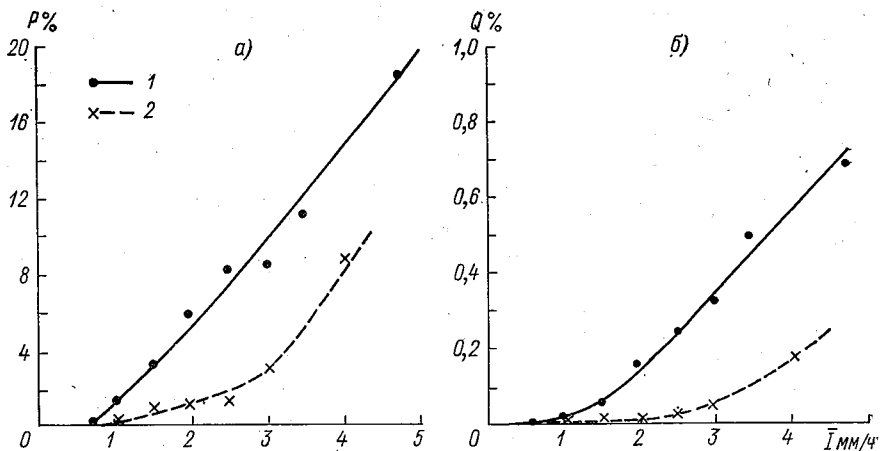


Рис. 3. Месячный вклад осадков разной интенсивности (i мм/мин) в общее количество осадков $P\%$ (а) и их продолжительность $Q\%$ (б) за месяц в зависимости от средней месячной интенсивности осадков \bar{I} .
1 — при $1,0 \leq i \leq 2,0$ мм/мин; 2 — при $i > 2$ мм/мин.

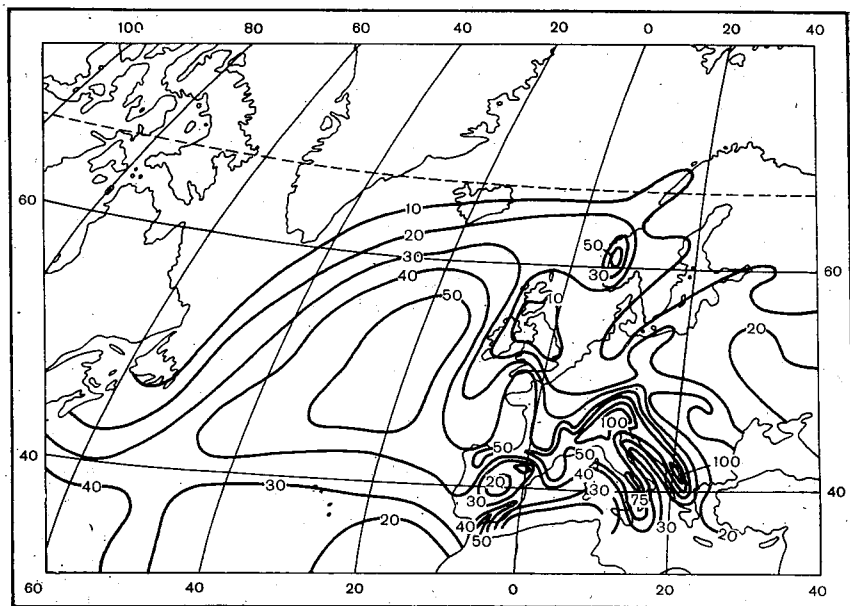


Рис. 4. Карта суммарной за год продолжительности дождей, выпадающих с интенсивностью $i \geq 1$ мм/мин (Q_1 , г мин).

глядно отражают бурный характер атмосферных процессов в этих районах.

В заключение следует отметить, что предложенные методы и полученные карты, построенные на базе использования стандарт-

ной метеорологической информации, впервые количественно оценивают весьма важные характеристики режима выпадения осадков с точностью, приемлемой для многих научных и прикладных целей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алибегова Ж. Д. Структура полей жидких осадков за короткие интервалы времени.—Л.: Гидрометеиздат, 1975.—134 с.
2. Атлас мирового водного баланса.—Л.: Гидрометеиздат, 1974.—12 с.
3. Ашкинази Т. В., Богданова Э. Г. Сравнение визуального и инструментального методов определения продолжительности и интенсивности дождей на метеорологических станциях.—См. наст. сб., с. 30—35.
4. Богданова Э. Г. Способ расчета доли твердых, жидких и смешанных осадков в их месячной норме.—В кн.: Материалы гляциологических исследований. Хроника, обсуждения. М., 1976, вып. 26, с. 202—207.
5. Богданова Э. Г. Методика расчета доли осадков разных видов (твердых, жидких и смешанных) в горных условиях.—В кн.: Материалы гляциологических исследований. Хроника, обсуждения. М., 1977, вып. 30, с. 126—129.
6. Богданова Э. Г. О связи интенсивности жидких осадков с температурой и влажностью воздуха.—Труды ГГО, 1975, вып. 341, с. 73—78.
7. Богданова Э. Г. О возможности косвенного расчета интенсивности твердых осадков.—В кн.: Материалы гляциологических исследований. Хроника, обсуждения. М., 1979, вып. 37, с. 161—165.
8. Богданова Э. Г. Расчет числа дней с осадками разных градаций.—Труды ГГО, 1978, вып. 404, с. 80—86.
9. Богданова Э. Г., Струзер Л. Р., Ашкинази Т. В. Продолжительность и интенсивность твердых осадков в Северной Америке.—В кн.: Материалы гляциологических исследований. Хроника, обсуждения. М., 1979, вып. 37, с. 89—94.
10. Богданова Э. Г. О расчете некоторых характеристик интенсивности дождей.—Метеорология и гидрология, 1979, № 2, с. 40—44.
11. Богданова Э. Г. Метод косвенного расчета средних многолетних величин продолжительности осадков.—Метеорология и гидрология, 1980, № 6, с. 33—37.
12. Богданова Э. Г., Соколова Г. П. Распределение твердых осадков по земному шару.—В кн.: Материалы гляциологических исследований. Хроника, обсуждения. М., 1976, вып. 26, с. 207—211.
13. Богданова Э. Г. Годовое количество и годовой ход твердых, смешанных и жидких осадков в горных районах Южной Америки.—В кн.: Материалы гляциологических исследований. Хроника, обсуждения. М., 1977, вып. 30, с. 130—135.
14. Богданова Э. Г., Горбунова И. Г., Макаров Ю. В. Погрешности определения интенсивности дождей с помощью стандартного плювиографа.—Труды ГГО, 1978, вып. 416, с. 20—35.
15. Климатический справочник Западной Европы.—Л.: Гидрометеиздат, 1979.—678 с.
16. Лебедев А. Н. Продолжительность дождей на территории СССР.—Л.: Гидрометеиздат, 1964.—510 с.
17. Мировой водный баланс и водные ресурсы Земли.—Л.: Гидрометеиздат, 1974.—638 с.
18. Сорочан О. Г. Характеристики интенсивности атмосферных осадков над Евразией и Северной Африкой.—Труды ГГО, 1970, вып. 266, с. 113—124.
19. Справочник по климату СССР.—Л.: Гидрометеиздат, 1968—1970. Ч. IV, вып. 2—7, 10, 11.
20. Tables of temperature, relative humidity and precipitation for the World. Pt III.—London, 1958.
21. Climatic table for the World.—Tokyo: Japan Met. Agency, 1967.—113 p.

*Л. В. Анискин, А. Г. Мелихова,
Е. А. Федорова, Т. А. Поляченко*

О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДАННЫХ КРАМС В РЕЖИМНЫХ ОБОБЩЕНИЯХ

Комплексные радиотехнические автоматические метеостанции (КРАМС), предназначенные для оперативного обслуживания авиации, производят измерения атмосферного давления, температуры и влажности воздуха, направления и скорости ветра, метеорологической дальности видимости (МДВ) и высоты нижней границы облаков (ВНГО) [1].

Периодичность автоматических измерений КРАМС, как принято на авиаметеорологических станциях (АМСГ), составляет 30 мин, причем время выдачи информации может устанавливаться любое. Каждые три часа, т. е. в основные метеорологические сроки (00, 03, 06 и т. д.), КРАМС выдает метеорологическую телеграмму, которая содержит информацию об основных метеорологических элементах (давлении, температуре, влажности и ветре).

Точность определения метеорологических элементов станцией КРАМС удовлетворяет требованиям, предъявляемым к сетевым метеорологическим наблюдениям, что видно из сравнения погрешностей определения метеорологических элементов (табл. 1).

Это обстоятельство позволяет использовать измерения КРАМС в основные сроки вместо измерений по обычным сетевым приборам. Целесообразность замены сетевых наблюдений на автоматические для станций оперативного обслуживания с большим объемом наблюдений, какими являются АМСГ, очевидна. Дистанционное и автоматическое измерения основных метеорологических элементов облегчают работу наблюдателя. Кроме того, КРАМС обеспечивает автоматическую обработку результатов измерений и передачу информации в каналы связи, что значительно ускоряет процесс выдачи информации и сокращает затраты времени дежурного наблюдателя.

Возможность использования данных КРАМС в режимных обобщениях может быть выявлена путем сравнения с обычными приборами, установленными на той же АМСГ. В период сравнительных наблюдений показания обычных сетевых приборов продол-

Погрешности определения метеорологических элементов и допустимые расхождения при сравнительных наблюдениях (разовые отсчеты)

Метеорологический элемент	Погрешность датчика КРАМС	Погрешность приборов обычной станции	Допустимые расхождения
Температура воздуха срочная	$\pm 0,2^\circ\text{C}$	$\pm 0,1^\circ\text{C}$	$\pm 0,5^\circ\text{C}$
Давление воздуха	$\pm 0,2$ гПа	$\pm 0,2$ гПа	$\pm 0,3$ гПа
Влажность воздуха относительная	$\pm 5\%$ при $t > 0^\circ\text{C}$ $\pm (7... 10)\%$ при $t < 0^\circ\text{C}$	$\pm (2... 4)\%$ при $t > -10^\circ\text{C}$ $\pm (5... 7)\%$ при $t < -10^\circ\text{C}$	$\pm 7\%$ $\pm 10\%$
Скорость ветра: средняя максимальная	$\pm (0,5 + 0,05v_{\text{ср}})$ $\pm (1,0 + 0,07v_{\text{макс}})$	$\pm (1 + 0,1v_{\text{ср}})$ $\pm (1 + 0,07v_{\text{макс}})$	$\pm (1,5 + 0,07v_{\text{ср}})$
Направление ветра	$\pm 10^\circ$	$\pm 10^\circ$	$\pm 15^\circ$
Облачность, высота нижней границы	$\pm (10 + 0,1 H)$ м	$\pm (15... 20)\%$ при $h < 200$ м $\pm (10... 15)\%$ при $h > 200$ м	$\pm (15 + 0,1H)$ м
Дальность видимости	$\pm (7... 20)\%$	$\pm (20... 25)\%$	$\pm 10\%$ от 650 до 2000 м

жали оставаться основными и использовались для режимной информации. Качество информации КРАМС оценивалось по величине расхождений между показаниями датчиков КРАМС и сетевых приборов, которые в данном случае считались контрольными. Для анализа результатов сравнений были определены допустимые расхождения (допуски) между показаниями двух датчиков, определяющих один и тот же метеорологический элемент.

Величина допуска зависит от инструментальной точности сравниваемых приборов, влияния внешних факторов (погодных условий, установки приборов и др.) на точность измерений и равна средней квадратической ошибке двух методов измерения (табл. 1). Так, допустимое расхождение по температуре воздуха при идеальных лабораторных условиях равно

$$\sigma_{\text{ср}} = \sqrt{\sigma_{\text{ас}}^2 + \sigma_{\text{мс}}^2} = \pm 0,25^\circ\text{C}.$$

Здесь $\sigma_{\text{ас}}$ — инструментальная погрешность термометра сопротивления КРАМС ($\pm 0,25^\circ\text{C}$); $\sigma_{\text{мс}}$ — инструментальная погрешность измерения температуры воздуха психрометрическими термометрами ($\pm 0,1^\circ\text{C}$).

Близкими к лабораторным условиям сравнения можно считать условия при пасмурной погоде (облачность ≥ 5 баллов) и скорости ветра 3... 4 м/с [2]. При ясной погоде, а также при большой

скорости ветра погрешность психрометрического метода измерения температуры значительно увеличивается [2, 4].

В связи с тем, что сравнительные наблюдения по температуре проводились без учета условий погоды, был выбран единый допуск для разностей, равный $2\sigma_{\text{ср}} = \pm 0,5^{\circ}\text{C}$.

При вычислении допустимых расхождений значений влажности учитывалось, что при отрицательной температуре воздуха в КРАМС датчиком влажности является гигрометр, а при положительной температуре используется аспирационный психрометр. В связи с этим в табл. 1 допуски для сравнений значений влажности даны по интервалам температуры воздуха и относительной влажности.

Параллельные наблюдения по КРАМС и обычным сетевым приборам проводились на всех АМСГ, где были установлены КРАМС (более 50 АМСГ). Однако на большинстве станций параллельные наблюдения проводились не синхронно, что привело к большим случайным расхождениям в показаниях сравниваемых приборов. Особенно сильно несинхронность сказалась на результатах наблюдений за наиболее изменчивыми метеорологическими элементами (видимостью, высотой нижней границы облаков). Кроме того, на ряде АМСГ не соблюдались правила установки и эксплуатации датчиков КРАМС.

В связи с этим для решения вопроса о возможности использования данных КРАМС в режимной информации были проанализированы параллельные наблюдения на АМСГ Пулково, Могилев и Ростов-на-Дону, а также на метеорологической станции Воейково, где сравнения проводились достаточно надежно.

В период параллельных наблюдений контрольными считались показания обычных сетевых приборов. Это позволяло в случае положительного вывода о возможности использования данных КРАМС не нарушать единство методики наблюдений, принятой на всей сети метеорологических станций. По данным параллельных наблюдений вычислялись разности между показаниями датчиков КРАМС и обычных сетевых приборов по температуре и влажности воздуха, давлению, направлению и скорости ветра за каждый срок наблюдений. Значение разности сопоставлялось с допустимым значением разности по данному элементу. Для всего периода параллельных наблюдений были вычислены обеспеченность допустимых разностей и средние квадратичные отклонения, что дало возможность судить о качестве работы датчиков КРАМС.

Распределение разностей по всем элементам, как видно из рис. 1, близко к нормальному; систематическая ошибка практически отсутствует.

Обеспеченность допустимых отклонений по сравниваемым наблюдениям достаточно высокая, более 75 % (табл. 2) для всех элементов.

Максимальные отклонения являются случайными, причем, как выяснилось при подробном анализе конкретных случаев превышения разностей допустимых значений, в равной степени объяс-

няются погрешностями КРАМС и сетевых приборов. При строгом соблюдении синхронности наблюдений превышения допуска в показаниях сравниваемых приборов указывают на неисправность приборов, нарушения в установке приборов или на недостатки

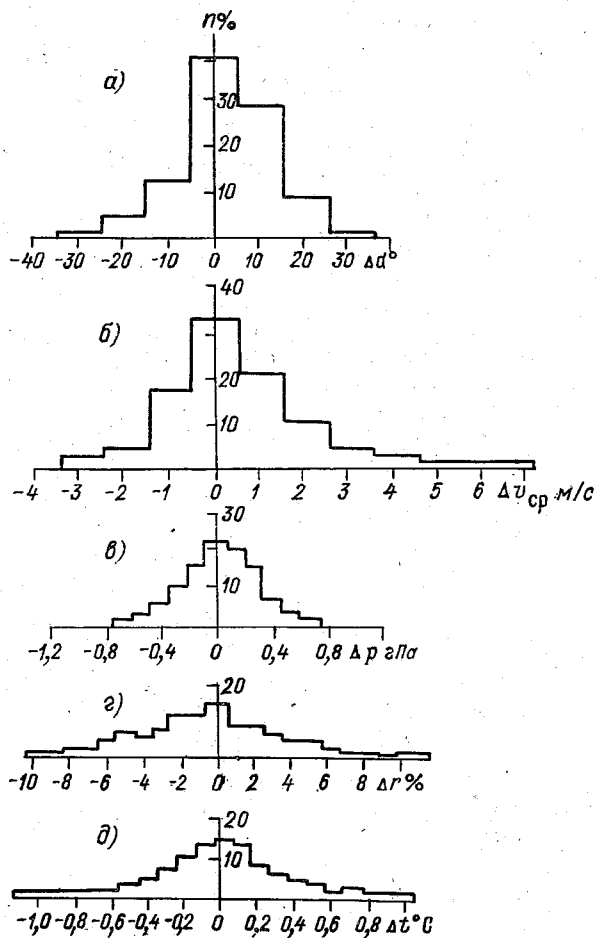


Рис. 1. Гистограмма распределения разностей метеозаписей за 1974—1979 гг. Пулковско.

a — направление ветра, *б* — скорость ветра, *в* — давление воздуха, *г* — влажность воздуха, *д* — температура воздуха.

в уходе за приборами в процессе их эксплуатации. Своевременное обнаружение причин больших расхождений исключает случайные ошибки в наблюдениях. Для решения вопроса о возможности использования данных КРАМС в режимной информации ежедневный контроль недостаточен, так как наряду со сбоями, носящими

Таблица 2

**Результаты сравнительных наблюдений датчиков КРАМС (ас)
и сетевых приборов (мс)**

Станция	Средняя разность ас-мс	Максимальная разность		Обеспе- ченность допусти- мых раз- ностей, %	σ	Количес- тво изме- рений	Период наб- людений
		+	-				

Температура воздуха, °С

Пулково	-0,09	2,3	-2,4	86	0,414	2307	1974, 1976, 1979
Могилев	-0,10	0,8	-1,3	80	0,367	42	1976
Ростов-на-Дону	0,09	1,3	-2,0	83	0,258	1374	1976, 1977
Воейково	0,00	3,7	-1,3	85	0,336	812	1977

Давление, гПа

Пулково	0,06	0,9	-0,6	98	0,196	2298
Могилев	-0,10	1,6	-1,4	85	0,318	187
Ростов-на-Дону	0,17	0,8	-0,6	81	0,169	1041
Воейково	-0,10	0,7	-0,8	97	0,132	765

Относительная влажность, %

Пулково	-0,22	12	-12	70	3,5	1545
Могилев	1,00	17	-12	73	3,88	184
Ростов-на-Дону	1,49	20	-17	76	3,95	1368
Воейково	0,00	9	-13	87	3,14	542

Температура точки росы, °С

Пулково	0,06	7,4	-1,7	83		606
---------	------	-----	------	----	--	-----

Направление ветра, °

Пулково	-5	100	-50	75	13,0	2064
Могилев	0	30	-50	79	12,4	176
Ростов-на-Дону	0	70	-60	77	12,9	1296
Воейково	0	40	-50	84	14,3	490

Скорость ветра, м/с

Пулково	0,25	3	-5	96	0,91	2243
Могилев	0	2	-5	92	1,08	188
Ростов-на-Дону	0	5	-4	84	1,20	1368
Воейково	0	2	-2	98	0,72	564

случайный характер, в информации КРАМС могут наблюдаться и систематические ошибки, которые не превышают допуск для срочного сравнения. Искажения, вносимые систематическими ошибками, могут привести к браку средних месячных значений и к невозможности использования их в режимной информации.

Поэтому наряду с ежедневным контролем информации КРАМС путем сопоставления разности показаний КРАМС и сетевых приборов с допуском оценивались средние месячные значения элементов, полученные по данным КРАМС.

Как известно [5], при критическом контроле средних месячных значений определяется невязка интерполяции на данную станцию значений отклонения метеоэлемента от нормы по соседним станциям. При исправной работе КРАМС невязки интерполяции не должны превышать установленные критерии для контроля.

Опыт использования измерений КРАМС взамен обычных на метеорологической станции Воейково начиная с 1975 г. показал, что при соблюдении допусков в ежедневных наблюдениях невязки интерполяции при контроле по группе влияющих станций имели допустимые значения и не зависели от метода измерения контролируемых метеорологических элементов. В табл. 3 приведены результаты контроля данных КРАМС на ст. Воейково по основным метеорологическим элементам за 1976 г.

Таблица 3

Результаты контроля данных КРАМС на ст. Воейково за 1976 г.

Месяц	Невязки интерполяции			
	t °C	r %	v м/с	p гПа
Январь	0,30	-1,59	0,23	0,21
Февраль	-0,03	2,45	-0,12	-0,03
Март	0,41	-2,39	-0,09	0,05
Апрель	0,03	1,04	-0,37	0,14
Май	-0,16	3,01	-0,74	0,10
Июнь	0,32	-1,22	-0,11	0,21
Июль	—	—	—	—
Август	0,08	-1,16	-0,46	0,25
Сентябрь	0,15	0,72	-0,37	0,00
Октябрь	0,04	-1,96	-0,50	-0,09
Ноябрь	0,06	-0,95	-0,47	0,13
Допустимое значение невязки	0,5	3	1	0,5

Для измерения метеорологической дальности видимости (МДВ) и высоты нижней границы облаков (ВНГО) в КРАМС имеются приборы (РДВ и ИВО), которые могут работать автономно от КРАМС и использоваться на обычных станциях в качестве основных измерительных средств [6]. Поэтому для этих элементов вопрос о возможности замены датчиками КРАМС сетевых приборов специально может не рассматриваться.

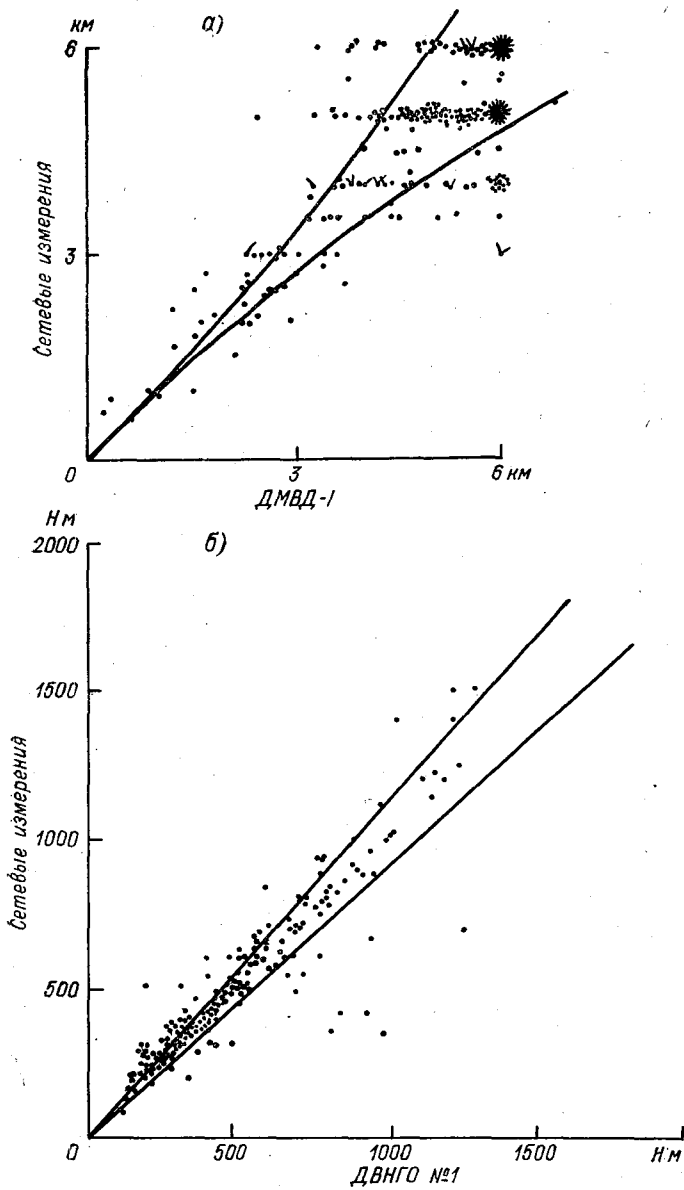


Рис. 2. Связь результатов наблюдений по датчикам КРАМС и обычным сетевым приборам. Пулково, 1974 г.

а — по метеорологической дальности видимости, апрель—август;
 б — по высоте нижней границы облаков, январь—март.

Сравнения показаний датчиков КРАМС и сетевых приборов по метеорологической дальности видимости и высоте облаков, проведенные на АМСГ Пулково и на других станциях, показали, что МДВ и ВНГО имеют довольно большие расхождения.

Учитывая, что ВНГО и МДВ в разных интервалах измерений определяются с различной точностью, оценку расхождений данных ВНГО и МДВ по двум приборам удобнее проводить с помощью графиков корреляционной связи. На корреляционных графиках (рис. 2) для ВНГО и МДВ проведены границы допустимых расхождений.

Из рис. 2 б видно, что в интервале до 250 м расхождения в измерениях ВНГО не превышали допустимых значений в 65 % случаев из 228, в интервале 250... 500 м — в 74 % случаев, в интервале 500... 1000 м — в 72 %, в среднем по всем интервалам — в 72 %.

Расхождения в измерениях МДВ (рис. 2 а) не превышали допуск в 58 % случаев из 216.

Анализ случаев, когда расхождения по ВНГО и МДВ были выше допуска, показал, что основной причиной больших расхождений является несинхронность проводимых сравнений, а также то, что сравниваемые приборы установлены на значительном расстоянии друг от друга. В отдельных случаях причина заключалась в неисправности сравниваемых приборов.

Результаты параллельных наблюдений показали, что при исправной работе автоматической станции обеспечивается требуемая точность измерений по всем датчикам КРАМС.

Опыт эксплуатации КРАМС выявил необходимость контрольных сравнительных наблюдений по автоматическим датчикам и обычным метеорологическим приборам.

Таким образом, при соблюдении всех правил эксплуатации автоматических станций КРАМС данные измерений автоматических датчиков могут быть использованы для режимных обобщений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Автоматическая станция КРАМС/Под ред. Л. П. Афиногенова, М. С. Стернзата.— Л.: Гидрометеиздат, 1974.— 218 с.

2. Беспалов Д. П. Точность измерений температуры и влажности воздуха и перспектива ее повышения.— Труды ГГО, 1956, вып. 61, с. 3—21.

3. Беспалов Д. П., Светлова Т. П. Научно-методические основы построения системы контроля режимной метеорологической информации.— Труды ГГО, 1980, вып. 435, с. 3—9.

4. Лебедева К. Д., Смирнов С. А. Погрешности метода измерения температуры и влажности воздуха в психрометрической будке.— Труды ГГО, 1951, вып. 25, с. 5—19.

5. Методические основы автоматизированной системы метеорологических наблюдений.— Л.: Гидрометеиздат, 1971.— 120 с.

6. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 3. Ч. 1.— Л.: Гидрометеиздат, 1969.— 307 с.

Л. П. Афиногенов, Е. П. Рыжих

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ СОЗДАНИЯ АРХИВОВ НА ТЕХНИЧЕСКИХ НОСИТЕЛЯХ

Технологические процедуры, связанные с созданием и функционированием архивов на технических носителях, можно разделить на три основные части:

- создание и пополнение архивов (архивация);
- работы по обслуживанию потребителей;
- процедуры, обеспечивающие сохранность архива.

Помехоустойчивое кодирование в сочетании с периодической регенерацией, являясь необходимым условием длительного хранения информации в любых технических системах [2, 3 и др.], накладывает отпечаток на каждую из этих частей. Однако и при выполнении указанного условия могут найти применение различные варианты организации технологического процесса в целом и его основных этапов. Выбор рациональных вариантов оказывает влияние на экономические характеристики системы и ввиду большого объема современных архивов может обеспечить весьма значительный полезный эффект. Более того, от организации технологического процесса зависят надежность хранения и качество обслуживания потребителей, т. е. успешное решение задач, ради которых создается архив.

В данной статье рассматриваются технологические процедуры этапа архиваций, заканчивающегося занесением данных на технические носители и сдачей их в архив.

На технологические процессы архивации оказывают влияние многие факторы. К ним относятся:

- тип технического носителя, на котором создается архив;
- форма представления исходного материала (таблицы, перфокарты и т. д.);
- способ размещения избыточности на архивных носителях, характер помехоустойчивого кода, используемого для защиты информации в процессе хранения;
- группа характеристик, связанных с назначением архива (предполагаемая интенсивность и характер использования мате-

риала, требуемые надежность и срок хранения, необходимость систематического пополнения в процессе эксплуатации и др.);

— наличие (или отсутствие) дубликатов архивных лент;

— технический уровень ЭВМ (структура, состав и др.), на которых осуществляется создание и эксплуатация архивов, а также характер математического обеспечения.

Обсудим подробнее роль этих факторов.

Тип технического носителя. Основными техническими носителями, на которых создаются архивы гидрометеорологической информации в настоящее время, можно считать стандартную (12,7 мм, 9 дорожек) магнитную ленту (МЛ) и рулонную фотопленку. Используемые в 1940... 1960 гг. бумажные носители (перфоленты и перфокарты) в настоящее время утратили значение из-за многочисленных присущих им недостатков — малой плотности записи, недолговечности, низкой скорости ввода в ЭВМ, невозможности одновременно и оперативно работать с большими массивами информации.

Преимуществом МЛ перед фотопленкой является то, что все работы по созданию и эксплуатации архивов могут осуществляться с помощью штатных средств современных ЭВМ (накопителей — НМЛ) без какого-либо специального оборудования. Одна стандартная бобина содержит 750 м ленты и при плотности записи 32 байта/мм позволяет разместить $(1,5... 1,6)10^8$ дв. символов. Учитывая, что часть этих символов (25... 35 %) должна использоваться для кодовой защиты в процессе хранения, это составит $(1,1... 1,2)10^8$ дв. символов собственно информации, что соответствует приблизительно 200... 300 тыс. перфокарт.

Фотоноситель позволяет в принципе достичь еще более высокой плотности, но работа с ним требует применения специальной аппаратуры, которая в настоящее время серийно не выпускается, и главное, специализированной службы фотохимобработки, содержание которой экономически оправдывается только при большом объеме создаваемых архивов. Существует несколько технических систем записи дискретной информации на фотоноситель. В этом направлении продолжают развиваться разработки, в результате которых появляются новые системы с лучшими характеристиками (в отношении плотности, надежности, быстродействия). В учреждениях Госкомгидромета успешно используется с начала 70-х годов бионарный микрофильм (БМФ) [9], однако в настоящее время он морально устарел, так как не обеспечивает достаточно высокой плотности и быстродействия (по современным требованиям). В 1976 г. успешно прошла испытания и в настоящее время готовится к внедрению система микрофильмирования с высокой плотностью (ВПМФ) [11]. Рулон ленты ВПМФ шириной 36 мм имеет длину 60 м и позволяет разместить около 10^8 дв. символов (включая избыточные). В дальнейшем, говоря о фотоносителе, мы будем иметь в виду систему ВПМФ как наиболее перспективную в настоящее время.

Таким образом, в данной статье под архивной лентой следует понимать либо бобину МЛ, либо рулон фотопленки в системе ВПМФ. Это, конечно, не исключает возможности появления и использования в дальнейшем других систем и других архивных носителей, к которым термин «лента» неприменим (магнитные диски, плоские фотоносители и др.).

Форма представления исходного материала. Исходный материал, на основе которого создается архив, может быть представлен в различных формах: на перфолентах и перфокартах, в виде печатных или рукописных таблиц, на МЛ, формируемых в процессе сбора информации автоматической аппаратурой или поступающих в порядке обмена. Иногда источником является графический материал — карты, фотографии подстилающей поверхности, полученные с помощью самолетов или спутников. Возможен и находит все большее применение в гидрометеорологической практике непосредственный ввод в ЭВМ данных с каналов связи.

Способ представления исходного материала влияет на характер начальных этапов процесса архивации, включая ввод данных в ЭВМ. Эти этапы, как правило, определяют основные расходы на формирование архивов, поскольку требуют затрат ручного труда на подготовку (перевод данных в форму, удобную для ввода в ЭВМ) и затрат машинных ресурсов и времени на относительно медленную процедуру ввода.

Помехоустойчивое кодирование. Характер помехоустойчивого кода влияет на алгоритмы машинной обработки (кодирование), включая процедуру заключительного контроля перед сдачей в архив. В настоящее время для защиты архивных лент с гидрометеорологической информацией практическое применение находят два кода: циклический код, используемый в НМЛ ЕС для защиты информации на магнитных лентах [14], и многомерная кодовая матрица (МКМ) [1, 10] для защиты информации как на магнитных, так и на фотооптических носителях. Циклический код НМЛ ЕС учитывает специфику 9-дорожечных МЛ (способен исправлять групповые ошибки по одной дорожке), но он малоэффективен для других носителей (фотоноситель, магнитные диски). Кроме того, при длительном хранении, когда главное значение приобретают независимые ошибки и «пятна», циклический код оказывается также не эффективным для МЛ, поскольку не обеспечивает исправление в защищенном блоке даже двух символов, если они попадают на разные дорожки.

Многомерная кодовая матрица позволяет исправлять пятна, большое число независимых ошибок, а также сбои синхронизации и поэтому оказывается гораздо лучше приспособленной к задачам длительного хранения. При практическом использовании МКМ возможны варианты, различающиеся размерами и числом координат и способом размещения избыточности. Размеры и число координат определяют размер защищаемого блока. В практических реализациях (при четырех координатах) блок содержит $10^4 \dots 5 \cdot 10^5$ дв. символов. В отношении размещения избыточности,

которая для МКМ составляет 25... 35 %, практическое значение имеют три способа: включение избыточных символов в состав информационных, когда небольшие группы информационных байтов чередуются с избыточными, вынесение избыточности в конец защищаемого блока (при этом основная информация никак не затрагивается, но должна перед кодированием развиваться на блоки определенного размера), вынесение избыточности на отдельную МЛ (при этом к исходной ленте вообще не предъявляется каких-либо требований).

Способ размещения избыточности оказывает влияние на алгоритмы обработки архивных лент (кодирование, декодирование) и на характер технологических процессов. В настоящее время представляется, что при создании новых архивов наиболее удобен второй способ (вынесение избыточности в конец блоков), так как он может быть унифицирован для МЛ и фотоносителей (для фотоносителя вариант с вынесением избыточности на отдельную ленту неудобен) и позволяет упростить технологические процедуры (контроль, регенерация, копирование). Вместе с тем в ряде случаев для архивов на МЛ (получение информации на МЛ в порядке обмена, защита созданных ранее МЛ) может оказаться наиболее удобным именно вариант с вынесением избыточности на отдельную МЛ.

Эксплуатационные характеристики создаваемого архива. К эксплуатационным характеристикам относятся требуемая надежность и срок хранения, интенсивность использования, необходимость пополнения архива или замена отдельных «устаревших» данных новыми и др. Срок хранения и надежность влияют на выбор технического носителя, а также на периодичность процедур контроля и регенерации. И хотя на любом из двух основных носителей, применяемых в метеорологии, можно обеспечить длительное и надежное хранение, экономические показатели для них будут различными. Расчеты, учитывающие затраты на создание и эксплуатацию архива, показывают, что при малом сроке хранения (до 20... 30 лет) выгоднее использовать МЛ, а при сроках 100 лет и более (что типично для гидрометеорологической информации) фотоноситель становится более эффективным. На выбор носителя влияет также интенсивность использования архива. Поскольку обслуживание потребителей архивными материалами осуществляется путем выдачи копий на МЛ, а перепись данных на МЛ быстрее и дешевле осуществляется с архивных МЛ, чем с архивных фотолент, МЛ оказывается более эффективной для «активных» архивов с частотой обращения несколько раз в год. Для «пассивных» архивов с частотой обращения 1 раз в год и менее дешевле обходится эксплуатация архивов на фотоносителе.

Необходимость регулярного пополнения архива, особенно если это пополнение осуществляется «мелкими порциями», а также исправление и замена устаревших данных в архивных материалах заставляют предпочесть МЛ, на которых эти процедуры выполняются сравнительно легко. Для гидрометеорологических архи-

вов, содержащих многолетние и непрерывно пополняемые ряды наблюдений, типично систематическое пополнение архива. Обновление архивных материалов в гидрометеорологической практике также встречается, хотя и редко (например, при изменении обобщенных характеристик и норм, которые изредка уточняются по мере накопления новых данных). Но в архивах других отраслей народного хозяйства, в частности в банках данных, обеспечивающих работу АСУ, частичное обновление архивных материалов производится регулярно. Таким образом, вся группа рассмотренных факторов определяет выбор носителя и вообще оказывает существенное влияние на технологическую схему архивации.

Дублирование. При использовании мощности кода (например, МКМ) надежное хранение может быть обеспечено и без дублирования архивных лент. Основное назначение дубликатов — защита от катастрофических ситуаций, утраты крупных частей и целых лент [4]. Влияние дубликатов на технологический процесс сказывается в том, что он должен включать процедуру копирования и контроля дубликата или одновременно должны создаваться два экземпляра архивных лент. Для фотоносителя роль основной ленты и дубликата могут выполнять негатив и позитив.

Тип ЭВМ и характер математического обеспечения. Стоимость машинного времени является существенной, хотя и не самой главной составной частью расходов на архивацию. В связи с этим в крупных архивах целесообразно ряд заключительных операций при создании архивных лент, таких, как кодирование, снятие копий, контроль и др., в которых основную роль играют процедуры ввода—вывода, а объем и сложность вычислительных процедур невелики, осуществлять с помощью специальных технологических установок, основу которых составляют малые ЭВМ. Особенно это относится к архивам, создаваемым на фотоносителе. Математическое обеспечение ЭВМ должно допускать создание простых и эффективных по времени и расходу памяти программ кодирования и декодирования, предусматривать ввод информации с лент, содержащих значительное число ошибок различных видов, и удовлетворять ряду других требований, специфичных для работы с архивными лентами.

На рис. 1 представлена технологическая схема создания архива на МЛ для достаточно общего случая. Схема включает 7 этапов.

Этап 1 — методическая подготовка, предусматривает решение следующих задач:

— разработка структуры архива (синоптический, климатологический, смешанный и др.) с учетом особенностей конкретной информации, содержащейся в архиве, и задач, решаемых с его помощью [7];

— выбор типа архивного носителя;

— разработка макетов представления информации с учетом средств математического обеспечения и требований помехоустойчивого кодирования;

- разработка макетов представления информации на промежуточных носителях (перфоленгах, перфокарте, буферной МЛ);
- разработка методов контроля и обработки;
- разработка инструкций, обеспечивающих создание архива с учетом всех его конкретных особенностей, разработка алгоритмов и программ контроля и обработки информации.

Из этого неполного перечня видно, что 1-й этап является одним из самых ответственных. Он представляет собой научную работу и должен выполняться сотрудниками высокой квалификации и достаточно широкого кругозора.

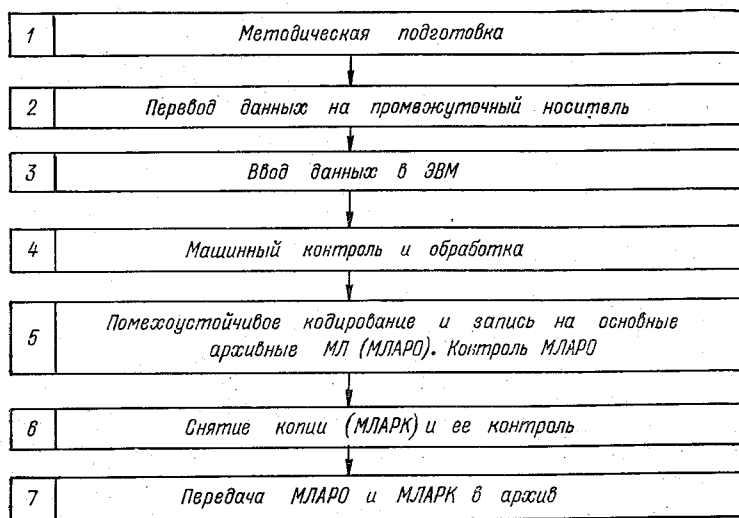


Рис. 1. Технологическая схема создания архива на МЛ.

Помимо характера материала и задач, решаемых с помощью архива, при разработке его структуры необходимо учитывать, является ли данный архив законченным или он должен быть рассчитан на систематическое пополнение. Важным моментом, влияющим на структуру, является вопрос о включении в архив, наряду с первичными материалами, обобщенных данных (сумм, норм, дисперсий, аномалий, распределений, экстремальных величин и др.), что позволяет при решении многих задач опираться только на обобщенные данные. За счет этого сокращается объем вычислений и количество обращений к архивным лентам.

Решения, сформулированные при разработке структуры архива, должны реализовываться затем при разработке макетов размещения информации на архивных лентах. На этом этапе, кроме того, необходимо учитывать ряд дополнительных факторов: требования к оформлению архивных лент, вытекающие из используемой системы математического обеспечения; введение служебной информации, содержащей формальное и смысловое

описания архива; требования, накладываемые помехоустойчивым кодированием. Последнее сводится всего лишь к одному условию: фиксированному размеру блоков, причем эти блоки должны представлять собой законченную смысловую единицу (например, данные по одному пункту за один или несколько месяцев, обобщенные данные за несколько лет и т. п.).

Промежуточные носители — перфолента, перфокарты, буферная МЛ — носят в технологической цепочке «временный», вспомогательный характер, и к макетам представления данных на этих носителях могут предъявляться меньшие требования. Основное, к чему следует стремиться, — это облегчение и сокращение ручного труда, затрачиваемого на перфорацию, и уменьшение ошибок, возникающих при перфорации и вводе в ЭВМ. Если данные переносятся с таблиц, то информация на промежуточном носителе должна идти в той же последовательности (по строкам или столбцам), как и на исходных таблицах. Между смысловыми группами цифр (результатами отдельных наблюдений, строками и т. д.) следует предусматривать разделительные знаки. В некоторых случаях таблицы содержат суммы (или средние) по строкам или столбцам (см., например, [13]), на которые может опираться процедура машинного контроля.

Этап 2 заключается в переводе данных на промежуточный носитель (перфорации) и является самым трудоемким во всей цепочке. В ответственных случаях, когда ошибки в архивных материалах недопустимы, а исходная информация не содержит данных, обеспечивающих контроль, приходится идти на усложнение процедуры — двойную перфорацию разными операторами с последующим автоматическим контролем на совпадение.

Этапы с 3-го по 6-й выполняются на ЭВМ. На этих этапах используются макеты, методы контроля, программы, разработанные в процессе методической подготовки. Как правило, данные первоначально накапливаются на промежуточной (буферной) МЛ (этапы 3, 4), а затем, по мере накопления в объеме, соответствующем одной архивной ленте, кодируются и записываются на архивные ленты (этап 5). В зависимости от конкретных условий основная обработка, включающая машинный контроль, расчет обобщенных характеристик, формирование данных в соответствии с макетом на архивных лентах, может вестись как перед записью на буферную МЛ, так и в процессе переписи с буферных лент на архивные.

Методы и алгоритмы контроля гидрометеорологической информации, основанные на временном и пространственном анализе метеорологических полей, а также на сравнении данных с нормами, разрабатывались рядом авторов [5, 6, 8 и др.]. Контроль такого типа позволяет обнаруживать все крупные ошибки случайного характера (промахи, сбои и т. п.) и обязательно должен применяться во всех случаях, когда характер архивной информации это допускает. Однако полностью устранить все, особенно мелкие ошибки, эти методы не могут. Поэтому наряду с объективными методами

контроля необходимо предусматривать контроль по различным формальным признакам, суммам и, наконец, субъективный контроль и редактирование специалистом — полностью всей информации или выборочный. Такой контроль может обеспечиваться выводом информации на дисплей или распечаткой.

В архивах, рассчитанных на систематическое пополнение, формирование буферных МЛ может занимать длительное время (0,5... 1 год и более). В этих случаях для устранения возможных ошибок следует применять помехоустойчивое кодирование информации также и на буферных лентах. Перед сдачей в архив архивная лента должна проходить окончательную проверку путем чтения и декодирования. Это позволяет выявить ошибки, возникающие из-за дефектов ленты или сбоев оборудования. В системе ЭВМ ЕС запись блоков на МЛ сопровождается автоматическим контролем по циклическому коду НМЛ ЕС. Однако в особо ответственных случаях такой контроль, совмещенный с записью, нельзя считать достаточным. Хорошая архивная лента после записи вообще не должна содержать ошибок. Однако, учитывая возможность незначительных дефектов и то, что для закодированных лент небольшое количество ошибок не представляет опасности, можно допускать некоторое количество ошибочных символов, обнаруживаемых и исправляемых кодовой защитой. Допустимый уровень начальных ошибок зависит от типа носителя. В настоящее время этот вопрос не изучен и нуждается в специальном исследовании.

По результатам заключительного контроля печатается справка, содержащая обозначение, номер и тип ленты, сведения о дате формирования, числе информационных зон и другую служебную информацию, включая результаты контроля (число и номера зон, содержащих ошибки). Справка сдается в архив вместе с лентой.

Если предусматривается создание дубликата архивной ленты, то после формирования основной архивной магнитной ленты (МЛАРО) снимается ее копия (МЛАРК), которая контролируется путем сравнения с МЛАРО или декодирования (этап 6), после чего обе ленты вместе со справками сдаются в архив.¹

Описанная технологическая схема создания архивных МЛ может считаться «базовой». В зависимости от конкретных обстоятельств возможны различные варианты. Рассмотрим основные из них.

Архив может создаваться на основе данных, уже накопленных на технических носителях, а также поступающих в ЭВМ непосредственно из каналов связи. В этих случаях схема упрощается, так как из нее устраняется самый трудоемкий этап — ручной набор (перфорация) данных. Необходимо только, чтобы используемые носители допускали ввод в ЭВМ — непосредственно или же с помощью соответствующих специализированных устройств. Поэтому

¹ Возможно и параллельное создание сразу двух архивных лент — МЛАРО и МЛАРК, но и в этом случае перед сдачей в архив обе ленты должны контролироваться.

при создании новых измерительных систем и планировании экспериментов следует заранее рассматривать вопрос о включении данных в архив и при необходимости осуществлять накопление результатов на удобном промежуточном носителе.

В некоторых случаях архивные ленты должны создаваться на базе информации, записанной на МЛ без помехоустойчивого кодирования и, возможно, первоначально не предназначавшейся для длительного хранения. Такой случай типичен для лент, поступающих в порядке обмена. Основная особенность этого варианта состоит в том, что обрабатываемая лента не удовлетворяет требованиям по размеру зон, образующих информационную основу кодируемых блоков. Если при этом переработка макетов размещения данных и их «перепаковка» нежелательны, то могут использоваться два способа.

Первый из них заключается в том, что в процессе переписи на архивную МЛ технологическая программа «механически» (т. е. без учета смыслового содержания блоков) «нарезает» информацию на нужные части, осуществляет кодирование и запись на архивную ленту. При обслуживании заявок и выдаче копий с архивных лент выполняется обратная процедура: декодирование с исправлением ошибок и восстановление первоначального макета.

Этому методу присущи серьезные недостатки:

а) архивной лентой невозможно пользоваться непосредственно (без обратной процедуры);

б) добавление 25... 35 % избыточных символов при кодировании требует формирования двух архивных лент из одной исходной, если последняя полностью заполнена информацией;

в) решение задач с использованием архивного материала может продолжаться многие месяцы (достигая иногда 1... 2 лет). Все это время рабочая лента остается незащищенной, вследствие чего могут возникать отказы при обнаружении ошибок средствами аппаратного контроля или даже ошибки в используемом материале.

Другой метод, свободный от первых двух из отмеченных недостатков, состоит в том, что избыточность вообще выносится на отдельную ленту. Одна такая лента, которую можно назвать защитной (ЗМЛ), придается 2—3 исходным МЛ и вместе с ними сдается в архив. Формирование ЗМЛ выполняет специальная технологическая программа, условно разделяющая информацию на блоки установленного размера, осуществляющая кодирование таких блоков и записывающая избыточные символы вместе с некоторой служебной информацией на ЗМЛ. Основное преимущество данного метода, который представляет значительный интерес, состоит в том, что исходная лента вообще никак не затрагивается в процессе архивации. Однако и этому методу свойственны некоторые недостатки, главным из которых является необходимость при работе с архивом всегда пользоваться двумя лентами вместо одной. Поэтому целесообразно в тех случаях, когда это возможно,

и в первую очередь при создании новых архивов придерживаться варианта с избыточностью, вынесенной в конец блоков.

Процедура пополнения архивных лент аналогична созданию новых лент. Основная особенность состоит в необходимости полностью устранить возможность повреждения записанного ранее материала. Так, при хранении двух экземпляров лент (МЛАРО и МЛАРК) следует сперва осуществлять дополнение МЛАРК, оставляя МЛАРО в архиве. Затем, после контроля и возврата МЛАРК в архив, аналогичная операция может проводиться с МЛАРО.

Отличия в технологической схеме создания архивов на фотооптическом носителе связаны со следующими особенностями микрофильма:

1. Запись информации на микрофильм и чтение с него не могут выполняться с помощью штатных устройств ЭВМ и требуют специального оборудования.

2. Значительную роль в создании микрофильмов играет фотохимическая обработка (проявление, копирование и т. п.), также требующая специального оборудования.

3. Фотопленка, в отличие от МЛ, представляет собой носитель разового действия; микрофильм не может пополняться, обновляться и т. п.

4. Устройства записи и чтения микрофильмов являются достаточно сложными и дорогими. К ЭВМ обычно подключается один комплект таких устройств. Запись на микрофильм и чтение с него осуществляются медленнее, чем при использовании МЛ. Эти особенности накладывают отпечаток на все этапы работы с архивами на микрофильмах, в том числе и на способ расположения избыточности. В частности, вынесение избыточности в конец микрофильма или на отдельные ленты оказывается неприемлемым; избыточная часть должна входить в состав закодированных блоков или выноситься в конец каждого блока.

При работе с фотоносителем и при длительном хранении могут возникать искажения такого же характера, как и при МЛ: независимые ошибки, пятна (пакеты ошибок) и сбои синхронизации [12]. Причем, если на МЛ вполне возможно получение архивных лент, первоначально (т. е. сразу после записи) вообще не имеющих дефектов¹, то для фотоносителей, особенно при высокой плотности записи, это практически неосуществимо. Поэтому мощное помехоустойчивое кодирование для архивов на фотоносителях необходимо в такой же и даже еще в большей степени, как и для архивов на МЛ.

На рис. 2 представлена типовая технологическая схема создания архивных лент на фотоносителе. Начальные этапы архивации (методическая подготовка, занесение данных на промежуточный носитель, ввод в ЭВМ, контроль, обработка, формирование зон и

¹ Это достигается, в частности, с помощью предварительного контроля МЛ и подтверждается практикой эксплуатации в ЭВМ МЛ, не имеющих серьезной кодовой защиты.

их защита) в этом случае не отличаются от соответствующих процедур для МЛ. На рис. 2 эти операции объединены в общую процедуру (этап 1), оканчивающуюся созданием технологической МЛ, на которой информация уже разбита на зоны требуемого размера и закодирована. На этапе 2 информация считывается с МЛ и поступает на устройство записи, где осуществляется экспонирование пленки. В этой операции участвуют ЭВМ со штатным накопителем на МЛ и устройство записи микрофильма, подключенное к ЭВМ.

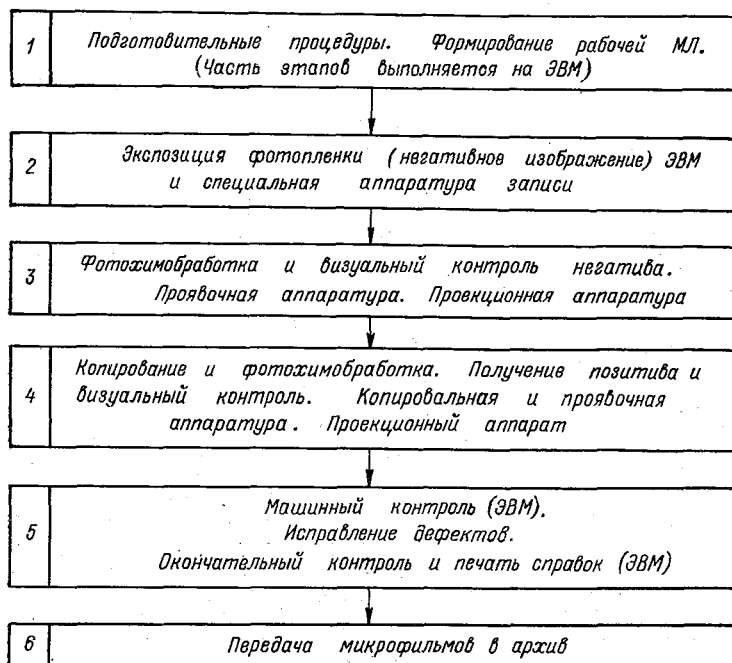


Рис. 2. Технологическая схема создания архивных лент на фотоносителе.

После фотохимобработки и визуального контроля негатива (этап 3) осуществляются копирование, фотохимобработка и визуальный контроль позитива (этап 4). Затем (этап 5) позитив поступает на машинный контроль (декодирование и подсчет ошибок). На этом этапе информация считывается с позитива и вводится в ЭВМ через устройство чтения. При обнаружении крупных дефектов или искажений отдельных символов в объеме, превышающем допустимую норму, производится исправление — путем повторного чтения поврежденного участка с МЛ, формирования негатива, обработки, копирования, формирования позитива и монтажа нового участка взамен старого. Экономические расчеты показывают, что наиболее выгодно исправление и монтаж вести крупными участками (например, содержащими до 100 закодированных блоков). После исправления, окончательного контроля и

печати справки негативная и позитивная ленты передаются в архив, а технологическая МЛ может использоваться для других работ.

Процедуры создания архивных лент связаны со значительными затратами труда и машинного времени. Поэтому стоимость лент с архивными данными довольно высока. Расчеты показывают, что суммарные затраты на архивацию (разумеется, без учета затрат на получение исходного материала) составляют: $(7 \dots 8) 10^{-5}$ руб/дв. символ для МЛ и ВПМКФ, $(2,5 \dots 3) 10^{-4}$ руб/дв. символ для БМКФ.

Таким образом, стоимость создания отраслевого архива среднего объема (около 10^4 бобин МЛ, 10^{12} дв. символов) для архивов на МЛ и ВПМКФ равна $(7 \dots 8) 10^7$ руб.

Структура этих затрат следующая:

80 % — ручная перфорация данных;

2 % — ввод в ЭВМ;

10 % — машинная обработка;

8 % — прочие затраты (методическая подготовка, контроль, кодирование, стоимость лент, копирование).

В связи с большими расходами на архивацию важное значение приобретает разработка организационно-технических мероприятий по снижению затрат. В этом направлении можно наметить ряд мер:

— совершенствование методики создания архивов: разработка унифицированных программ ввода, контроля, обработки материала; повышения эффективности используемых программ;

— снижение трудоемкости процедур занесения данных на промежуточные носители. В настоящее время для этой цели используются морально устаревшие носители (перфолента, перфокарты) и аппарата. Отсутствует визуальный контроль материала в процессе перфорации и возможность оперативного внесения исправлений;

— использование в качестве промежуточного носителя МЛ и аппаратуры для занесения данных ручного набора непосредственно на стандартную МЛ (ЕС 9002 и др.);

— развитие и внедрение более эффективных методов контроля информации, в том числе контроль с помощью цифровых дисплеев;

— создание специализированного технологического оборудования на базе малых ЭВМ, осуществляющих ввод информации с промежуточных носителей на буферную МЛ, контроль (с участием человека), помехоустойчивое кодирование, формирование архивных лент (магнитных и на фотоносителе), копирование и заключительный контроль;

— техническое совершенствование системы архивации на фотоносителе (повышение скорости записи и чтения, чтение негатива и позитива и др.).

Проведение этих и ряда других организационно-методических и технических мероприятий может дать очень крупный народнохозяйственный эффект.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алгоритмы и программы кодирования и декодирования четырехмерной кодовой матрицы/Г. А. Абашев и др.—Труды ГГО, 1975, вып. 347, с. 68—77.
2. Афиногенов Л. П. Длительное хранение информации при использовании помехоустойчивого кодирования и периодической регенерации.—Труды ГГО, 1975, вып. 347, с. 55—62.
3. Афиногенов Л. П. Можно ли длительно хранить информацию на магнитной ленте?—Метеорология и гидрология, 1974, № 11, с. 104—108.
4. Афиногенов Л. П. Особенности хранения информации при помехоустойчивом кодировании и дублировании.—Труды ГГО, 1977, вып. 377, с. 105—114.
5. Берлин И. А., Грошева Л. А., Школяр Л. Ф. Уточнение алгоритмов контроля срочной и ежедневной метеорологической информации.—Труды ГГО, 1976, вып. 375, с. 3—9.
6. Беспалов Д. П., Берлин И. А. Системы метеорологических наблюдений и автоматизация контроля качества метеорологической информации.—Изв. АН ЛатвССР, 1971, т. 4, с. 137—143.
7. Груза Г. В., Ранькова Э. Я. Организация метеорологических архивов для статистического анализа на ЭВМ.—Труды САРНИГМИ, 1974, вып. 11(92), с. 143—162.
8. Методические основы автоматической системы метеорологических наблюдений/Под ред. Д. П. Беспалова.—Л.: Гидрометеиздат, 1971.—120 с.
9. Ногтиков А. Н., Рыжих Е. П. Система перезаписи архивной гидрометеорологической информации с перфокарт на фотоноситель.—Труды ВНИИГМИ—МЦД, 1975, вып. 4, с. 3—7.
10. Помехоустойчивость многомерных кодовых матриц/Г. А. Абашев и др.—Труды ГГО, 1975, вып. 347, с. 78—91.
11. Программно-аппаратурный комплекс для накопления и обработки гидрометеорологической информации на фотооптическом носителе с высокой плотностью записи/Л. П. Афиногенов, А. А. Гуревич, Л. В. Деренченко и др.—Труды ВНИИГМИ—МЦД, 1976, вып. 12, с. 10—21.
12. Рыжих Е. П., Лукшин А. А. Статистика дефектов на фотооптическом носителе.—Труды ВНИИГМИ—МЦД, 1976, вып. 12, с. 57—63.
13. Солнечная радиация и радиационный баланс (мировая сеть).—Л.: изд. ГГО, 1964—1979.
14. Хетагуров Я. А., Руднев Ю. П. Повышение надежности цифровых устройств методами избыточного кодирования.—М.: Энергия, 1974.—272 с.

Л. П. Афиногенов, Е. П. Рыжих

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ АРХИВОВ НА ТЕХНИЧЕСКИХ НОСИТЕЛЯХ

Основными эксплуатационными процедурами при хранении информации на технических носителях являются периодический контроль, регенерация и использование архивных лент для обслуживания потребителей. При хранении на магнитных лентах (МЛ) применяются также периодическая перемотка и очистка [14].

Регенерация должна проводиться, когда из-за процессов старения в материале архивной ленты наступают (или приближаются) необратимые изменения, в ней накапливается много ошибок, число которых угрожает приблизиться к критической величине, с которой не может справиться система помехоустойчивого кодирования [1]. При регенерации информация считывается со старой ленты, производится декодирование с исправлением ошибок, затем информация вновь кодируется и записывается на новый носитель. Регенерация в сочетании с помехоустойчивым кодированием является единственным средством, позволяющим обеспечить надежное и длительное хранение информации [1].

При фиксированной системе кодирования период регенерации в принципе может быть рассчитан исходя из требований по надежности и сроку хранения [2], для чего необходимо знать характеристики старения носителя. Однако процесс старения, тем более для значительных интервалов времени, изучен мало и зависит от большого числа переменных факторов, с трудом поддающихся учету, качества пленки, условий хранения, интенсивности использования и др. В связи с этим вводится периодический контроль (сплошной или выборочный) архивных лент.

Контроль заключается в чтении ленты и подсчете числа накопленных ошибок. Возможность определения числа ошибок обеспечивается той же системой помехоустойчивого кодирования, и это является одним из важных требований к коду [13].

Период контроля выбирается так, чтобы на одну регенерацию приходилось несколько (например, 4—5) контрольных процедур. По результатам контроля принимается решение о продолжении хранения или регенерации архивной ленты.

Для снятия внутренних напряжений, возникающих в процессе хранения в бобинах МЛ в результате температурных и других деформаций, применяется периодическая перемотка, а для удаления частиц пыли и грязи — очистка МЛ. Как показали эксперименты [14], эти процедуры позволяют увеличить срок хранения и уменьшить число ошибок.

Обслуживание потребителей архивными данными осуществляется путем выдачи копий целых архивных лент или их отдельных частей. Использование самих архивных лент в процессе решения задач, как правило, не допускается. Копии выдаются на магнитных лентах, в том числе и при использовании в качестве архив-

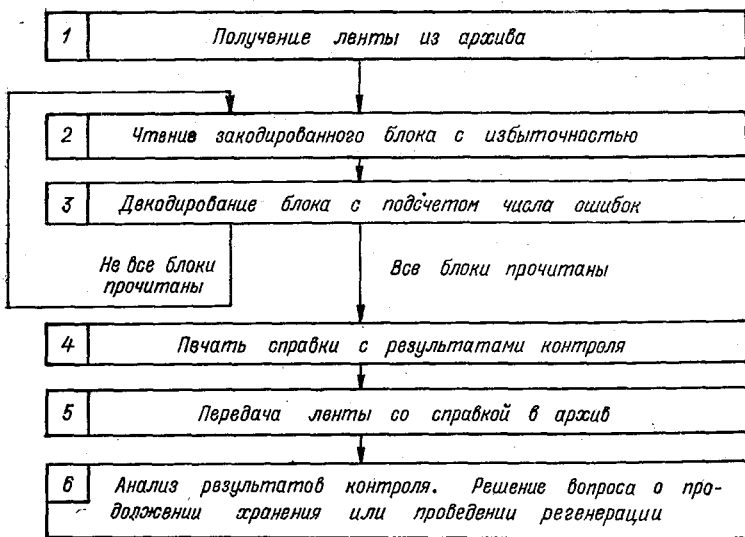


Рис. 1. Схема контроля архивных лент.

ных лент фотоносителей. При выдаче копии производится декодирование и исправление ошибок.

Рассмотрим подробнее организацию основных эксплуатационных процедур.

Контроль. На рис. 1 представлена блок-схема процедуры контроля, заключающаяся в чтении всей ленты, декодировании всех блоков с подсчетом числа ошибок и печати справки с результатами контроля. Исправление ошибок при контроле не производится, даже для МЛ, когда это в принципе возможно.

Процедура контроля несколько усложняется, когда контролю подвергаются МЛ с избыточностью, вынесенной на отдельные ленты. Поскольку для полного контроля и подсчета ошибок необходима избыточная часть, которая относится к нескольким (2—3) основным лентам [3], в контроле участвуют группа основных лент и относящаяся к ним одна «избыточная» лента. При

этом ошибки должны подсчитываться отдельно для основных и избыточной лент (программа декодирования может это обеспечить) с тем, чтобы решение о продолжении хранения или регенерации могло приниматься по каждой из лент независимо.

В архивах на фотоносителе, при отсутствии устройств, обеспечивающих чтение с негатива, контроль подвергаются только позитивные архивные ленты. Контроль негатива возможен лишь косвенно — путем изготовления с него позитивной копии с последующим чтением и декодированием. Невозможность непосредственного контроля негативной ленты является крупным недостатком, для преодоления которого необходима разработка (вернее, доработка существующих) устройств с тем, чтобы обеспечить чтение как негативных, так и позитивных лент.

Полный контроль, заключающийся в чтении и, главное, в декодировании всего содержимого архивных лент, обеспечивает наиболее достоверные результаты, но требует значительных затрат машинного времени. В связи с этим важное значение приобретают упрощенные методы, цель которых — дать достаточно точную оценку состояния архивных лент (в первую очередь фактической вероятности ошибок), не прибегая к полной процедуре декодирования. Упрощенные методы контроля также основаны на использовании разного рода избыточности (самого помехоустойчивого кода; кода, используемого для защиты лент аппаратными средствами; избыточности в сигналах при считывании с носителя отдельных символов). Существует ряд методов упрощенного контроля:

- упрощенные методы декодирования, когда без полного декодирования по косвенным характеристикам (например, по числу нарушенных проверочных равенств) дается оценка количества ошибок;

- использование аппаратных средств защиты в целях контроля (например, подсчет числа байтов с нарушенной четностью на МЛ);

- выборочный контроль, когда на основе чтения и декодирования части блоков делается вывод о состоянии всей ленты;

- выборочный контроль, когда по состоянию отдельных архивных лент судят о состоянии всего архива или его частей;

- контроль, основанный на чтении с несколькими (например, четырьмя) градациями верности и подсчете числа «сомнительных» символов [11], по числу которых дается оценка вероятности ошибок.

Упрощенные методы рассмотрены в статьях [4, 5], где подробно излагается методика, даются формулы для оценки фактической вероятности ошибок по результатам контроля и определяется необходимый объем выборки при выборочном контроле.

Результаты контроля оформляются в виде справки, которая вместе с лентой возвращается в архив (этапы 4, 5 на рис. 1). По этим результатам, в первую очередь по фактической вероятности ошибки или ее оценке, принимается решение о дальнейшем хранении ленты или ее регенерации. Методика анализа результатов

контроля рассматривается в [6]. Она основана на том, что на сравнительно коротком отрезке времени с момента предыдущего до данного контроля факторы старения можно считать приблизительно постоянными (не зависящими от времени). Исходя из этого определяются параметры уравнения старения [7] и находится его решение [8], а затем дается прогноз состояния ленты (количество информации, передаваемой матрицей старения, или вероятность ошибки) на момент следующего контроля. Прогнозируемое значение сравнивается с граничным (допустимым), зависящим от требуемой надежности, свойств кода и др. и выбираемым с достаточ-

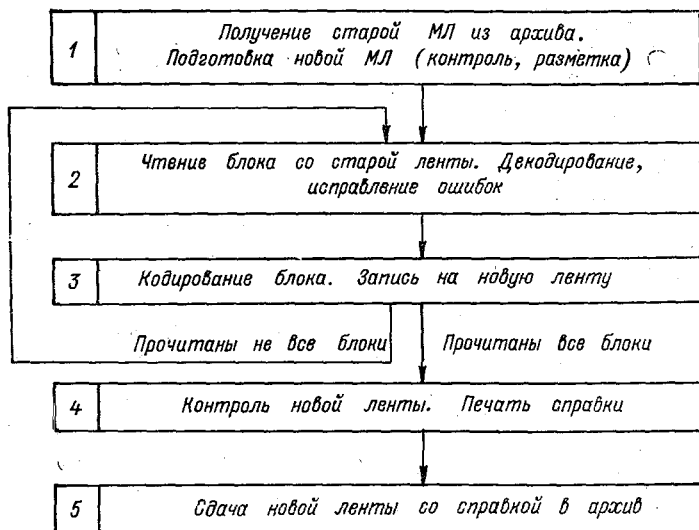


Рис. 2. Блок-схема регенерации архивной МЛ.

ным запасом. Если прогнозируемая ошибка меньше допустимой, принимается решение о продолжении хранения, в противном случае производится регенерация.

Регенерация. Процедура регенерации одной МЛ при избыточности, включенной в состав закодированных блоков (например, вынесенной в конец блоков), представлена на рис. 2. Основную роль играют операции 2 и 3; они осуществляют считывание закодированных блоков со старой МЛ, декодирование с исправлением ошибок, новое кодирование и запись на новую архивную ленту. Роль остальных операций ясна из подписей на рисунке. Отметим некоторые варианты схемы регенерации.

Если в архиве хранятся основные МЛ и их дубликаты, то регенерация по схеме (рис. 2) выполняется над каждой лентой независимо. Однако возможно и в ряде случаев целесообразно при регенерации даже одной ленты все же использовать основную ленту и ее дубликат в общей процедуре декодирования [9]. Это

позволяет увеличить помехоустойчивость, производить регенерацию при большем уровне ошибок (иногда исправление двух лент возможно даже в том случае, когда каждая из лент по отдельности уже исправлению не поддается). Процесс регенерации с использованием двух архивных лент должен осуществляться в следующей последовательности:

а) из архива поступает одна из лент (например, основная) и с нее снимается копия на промежуточную ленту без декодирования и исправления ошибок;

б) исходная лента возвращается в архив и взамен ее поступает вторая лента (дубликат);

в) обе ленты (копия основной и дубликат, полученный из архива) читаются поблочно, и каждый блок, считанный «в двух экземплярах» (с дубликата и копии основной ленты) декодируется общей программой декодирования [10] с исправлением ошибок;

г) каждый исправленный блок вновь кодируется и записывается на новую МЛ;

д) после записи на новую МЛ производится контроль, по результатам которого печатается справка, и вновь созданная МЛ вместе со справкой поступает в архив взамен той из лент-дубликатов, которая подвергалась регенерации.

Если регенерации должны подвергаться одновременно обе архивные ленты (такое событие, вообще говоря, маловероятно), то с вновь созданной МЛ снимается копия, контролируется и обе новые ленты со справками сдаются в архив, заменяя две старые ленты.

Характерной чертой описанной процедуры является то, что из архива никогда не изымаются одновременно сразу обе дублированные ленты, что обеспечивает сохранность архивных лент.

Хотя процедура регенерации по двум лентам позволяет значительно увеличить помехоустойчивость системы, однако ей свойственны и недостатки: более сложный алгоритм декодирования и необходимость работать одновременно с двумя лентами. Поэтому такую процедуру целесообразно применять только в особых случаях.

Регенерация усложняется также, когда избыточность вынесена на отдельную МЛ. В этом случае процедура регенерации проходит различно для информационной и избыточной лент.

При регенерации информационной ленты последняя используется вместе с относящейся к ней избыточной. Данные считываются с информационной ленты, разбиваются на блоки в соответствии с помехоустойчивым кодом; одновременно с избыточной лентой считываются соответствующие этим блокам избыточные части, осуществляется декодирование с исправлением ошибок только в информационных частях блоков, затем исправленные информационные блоки «перепакуются» в соответствии с макетом информационной ленты и записываются на новую ленту. После этого новая лента контролируется и вместе со справкой

возвращается в архив взамен старой информационной ленты. Избыточная лента также возвращается в архив.

В регенерации избыточной ленты участвует группа информационных лент, относящихся к данной избыточной. Процесс протекает в основном аналогично предыдущему, только исправления вносятся в избыточные части блоков, которые в исправленном виде записываются на новую избыточную ленту. Затем избыточная лента контролируется (в контроле также участвуют все информационные ленты) и со справкой возвращается в архив взамен старой. Информационные ленты также возвращаются в архив. В частном случае возможна также одновременная регенерация группы МЛ, состоящей из трех информационных и одной избыточной.

Из описанного видно, что процесс регенерации, как и процесс контроля, для МЛ с избыточностью, вынесенной на отдельные ленты, протекает значительно сложнее, чем при избыточности, внесенной в состав блоков.

В архивах на фотоносителях процедура регенерации для позитивных и негативных лент осуществляется по-разному. Если в регенерации нуждается позитивная лента, то снимается копия с негативной ленты, подвергается машинному контролю и со справкой сдается в архив. Этот процесс ничем существенным не отличается от изготовления позитивной копии при первоначальном формировании архива (см. [3]) и не является регенерацией в строгом смысле.

Так как негативные архивные ленты непосредственно читаться не могут, необходимость в их регенерации выявляется при копировании, когда в результате контроля обнаруживается большое количество ошибок на позитивной копии. Сам процесс регенерации аналогичен созданию архивных лент [3], причем источником информации в данном случае является позитивная лента. Она считывается в ЭВМ, декодируется и в исправленном виде заносится в память (или на промежуточную МЛ). После этого выполняются те же процедуры, что и при формировании архива — экспозиция, фотохимическая обработка с получением негатива, копирование, фотохимическая обработка и получение позитива, контроль.

Следует, однако, заметить, что, по современным оценкам, период регенерации для фотооптических носителей велик [12] и может достигать десятков (до ста) лет и более. В связи с этим моральное старение существующих и разработка новых, более современных технических систем может привести к тому, что для архивов на фотоносителях регенерация фактически будет протекать совершенно иным образом и сведется к переносу информации (разумеется, с исправлением накопленных ошибок) на новый носитель уже в новой системе хранения.

Обслуживание потребителей архива. Гидрометеорологические архивы используются для выдачи различных справок, обобщений и материалов для работ, связанных с решением народнохозяйственных и научно-исследовательских задач. В большинстве случаев

работа с архивными материалами связана с многократными обращениями к лентам и требует длительного времени. Поэтому потребителям выдаются не сами архивные ленты, а только копии на МЛ. Это необходимо также для обеспечения сохранности архива.

Выдача копий может обеспечиваться с помощью следующих четырех процедур:

- копирование архивной МЛ со снятием избыточности;
- копирование архивной МЛ с сохранением избыточности;
- перевод информации с микрофильма на МЛ со снятием избыточности;
- перевод информации с микрофильма на МЛ с сохранением избыточности.

Хотя снятие копий сопровождается декодированием и исправлением ошибок, сохранение избыточности может оказаться полезным, если копия должна использоваться длительное время или передается в другие организации в порядке обмена. Пока копия находится в хорошем состоянии, потребитель может на избыточные символы, вынесенные в конец блоков, не обращать внимания. Однако, когда в ходе эксплуатации на ленте потребителя возникают ошибки, сохраненная избыточность позволяет потребителю пользоваться лентой, не обращаясь в архив за новой копией. Правда, для этого он должен располагать программой декодирования и уметь ею пользоваться.

Процедура копирования выглядит достаточно просто:

а) группа обслуживания по заявке потребителя получает из архива нужную МЛ или микрофильм (или две МЛ, если избыточность вынесена на отдельную МЛ);

б) осуществляется чтение блоков архивной ленты (или двух лент), декодирование, исправление ошибок и запись исправленного материала на ленту-копию;

в) архивные ленты возвращаются в архив, причем в учетных документах делается отметка об использовании, а копия выдается потребителю.

Так же, как при контроле и регенерации, процедура копирования МЛ с избыточностью, вынесенной на отдельные ленты, протекает сложнее.

От этого основного порядка обслуживания, предполагающего работу с архивными лентами только путем снятия копий, может все же быть сделано некоторое отступление. Дело в том, что копирование все равно связано с однократным чтением архивных лент. Вместе с тем, достаточно часто потребителю тоже требуется только однократное обращение к ленте, причем даже не ко всей, а к ее части, иногда незначительной. В этом случае нет смысла снимать копию со всей архивной ленты. Поэтому к перечисленным выше четырем процедурам обслуживания целесообразно присоединить еще две:

— чтение части блоков (по указанию потребителя) с архивной МЛ, декодирование со снятием избыточности и передача в память ЭВМ;

— аналогичная процедура для микрофильма.

Поступившая в ЭВМ информация используется потребителем, а архивные ленты возвращаются в архив.

К информации, выдаваемой потребителю, как правило, предъявляются меньшие требования в отношении надежности, чем к процедуре регенерации, поскольку полный срок хранения может включать очень много регенераций, а общая надежность (вероятность правильного воспроизведения в конце срока хранения) представляет собой произведение вероятностей правильного чтения при каждой регенерации. Такое снижение требований (когда оно допустимо) позволяет при выдаче копий использовать более простые алгоритмы декодирования.

Иногда при хорошем состоянии архивных лент можно считать достаточными имеющиеся системно-аппаратные средства защиты (например, средства контроля и исправления ошибок по одной дорожке, использующиеся для защиты магнитных лент в НМЛЕС). Вместе с тем, при регенерации этих средств, безусловно, недостаточно, так как слишком велика вероятность отказов и даже ошибок.

В заключение отметим, что поскольку процедура копирования архивных лент сопровождается декодированием, то ее удобно совмещать с контролем. В этом случае по результатам декодирования должна оформляться справка с указанием числа ошибок. В «активных» архивах с интенсивным использованием лент это может создать экономию за счет устранения отдельных процедур контроля.

Пути снижения затрат на содержание архивов и выводы.

Как показывают расчеты, затраты на хранение (содержание помещения, трудовые затраты, технологические процедуры) составляют $2 \cdot 10^{-7}$ руб/дв. символ в год для магнитной ленты; $3,8 \cdot 10^{-8}$ руб/дв. символ в год для микрофильма (с высокой плотностью записи) (ВПМФ 100 дв. симв/мм²); $1,3 \cdot 10^{-6}$ руб/дв. символ в год для бинарного микрофильма с низкой плотностью записи (БМ 4 дв. симв/мм²). Для архива объемом 10^{12} дв. символов (около 10^4 бобин МЛ) это составит соответственно $2 \cdot 10^5$; $3,8 \cdot 10^4$; $1,3 \cdot 10^6$ руб/год. Основную долю затрат составляют расходы, связанные с регенерацией. Уменьшение стоимости хранения на ВПМФ по сравнению с МЛ объясняется главным образом большим периодом регенерации (100 лет для ВПМФ и 10 лет для МЛ).

Расходы на однократное обслуживание для МЛ и ВПМФ составляют соответственно $2,3 \cdot 10^{-6}$ и $2,7 \cdot 10^{-6}$ руб/дв. символ. При оценке затрат предполагалось, что для выполнения технологических работ используются сравнительно крупные универсальные ЭВМ (например, ЕС 1022 и т. п.). Расчеты показывают, что при использовании специального технологического оборудования на базе малых ЭВМ затраты могут быть снижены в 3... 5 раз. Дальнейшее снижение затрат может быть достигнуто путем совмещенных процедур контроля и снятия копий при обслуживании

потребителей, увеличением периода регенерации, рациональным выбором типа носителя (МЛ для «активных», интенсивно используемых архивов, ВПМФ для архивов со средней и малой интенсивностью). Эти и ряд других путей повышения эффективности систем хранения информации нуждаются в исследованиях и методической проработке, но ввиду больших затрат на архивацию данных (особенно в масштабе всей страны) эффективность этих исследований будет весьма велика.

Анализ технологических процессов и затрат позволяет сделать ряд выводов, направленных на повышение эффективности эксплуатации архивов и снижение затрат.

1. С эксплуатационной точки зрения, наиболее удобным является размещение избыточности вместе с основной информацией на одной архивной ленте (избыточные символы вынесены в конец блоков). Поэтому при создании новых архивов следует стремиться именно к этому варианту.

2. При хранении двух экземпляров архивных лент надежность системы может быть повышена путем совместного декодирования общей программой. Однако при этом процедура регенерации усложняется.

3. Для архивов на микрофильмах читающие устройства должны обеспечивать чтение как позитивных, так и негативных лент

4. Необходимо определить состав и разработать специальное технологическое оборудование на базе малых ЭВМ с целью снижения затрат на выполнение технологических процедур.

5. Следует развивать научно-исследовательскую и методическую работу по разработке методов повышения эффективности эксплуатации архивов и снижения затрат.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Афиногенов Л. П. Длительное хранение информации при использовании помехоустойчивого кодирования и периодической регенерации.— Труды ГГО, 1975, вып. 347, с. 55—62.

2. Афиногенов Л. П. Расчет периода регенерации в технических системах хранения информации.— Труды ГГО, 1979, вып. 433, с. 74—80.

3. Афиногенов Л. П., Рыжих Е. П. Технологические процессы создания архивов на технических носителях.— См. наст. сб., с. 65—77.

4. Афиногенов Л. П. Упрощенные методы контроля архивных лент.— Труды ВНИИГМИ—МЦД, 1980, вып. 67, с. 84—91.

5. Афиногенов Л. П. Выборочный контроль архивных лент.— Труды ВНИИГМИ—МЦД, 1980, вып. 67, с. 92—100.

6. Афиногенов Л. П. Анализ результатов контроля архивных лент.— Труды ГГО, 1979, вып. 433, с. 81—84.

7. Афиногенов Л. П. Матричная модель старения при длительном хранении информации.— Труды ГГО, 1975, вып. 347, с. 30—40.

8. Афиногенов Л. П. Решение уравнения старения в некоторых частных случаях.— Труды ГГО, 1975, вып. 347, с. 41—46.

9. Афиногенов Л. П. Особенности хранения информации при помехоустойчивом кодировании и дублировании.— Труды ГГО, 1977, вып. 377, с. 105—118.

10. Афиногенов Л. П. Использование дубликатов архивных лент для увеличения помехоустойчивости в системах длительного хранения информации.— Труды ВНИИГМИ—МЦД, 1978, вып. 41, с. 40—46.

11. Бородин Л. Ф. Введение в теорию помехоустойчивого кодирования.— М.: Советское радио, 1968.— 473 с.

12. Попов М. А. Хранение микрофильмов. Применение микрофильмирования и электрографии при обработке технической документации.— В кн.: Сб. статей, составленных по докладам специалистов на междуведомственном научно-координационном совете по микрофильмированию. Тула, 1971, с. 14—31.

13. Требования к помехоустойчивому кодированию гидрометеорологической информации/Г. А. Абашев и др.— Труды ГГО, 1975, вып. 347, с. 63—67.

14. Устинов В. В. Способы увеличения срока службы магнитных лент.— Техника кино и телевидения, 1972, № 5, с. 74—81.

Ю. В. Виноградов, Л. Е. Рудельсон

**О РАСЧЕТЕ БУФЕРНЫХ ЗОН ДЛЯ ПРИЕМА
МЕТЕОСООБЩЕНИЙ В ЦЕНТРАЛЬНОМ
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОМ КОМПЛЕКСЕ
АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ
ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ**

Организация обработки метеосообщений [4] в Центральном вычислительном комплексе (ЦВК) автоматизированной системы управления воздушным движением (АС УВД) выдвигает ряд инженерных и теоретических проблем, типичных для проектирования вычислительного процесса в управляющих ЭВМ реального времени. Одной из таких проблем является расчет объема буферных накопителей (БН) для приема метеосообщений.

Необходимость введения БН диктуется, как известно, нерегулярностью поступления сообщений. Обработка содержащейся в них информации в правильно рассчитанном по производительности ЦВК может быть выполнена в среднем на достаточно продолжительном интервале времени. Однако в динамике вычислительного процесса возможно поступление большого числа входных сообщений на малых отрезках времени. В таких ситуациях ресурс ЦВК оказывается недостаточным для обработки всей принятой информации.

Большие запросы памяти ЦВК под каждую кодограмму метеосообщений, с одной стороны, и необходимость запоминания всей существенной информации из нерегулярного входного потока, с другой, позволяет сформулировать типичную экстремальную задачу: при допустимых значениях вероятности π потери метеосообщения минимизировать потребности в памяти для организации БН.

Данная задача может решаться известными методами [1] в предположении однородности поступающих сообщений. Метеоинформация, как известно, не удовлетворяет этому ограничению. Сообщения различаются как по уровню приоритетности, так и по

времени их обработки. Для установления зависимости между вероятностью π потери сообщений (заявок) разных приоритетов и объемом БН с учетом различия в длительности их обработки сформулируем и рассмотрим частную модель вычислительного процесса в ЦБК АС УВД.

Пусть система обслуживает с относительными приоритетами m типов входных сообщений. Прием кодограмм осуществляется в общий БН объемом r по принципу приоритетной записи, т. е. при отсутствии свободных мест для ожидания заявки высокого приоритета (ЗВП) могут вытеснять из БН заявки низкого приоритета (ЗНП), причем последние при этом теряются. Будем считать, что каждый i -й поток сообщений ($i = 1, m$) простейший с интенсивностью λ_i , т. е. имеет пуассоновское распределение моментов поступления на интервале времени t :

$$P_k = \frac{(\lambda_i t)^k}{k!} e^{-\lambda_i t}.$$

Обслуживание (время обработки) аппроксимируется экспоненциальным распределением с параметром μ_i . Суммарная загрузка системы $\sum_{i=1}^m \rho_i \leq 1$, где $\rho_i = \lambda_i / \mu_i$ — загрузка ЦБК сообщениями i -го типа, равная отношению интенсивности i -го потока к параметру его обслуживания.

Основные закономерности вычислительного процесса проследим на примере ЦБК, на вход которого поступают два входных потока ($m = 2$).

Специфика обслуживания в такой системе состоит в предоставлении потоку ЗВП ($i = 1$) все объема БН, равного r . По окончании обработки очередного сообщения, согласно принципу приоритетной записи, назначается на обслуживание заявка первого типа и подобные назначения повторяются до полного освобождения системы от заявок этой категории. Лишь при отсутствии в БН ЗВП ЦБК переходит к обработке сообщений второго типа. Начиная с этого момента и на все время T_2 обслуживания одной ЗНП, средняя продолжительность которого составляет $T_2 = 1/\mu_2$, ЦБК как бы выпадает из контура обслуживания ЗВП. По окончании обработки ЗНП ЦБК вновь возвращается к поступившим за время T_2 ЗВП.

Очевидно, что влияние характеристик потока ЗНП на обслуживание ЗВП проявляется лишь во время занятости ЦБК низкоприоритетными сообщениями. Это влияние выражается в том, что за время T_2 обслуживания одной ЗНП в общем БН образуется очередь ЗВП длиной L_1 . Величину этой очереди нетрудно оценить обоснованным в [3, 4] выражением для ее наиболее вероятного значения: $L_1 = (1 + \theta^2) \lambda_1 t$, где t — рассматриваемый интервал

времени, $\vartheta = \sigma/\mu$ — коэффициент вариации, равный отношению среднего квадратического отклонения к среднему значению времени обслуживания заявки. В нашем случае

$$L_1 = (1 + \vartheta^2) \lambda_1 T_2 = (1 + \vartheta^2) \rho_1 \gamma,$$

где $\gamma = T_2/T_1 = \mu_1/\mu_2$ — соотношение параметров обслуживания заявок.

Основываясь на введенном в [5] допущении о возможности замены случайной величины очереди ее вероятным значением, будем считать, что за время обслуживания одной ЗНП, средняя продолжительность которого T_2 , в общем БН накапливается очередь ЗВП длиной L_1 , причем выполняется условие

$$L_1 = (1 + \vartheta^2) \rho_1 \gamma \leq r. \quad (1)$$

При этом характеристики потока ЗНП практически не оказывают влияния на обслуживание сообщений первого типа. Все L_1 ЗВП размещаются в БН и по окончании обработки сообщений второго типа последовательно принимаются к обслуживанию.

Вероятность π_1 потери ЗВП можно при этом приближенно оценить по известной [3, 6] формуле, связывающей значения r и π :

$$\pi_1 = \frac{\rho_1^r (1 - \rho_1)}{1 - \rho_1^{r+1}}, \text{ если } (1 + \vartheta^2) \rho_1 \gamma \leq r.$$

Показатель степени при ρ_1 уменьшен на единицу [3], так как ЦВК в течение времени T_2 занят обслуживанием ЗНП.

В случае выполнения условия (1) ЗВП занимает все r мест для ожидания и часть их, равная $L_1 - r$, теряется, причем доля ξ_1 потери ЗВП в сеансе обслуживания одной ЗНП равна

$$\xi_1 = \frac{L_1 - r}{L_1} = 1 - \frac{r}{(1 + \vartheta^2) \rho_1 \gamma}.$$

Вероятность события, при котором теряется ξ_1 ЗВП, определяется загрузкой ρ_2 ЦВК сообщениями второго типа, вероятностью P_n наличия в БН хотя бы одного места, свободного от ЗВП, равной [3]

$$P_n = (1 - \rho_1^r) (1 - \rho_1^{r+1})^{-1},$$

и вероятностью P_2 обслуживания ЗНП, причем $P_2 = 1 - \pi_2$. Последнюю при невыполнении условия (1) нетрудно рассчитать, исходя из тех соображений, что все ЗНП, за исключением одной, уже принятой к обслуживанию, будут за время T_2 вытеснены из

общего БН накапливающейся очередью L_1 ЗВП. Следовательно, при $L_1 > r$ наиболее вероятная величина объема БН для хранения ЗНП составляет всего одно место. Вероятность π_2 потери ЗНП [3] в этом случае будет $\pi_2 = \rho_2 / (1 + \rho_2)$. Суммирование загрузок по обоим потокам подчеркивает тот факт, что обслуживание ЗНП возможно лишь при отсутствии в БН ЗВП. Формула для π_1 имеет вид

$$\pi_1 = \frac{\rho_1^r (1 - \rho_1)}{1 - \rho_1^{r+1}} + \delta \rho_2 \frac{1 - \rho_1^r}{1 - \rho_1^{r+1}} \frac{1}{1 + \rho_2} \left(1 - \frac{r}{(1 + \theta^2) \rho_1 \gamma} \right), \quad (2)$$

где

$$\delta = \begin{cases} 1, & \text{если } (1 + \theta^2) \rho_1 \gamma > r, \\ 0 & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

При выполнении условия (1) зона общего БН, свободная от ЗВП, возрастает от одного места до величины $r' = r - (1 + \theta^2) \rho_1 \gamma$, и следовательно,

$$\pi_2 = (1 - \delta) \frac{\rho_2^{r - (1 + \theta^2) \rho_1 \gamma} (1 - \rho_2)}{1 - \rho_2^{r + 1 - (1 + \theta^2) \rho_1 \gamma}} + \delta \frac{\rho_2}{1 + \rho_2}. \quad (3)$$

Очевидно, что справа от точки $L_1 = r$ потери заявок резко возрастают по обоим потокам. Минимальные значения π_1 и π_2 достигаются при $\gamma = 1$, т. е. при равенстве $T_1 = T_2$. Выражения (2) и (3) при заданных допустимых вероятностях потерь сообщений дают возможность рассчитать необходимый объем общего БН при известной загрузке ЦВК и соотношении $\gamma = T_2 / T_1$ времен их обработки. Особенно упрощается расчет в области слева от точки $L_1 = r$, определяемой критическим значением $\gamma_{кр} = r / (1 + \theta^2) \rho_1$:

$$r = \frac{(1 + \theta^2) \rho_1 \gamma \ln(\pi_2 \rho_2) - \ln[(1 - \rho_2)(1 - \pi_2)]}{\ln \rho_2}.$$

На основе рассуждений, аналогичных приведенным выше, можно сформулировать модель обслуживания в системе с произвольным числом m типов сообщений. Условие (1) преобразуется к виду

$$(1 + \theta^2) \gamma_m \sum_{i=1}^{m-1} \frac{\rho_i}{\gamma_i} \leq r, \quad (4)$$

где $\gamma = \mu_1 / \mu_2$ — соотношение параметров обслуживания заявок первого и i -го типов.

Вероятность потери заявки k -го типа, произвольно выбранного в шкале приоритетов, определяется составным выражением

$$\pi_k = \begin{cases} \pi_k^{(-)} - \frac{\left(\sum_{i=1}^k \rho_i\right)^{r_k} \left(1 - \sum_{i=1}^k \rho_i\right)}{1 - \left(\sum_{i=1}^k \rho_i\right)^{r_k+1}}, & \text{если } (1 + \vartheta^2) \gamma_k \sum_{i=1}^k \frac{\rho_i}{\gamma_i} \leq r_k; \\ \pi_k^{(-)} + \sum_{j=k+1}^m \delta_{jk} \rho_j \frac{1 - \left(\sum_{i=1}^{j-1} \rho_i\right)^{r_k}}{1 - \left(\sum_{i=1}^{j-1} \rho_i\right)^{r_k+1}} \frac{1}{1 + \sum_{i=1}^j \rho_i} \times \\ \times \left[1 - \frac{\gamma_k r_k}{(1 + \vartheta^2) \gamma_k \sum_{i=1}^{j-1} \frac{\rho_i}{\gamma_i}} \right], & \text{если } (1 + \vartheta^2) \gamma_k \sum_{i=1}^{k-1} \frac{\rho_i}{\gamma_i} < \\ < r_k \leq (1 + \vartheta^2) \gamma_k \sum_{i=1}^k \frac{\rho_i}{\gamma_i}; \\ \left(\sum_{i=1}^k \rho_i\right) \left[1 + \left(\sum_{i=1}^k \rho_i\right)^2 \right]^{-1}, & \text{если } (1 + \vartheta^2) \gamma_k \sum_{i=1}^k \frac{\rho_i}{\gamma_i} > r_k, \end{cases} \quad (5)$$

где

$$r_k = r - (1 + \vartheta^2) \gamma_k \sum_{i=1}^{k-1} \frac{\rho_i}{\gamma_i};$$

$$\delta_{jk} = \begin{cases} 1, & \text{если } (1 + \vartheta^2) \gamma_k \sum_{i=1}^{k-1} \frac{\rho_i}{\gamma_i} > r, \\ 0 & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Значение необходимого объема БН при заданной допустимой вероятности потери заявки вычисляется по формуле

$$]r[= \frac{\left[(1 + \vartheta^2) \gamma_k \sum_{i=1}^{k-1} \frac{\rho_i}{\gamma_i} \right] \ln \left(\pi_m \sum_{i=1}^k \rho_i \right) - \ln \left[\left(1 - \sum_{i=1}^k \rho_i \right) (1 - \pi_m) \right]}{\ln \left(\sum_{i=1}^k \rho_i \right)}, \quad (6)$$

где символ $]r[$ соответствует ближайшему большему целому.

Выражение (6) позволяет при известных пороговых значениях вероятностей потери заявки и известных параметрах λ_i входных потоков сообщений и μ_i их обработки рассчитать необходимый объем БН. При использовании этой формулы следует помнить, что, помимо обычных для теории массового обслуживания ограничений на характеристики входных потоков (стационарность, ординарность, отсутствие последствия) и обслуживание (экспоненциальное распределение времени), имеет место допущение о правомер-

ности замены величины очереди в БН ее наиболее вероятным значением. Возможность такой замены обоснована в [5] методом статистического моделирования.

Таким образом, выражение (6) дает ориентировочное значение необходимого числа мест для ожидания. Дальнейшее уточнение полученного результата производится разработчиком с помощью статистического моделирования на ЦВМ или в процессе стендовых испытаний. Следует заметить, что на этапе проектирования, когда исходные данные для расчета (λ_i , μ_i) известны лишь приблизительно, от расчетных формул нет смысла требовать большей точности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Артомонов Г. Г. Анализ производительности ЦВМ методами теории массового обслуживания.— М.: Энергия, 1972.
2. Башарин Г. П. Об однолинейной системе с эрланговским распределением времени обслуживания для заявок различных видов.— Изв. АН СССР. Техническая кибернетика, 1966, № 3.
3. Вентцель Е. С. Теория вероятностей.— М.: Физматгиз, 1968.
4. Веселкин А. Е., Моисеев Ю. Ф., Хорьков О. М. Структура информационного обмена метеоинформацией в автоматизированной системе управления воздушным движением (УВД).— Труды ГГО, 1978, вып. 416.
5. Рудельсон Л. Е. К вопросу о выборе способа распараллеливания вычислений в многопроцессорных управляющих системах.— Изв. АН СССР. Техническая кибернетика, 1975, № 3.
6. Саати Т. Л. Элементы теории массового обслуживания и ее приложения.— М.: Советское радио, 1971.

А. А. Афанасьев

К ВОПРОСУ ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ ПОСАДОЧНОЙ ДАЛЬНОСТИ ВИДИМОСТИ

В настоящее время в связи с выполнением полетов в сложных метеорологических условиях существенно возросли требования, предъявляемые к метеорологической информации, предоставляемой потребителям на аэродроме. Информация о метеорологической дальности видимости (S_M), получаемая по прозрачности слоя атмосферы протяженностью 50... 100 м на уровне 2... 5 м и затем распространяемая на всю зону посадки, по-видимому, скоро перестанет удовлетворять потребителей. Поэтому представляется актуальной разработка методов и алгоритмов определения дальности видимости ВПП (посадочной дальности видимости S_{II}) как величины комплексной, зависящей от ряда параметров и условий. Такую возможность предоставляют автоматизированные системы сбора и обработки метеорологической информации [4], допускающие использование достаточно сложных алгоритмов обработки в реальном масштабе времени.

Определим S_{II} как расстояние до точки на глиссаде снижения, в которой пилот установит визуальный контакт с ВПП при конкретных яркостных характеристиках ВПП, фона, участка атмосферы по глиссаде и имеющихся условиях помутнения. Существует два основных подхода к решению задачи о нахождении S_{II} . В работе [1] они классифицированы как «дифференциальный» и «интегральный». Первый имеет целью получение информации о световом поле в среде с определенным показателем ослабления света, обусловленным источником (источниками) с известными параметрами (см., например, [5, 7]). Недостаток этого подхода заключается в сложности получающихся уравнений. Даже в простейших, идеализированных случаях они решаются лишь численными методами.

Второй подход позволяет получить значение дальности видимости объекта произвольной яркости на произвольном фоне при условии знания ряда параметров, входящих в уравнения.

В настоящей работе ставится задача оценки возможности и алгоритма извлечения информации о дальности видимости ВПП,

пригодной для использования на аэродроме, следуя второму подходу. Предполагается организация градиентных измерений ряда параметров, а также обработка исходных данных автоматизированным комплексом.

Запишем уравнение дальности видимости реального объекта (в данном случае ВПП) в самом общем виде [1]:

$$\int_0^L \alpha(l) dl = \ln \left(\frac{K_0}{K} \right) + \ln \frac{B_{\phi_0}}{B_{\phi}} \quad (1)$$

или

$$\int_0^{S_{\Pi}} \alpha(l) dl = \ln \left(\frac{K_0}{\epsilon} - 1 \right) + \ln \frac{B_{\phi_0}}{\beta_{S_{\Pi}}}, \quad (2)$$

где $K_0 = \frac{B_{\phi_0} - B_{M_0}}{B_{\phi_0}}$ — истинный контраст ВПП и фона (B_{ϕ_0} , B_{M_0} — соответственно большее и меньшее из истинных яркостей ВПП ($B_{ВПП_0}$) и фона (B_{ϕ_0})); $K = \frac{B_{\phi} - B_M}{B_{\phi}}$ — кажущийся контраст ВПП и фона (B_{ϕ} , B_M — соответственно большее и меньшее из кажущихся яркостей ВПП ($B_{ВПП}$) и фона (B_{ϕ})); $\alpha(l)$ — текущие значения показателя ослабления света; $\beta_{S_{\Pi}}$ — яркость слоя дымки, протяженность; ϵ — пороговый контраст на обнаружение.

Формулы (1), (2) связывают S_{Π} с характеристиками ВПП, фона и слоя атмосферы, в котором происходит посадка, причем требование однородности отсутствует. Дальность видимости ВПП в каждой конкретной ситуации определяется не только прозрачностью атмосферы, а целым комплексом параметров.

Таким образом, необходимо рассмотреть две задачи:

— определить возможность и методику измерения исходных параметров, а также рассмотреть алгоритм их обработки с целью получения информации о S_{Π} ;

— исследовать изменчивость и реальные веса, с которыми исходные параметры входят в расчеты.

При определении S_{Π} по (2) следует исходить из следующих соображений:

— пилот должен уверенно обнаружить ВПП хотя бы на уровне порогового контраста, находясь на высоте принятия решения H_{Π} ;

— в процессе посадки он не должен терять визуальный контакт с ВПП ни в одной точке глиссады ниже H_{Π} .

Искомая величина S_{Π} входит в левую часть уравнения (2) в качестве верхнего предела интеграла. В принципе, среднее значение показателя ослабления $\bar{\alpha}$ на промежутке длиной S_{Π} правильно определяет условие видения [3]:

$$\int_0^{S_{\Pi}} \alpha(l) dl = \bar{\alpha} S_{\Pi}.$$

Однако, поскольку S_{π} заранее неизвестно, и если измерять на аэродроме $\bar{\alpha}$, то возникает неопределенность в расстоянии, на котором надо осреднять $\alpha(l)$. При произвольном выборе промежутка осреднения (например, по эксплуатационному минимуму) появляется значительная дополнительная погрешность.

Для определения левой части (2) целесообразным представляется послойное (с некоторой дискретностью Δl_k) измерение среднего показателя ослабления $\bar{\alpha}_k$ в слое протяженностью Δl_k . В этом случае (1) можно представить в виде

$$\lim_{\Delta l_k \rightarrow 0} \sum_{k=1}^{n=L/\Delta l_k} \bar{\alpha}_k \Delta l_k = \ln \frac{K_0}{K} + \ln \frac{B_{\beta_0}}{B_0}, \quad (3)$$

где

$$\dot{B}_0 = B_{\beta_0} \exp \left[\lim_{\Delta l_k \rightarrow 0} \left(- \sum_{k=1}^n \bar{\alpha}_k \Delta l_k \right) \right] + \beta_{\Sigma k}, \quad (4)$$

$\beta_{\Sigma k}$ — суммарная яркость «качки» из k элементарных слоев протяженностью Δl_k .

Первый член в правой части (3) растет с увеличением расстояния от ВПП по глиссаде (K убывает) и ограничен сверху величиной $\ln \frac{K_0}{\varepsilon}$ при $L = S_{\pi}$ и $n = n_{\pi} = S_{\pi}/\Delta l_k$. Второй член изме-

няется по модулю от 0 до $\ln \frac{B_{\beta_0}}{\beta_{\infty}}$, где β_{∞} — яркость слоя дымки бесконечной протяженности (яркость неба у горизонта).

Из (3) с учетом (4) и приведенных оценок можно получить

$$\sum_{k=1}^n \bar{\alpha}_k \Delta l_k \leq \left[\ln \left(\frac{K_0}{\varepsilon} - 1 \right) + \ln \frac{B_{\beta_0}}{\beta_{\Sigma k}} \right] = C_{\Sigma k}. \quad (5)$$

Уравнение (5) превращается в равенство при $n_{\pi} = S_{\pi}/\Delta l_k$ и $L = S_{\pi}$.

В работе [6] информация об условиях посадки получается из сравнения локальных значений метеорологической дальности видимости с эксплуатационными минимумами по м. д. в. ($S_{M_{кр}}$), принятыми на аэродроме, и определения высоты, на которой расположен слой, где м. д. в. меньше этого минимума. Этот параметр назван «нижняя граница потери горизонтальной видимости». В терминах данной статьи этот критерий можно описать так:

$$\bar{\alpha}_k < \frac{\ln 1/\varepsilon}{S_{M_{кр}}}, \quad \left(\sum_{k=1}^k \Delta l_k \right) \sin \gamma > H_{\pi},$$

где γ — угол глиссады ($\approx 3^\circ$).

Эти условия получаются из (3):

$$\bar{\alpha}_k \Delta l_k \leq C_k, \quad (6)$$

где

$$C_k = \ln \left(\frac{K_0}{\varepsilon} - 1 \right) + \ln \frac{B_{60}}{\beta_k}$$

(β_k — яркость k -го слоя).

Если в (6) в качестве минимума берется м. д. в., то

$$C_k = \ln 1/\varepsilon = \text{const.}$$

В этом случае используются два критерия: минимум по м. д. в. и высота принятия решения (минимум по высоте). При учете лишь рассеивающих свойств дымки слоя атмосферы, в котором происходит посадка, эти условия являются необходимыми и достаточными. Иначе обстоит дело при учете яркостных характеристик ВПП, фона и дымки. В этом случае $C_k \neq \text{const}$ и при одной и той же степени получения атмосферы пилот будет обнаруживать ВПП с разных расстояний, в зависимости от значения $C_{\Sigma k}$. Поэтому за условие, обладающее свойством достаточности, в этом случае следует принять не (6), а выражение

$$\sum_{k=1}^{n_{\Pi}} \bar{\alpha}_k \Delta l_k = C_{\Sigma k}. \quad (7)$$

Алгоритм нахождения S_{Π} будет содержать следующие операции:

— по измеренным значениям $B_{\text{ВПП}_0}$ и B_{Φ_0} определяется первый член в правой части (5);

— по градиентным значениям $\bar{\alpha}_k$ и β_k рассчитываются частные суммы ряда $\sum \bar{\alpha}_k \Delta l_k$, а также $C_{\Sigma k}$;

— на каждом шаге $\sum \bar{\alpha}_k \Delta l_k$ сравнивается с $C_{\Sigma k}$ до превращения (5) в равенство и определяется n_{Π} ;

— находится величина S_{Π} в данных конкретных условиях:

$$S_{\Pi} = \sum_{k=1}^{n_{\Pi}} \Delta l_k;$$

— найденное S_{Π} сравнивается с эксплуатационным минимумом

$$L_{\Pi} = H_{\Pi} / \sin \gamma,$$

и если $S_{\Pi} \geq L_{\Pi}$, то посадка возможна.

Величина L_{Π} зависит от категории; например, для II категории $H_{\Pi} = 60$ м, $L_{\Pi} \approx 1200$ м. Следует отметить, что в данном алгоритме используется лишь один эксплуатационный минимум — высота принятия решения. Последний зависит только от летных характеристик летательного аппарата. При этом исключается минимум по м. д. в., которая, вообще говоря, не определяет условий видения наземных объектов с воздуха в реальных наземных условиях [1].

Для определения свойств правой части уравнения (5) воспользуемся данными из работы [3]. Они были получены в осенне-зим-

ний период в Пулково и, несмотря на небольшое количество наблюдений, очень интересны, поскольку ни до, ни после подобные работы не проводились.

Надо сказать, что слагаемые в правой части (5) неравнозначны по сложности их измерения. Если контраст на уровне ВПП может быть получен достаточно просто (по крайней мере, здесь нет никаких методических трудностей), то для вычисления второго слагаемого необходимо знание профиля яркости атмосферной дымки вдоль глассады. Он может быть получен, по крайней мере, двумя способами:

— прямыми измерениями яркостей B_k слоев протяженностью Δl_k :

$$\beta_{\Sigma k} = \sum_{k=1}^{n_{\Pi}} B_k \exp\left(-\sum_{k=1}^{n_{\Pi}-k} \bar{\alpha}_k \Delta l_k\right)$$

— измерением освещенностей E_k :

$$\beta_{\Sigma k} = \frac{1}{4\pi} \sum_{k=1}^{n_{\Pi}} E_k \bar{\alpha}_k \Delta l_k \exp\left(-\sum_{k=1}^{n_{\Pi}-k} \bar{\alpha}_k \Delta l_k\right).$$

Если предположить постоянство освещенности по глассаде (E_0), то

$$\beta_{\Sigma k} = \frac{E_0}{4\pi} \sum_{k=1}^{n_{\Pi}} \bar{\alpha}_k \Delta l_k \exp\left(-\sum_{k=1}^{n_{\Pi}-k} \bar{\alpha}_k \Delta l_k\right).$$

Однако даже для слоисто-однородной модели это требование достаточно жесткое. В [8] показано, что при нарушении однородности освещения линии визирования (например, при несплошной облачности) ошибка в определении яркости дымки может превышать 100 %. В этой связи рассмотрение свойств члена

$$\ln \frac{B_{60}}{\beta_{\Sigma k}}$$

необходимо.

Для определения относительных весов, с которыми слагаемые $S_{\Sigma k}$ входят в (5), и их изменчивости, в предположении однородности слоя атмосферы до высоты H_{Π} , были вычислены критические значения показателя ослабления $\alpha_{кр}$. Эта величина характеризует прозрачность атмосферы, при которой пилот обнаружит ВПП с расстояния L_{Π} при данных

$$B_{ВПП}, B_{\Phi_0} \text{ и } \beta_{\Sigma k};$$

при расчетах было взято $L_{\Pi} = 1200$ м.

Значения $\alpha_{кр}$ были вычислены как с учетом второго члена ($\alpha_{крI}$ в табл. 1), так и без него ($\alpha_{крII}$). Для наглядности сравнения $\alpha_{кр}$ были пересчитаны в м. д. в., представляющую здесь характеристику максимального помутнения, а не расстояние, с ко-

того может быть обнаружено черное тело на фоне неба у горизонта. Другими словами, неблагоприятные для посадки условия в табл. 1 характеризуются большими значениями S_m (S_{mI} и S_{mII}).

При вычислении второго слагаемого вместо $\beta_{\Sigma k}$ была использована яркость неба у горизонта β_∞ (яркость слоя дымки бесконечной протяженности), т. е. оценка сверху. Поскольку угол гиссады мал, то, если насыщение дымки происходит на расстояниях, сравнимых с L_{Π} , подстановка β_∞ вместо $\beta_{\Sigma k}$ не вносит существенной погрешности. Это происходит именно при малых прозрачностях, при которых и категорируются полеты. Например, при

$$\alpha_{кр} = 10^{-3} \text{ м}^{-1} \quad (S_m = 2000 \text{ м}) \quad \text{и} \quad L_{\Pi} = 1200 \text{ м}$$

$$(\beta_{\Sigma k}/\beta_\infty = 0,87, \text{ а при } \alpha = 3 \cdot 10^{-3} \text{ м}^{-1}$$

$$(S_m = 1000 \text{ м}) \quad \beta_{\Sigma k}/\beta_\infty = 0,95.$$

Если же насыщение происходит на больших расстояниях, то этот прием не проходит. Но в любом случае он позволяет оценить критические значения помутнения для данных условий. Кроме этого, существует зависимость S_{Π} от соотношения вуалирующего эффекта дымки и контраста.

Из выражений для контрастов легко получить следующее выражение:

$$\beta_{\Sigma k} = \beta_{S_{\Pi}} = B_6 \left(1 - \frac{\varepsilon}{K_0} \right).$$

При больших L $B_6 \approx \beta_\infty$. Поэтому можно записать

$$\beta_{S_{\Pi}} = \beta_\infty \left(1 - \frac{\varepsilon}{K_0} \right). \quad (8)$$

Подставляя (8) в (5), после преобразований получаем

$$\sum_{k=1}^n \bar{\alpha}_k \Delta k \leq \ln \frac{K_0}{\varepsilon} + \ln \frac{B_{6_0}}{\beta_\infty}. \quad (9)$$

Значения S_m , рассчитанные по (9) (S_{mIII}), представлены в табл. 1. Различия между ними и значениями S_{mI} , рассчитанными по (5), составляют 5... 7 % при $K_0 \approx 0,6$ и достигают 40... 50 % при $K_0 \approx 0,2... 0,3$.

Анализируя данные табл. 1, можно отметить следующие основные особенности.

1. Слагаемые в правую часть (5) входят со сравнимыми весами (1-й член изменяется от 0,9 до 2,4, 2-й — от -0,2 до -1,8), причем имеются случаи, когда $B_{6_0} > \beta_\infty$. Никаких закономерных связей между ними не обнаружено (естественно, кроме очевидной зависимости от общего уровня освещенности).

2. Неучет второго члена существенно влияет на оценку условий видения, причем в сторону завышения последних.

3. Имеются случаи, когда $\alpha_{кр}$ из уравнения (5) получить нельзя. Причем, если в сериях 5 и 6 это происходит вследствие того, что истинный контраст меньше порогового, то случаи

Серия	$V_{ВПП_0} \times 10^{-8}$ кд/м ²	$V_{\Phi_0} \times 10^{-8}$ кд/м ²	$\beta_{\infty} \times 10^{-8}$ кд/м ²	K_0	$\times \left(\frac{\tau_1 = \ln \times}{\varepsilon} - 1 \right)$
1	2600	1350	2100	0,48	2,15
	—	—	—	—	—
	1050	450	1450	0,57	2,34
2	1100	500	1250	0,54	2,28
	80	33	110	0,59	2,38
	85	42	130	0,51	2,22
	211	120	417	0,43	2,03
	215	120	337	0,44	2,05
	440	210	1100	0,52	2,24
	430	217	700	0,50	2,19
	530	210	1100	0,60	2,39
	500	225	840	0,55	2,30
3	2200	1625	6250	0,26	1,44
	2100	1950	7500	0,17	0,88
	625	430	3900	0,31	1,65
	900	625	3900	0,30	1,61
4	112	63	317	0,44	2,05
	130	85	300	0,35	1,79
	133	65	305	0,51	2,22
	137	93	340	0,32	1,69
	150	70	260	0,53	2,26
	137	103	260	0,25	1,39
5	430	340	880	0,21	1,16
	815	480	710	0,41	1,97
	576	330	740	0,43	2,03
	710	730	670	0,03	—
	715	720	1570	0,01	—
	750	980	1360	0,22	1,22
	615	580	1450	0,06	—
	780	750	1320	0,29	1,57
6	350	360	850	0,03	—
	500	380	800	0,24	1,34
	310	315	760	0,02	—
	565	290	760	0,49	2,17
	350	280	730	0,20	1,09
	365	265	700	0,27	1,48
	330	230	740	0,30	1,61
	330	230	675	0,30	1,61
	7	260	470	700	0,45
250		470	750	0,47	2,13
240		200	700	0,17	0,87
300		370	720	0,19	1,03

Таблица 1

$\tau_2 = \frac{B_{60}}{\beta_{\infty}} = \ln$	$\tau_1 + \tau_2$	$\alpha_{крI} \times 10^{-3} \text{ м}^{-1}$	$S_{MI} \text{ м}$	$\alpha_{крII} \times 10^{-3} \text{ м}^{-1}$	$S_{MII} \text{ м}$	$S_{MIII} \text{ м}$
0,22	2,37	1,97	1 620	1,79	1670	1 460
-0,17	2,17	1,81	1 620	1,95	1540	1 600
-0,28	2,04	1,67	1 800	1,90	1580	1 710
-0,32	2,06	1,71	1 750	1,98	1510	1 680
-0,43	1,79	1,49	2 010	1,85	1620	1 900
-0,68	1,35	1,12	2 670	1,69	1780	2 460
-0,45	1,61	1,33	2 240	1,71	1750	2 090
-0,92	1,33	1,10	2 720	1,87	1610	2 530
-0,49	1,71	1,46	2 110	1,83	1640	1 990
-0,73	1,67	1,39	2 160	2,0	1500	2 060
-0,52	1,78	1,48	2 020	1,91	1560	1 920
-1,04	0,39	0,32	9 210	1,20	2510	5 910
-1,27	—	—	—	0,73	4110	—
-1,83	—	—	—	1,38	2180	—
-1,47	0,13	0,12	25 160	1,34	2240	11 050
-1,04	1,02	0,85	3 550	1,71	1750	3 190
-0,84	0,95	0,83	3 600	1,49	2010	3 250
-0,83	1,39	1,16	2 590	1,85	1620	2 410
-0,91	0,78	0,64	4 630	1,41	2140	3 790
-0,55	1,71	1,40	2 110	1,88	1750	1 980
-0,64	0,74	0,62	2 830	1,16	2600	2 700
-0,72	0,44	0,37	8 060	0,97	3100	5 030
+1,15	3,12	2,60	1 150	1,64	1830	1 610
-0,25	1,78	1,50	2 030	1,69	1780	1 890
0,08	—	—	—	—	—	—
-0,59	0,62	0,52	5 720	1,02	2940	4 060
-0,53	1,04	0,87	3 430	1,31	2290	2 920
-0,47	0,87	0,72	4 160	1,11	2700	3 280
-0,29	1,88	1,56	1 920	1,01	1620	1 820
-0,74	0,36	0,30	9 900	1,66	1810	5 600
-0,65	0,83	0,69	4 330	1,23	2430	3 480
-0,81	0,80	0,67	4 490	1,34	2240	3 660
-0,71	0,89	0,75	4 030	1,34	3240	3 350
-0,89	1,68	1,40	2 140	1,73	1730	2 000
-0,47	1,66	1,38	2 170	1,77	1690	2 030
-1,1	—	—	—	—	—	—
-0,66	0,36	0,30	9 890	0,86	3500	5 380

в сериях 3 и 7 показывают, что даже при среднем значении контраста (0,3) вуалирующий эффект не позволяет обнаружить ВПП.

Все приведенные замечания показывают, что вторым членом в правой части уравнения (5) пренебрегать нельзя. Также невозможно учесть его как некоторую, мало меняющуюся поправку.

Таким образом, для получения информации о дальности видимости ВПП по описанному выше алгоритму при использовании уравнения (5) необходимо знать значения $\bar{\alpha}_k$ и β_k , измеренные на глассе, а также истинные яркости ВПП и фона.

Если β_k измерить невозможно, то можно использовать уравнение (5), привлекая данные о яркости неба у горизонта. В этом случае S_{Π} получается завышенным примерно на 15 % для среднего значения контраста из табл. 1 ($\bar{K}_0 = 0,38$), т. е. с запасом в безопасную сторону.

При использовании уравнения (9) вычисленные значения будут приближены к реальным.

Что касается локальных значений $\bar{\alpha}_k$, то обойтись без их измерений в данном алгоритме не представляется возможным. Размер дискретных участков осреднения Δl_k зависит от вертикальной структуры слоя атмосферы до высоты H_{Π} и для его определения необходимы дополнительные экспериментальные исследования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бурлов Г. М. Уравнения дальности видимости для оптически неоднородной атмосферы.— Труды НИИГМП, 1973, вып. 28, с. 83—91.
2. Гаврилов В. А. Видимость в атмосфере.— Л.: Гидрометеоздат, 1966.— 324 с.
3. Горышии В. И. О методике измерения дальности видимости при метеорологическом обслуживании авиации.— Труды ГГО, 1973, вып. 312, с. 50—64.
4. Грушин С. И., Петров Н. А., Романов Е. В. Принципы построения аэродромной измерительно-информационной системы.— Труды ГГО, 1979, вып. 433, с. 18—30.
5. Каргин Б. А., Кузнецов С. В., Михайлов Г. А. Оценка методом монте-карло функции передачи контраста яркости через светорассеивающую среду.— Изв. АН СССР. Физика атмосферы и океана. 1979, т. 15, № 10, с. 1027—1035.
6. Круглов Р. А. Усовершенствование методики определения видимости взлетно-посадочной полосы (ВПП) в условиях низкой облачности.— Труды ГГО, 1979, вып. 433, с. 31—37.
7. Романова Л. М. Нестационарное световое поле в глубине мутной среды, освещенной узким пучком.— Изв. АН СССР. Физика атмосферы и океана. 1969, т. 5, № 5, с. 463—472.
8. Савиковский И. А. Отклонения от световоздушного уравнения и их влияние на измерение горизонтальной прозрачности.— Труды ГГО, 1969, вып. 240, с. 168—181.

В. Н. Аднашкин

МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ ПРОЗРАЧНОСТИ АТМОСФЕРЫ НЕФЕЛОМЕТРАМИ С УГЛОМ НАБЛЮДЕНИЯ 45°

Вопросы метрологического обеспечения нефелометрических измерений рассматривались в работе [6], однако они не касались данного типа нефелометров. Вместе с тем только нефелометры с углом наблюдения 45° позволяют производить измерения прозрачности локального объема атмосферы во всем диапазоне ее изменения (от единиц метров до 200... 300 км) с минимальной погрешностью. Особенность метрологического обеспечения этих измерений заключается в отсутствии эталонов или контрольных мер измеряемого параметра — прозрачности атмосферы. В нефелометрическом методе прозрачность исследуемого объема среды определяется по характеристикам его светорассеяния (по показателю ослабления света α), что делает возможным использование эталонов рассеяния (мутности) при проведении поверки прибора и калибровки его шкалы. В данной статье рассмотрены основные составляющие погрешности измерения α нефелометром с углом наблюдения 45° и методы создания эталонных рассеивающих сред.

В соответствии с выводами, полученными в работе [3], погрешность измерения α двухканальным нефелометром можно представить суммой составляющих:

$$\delta\alpha = \delta_{\text{фот}} + \delta_{\text{юст}} + \delta_{\text{осл}} + \delta_{\text{инд}}. \quad (1)$$

Погрешность фотометрирования рабочего (F_p) и опорного ($F_{\text{оп}}$) потоков определяется по формуле

$$\delta_{\text{фот}} = \frac{\Delta F_p}{F_p} + \frac{\Delta F_{\text{оп}}}{F_{\text{оп}}}$$

и для современных фотометров может быть уменьшена до 1... 2 %.

Погрешность юстировки

$$\delta_{\text{юст}} = \frac{\Delta K_{\omega}^p}{K_{\omega}^p} + \frac{\Delta K_{\omega}^{\text{оп}}}{K_{\omega}^{\text{оп}}} + \frac{\Delta K_V}{K_V},$$

где K_{ω}^p и $K_{\omega}^{\text{оп}}$ — коэффициенты, учитывающие угловые характеристики оптических элементов рабочего и опорного каналов; K_V — коэффициент, учитывающий размеры рассеивающего объема. При соблюдении требований настройки и эксплуатации прибора, исключающих возможность изменения этих коэффициентов (например, при смене источника света или фотоприемника или самопроизвольной разъюстировке прибора), этот вид погрешности может быть сведен к пренебрежимо малой величине.

Погрешность $\delta_{\text{осл}}$ определяется ослаблением света в оптических элементах прибора и измеряемой среде. Как показано в [3], она может достигать большого значения (до десятков процентов) при загрязнении наружных поверхностей оптических элементов и при измерениях в оптически плотных средах. Этот вид погрешности может быть полностью устранен при построении нефелометра по метрологически корректной схеме, когда и рабочий, и опорный световые потоки проходят через общие оптические элементы и исследуемую среду [1].

Погрешность $\delta_{\text{инд}} = \Delta K_{\theta}/K_{\theta}$ обусловлена колебаниями формы индикатрисы рассеяния. Ее можно оценить величиной $\pm 15\%$, так как по данным [4] значение коэффициента K_{θ} при угле наблюдения $\theta = 45^\circ$ для диапазона измеряемых значений $S_m = 0,1 \dots 100$ км может быть принято равным 0,12 со средним квадратическим отклонением $\pm 15\%$.

Анализ составляющих погрешности показал, что наибольший вклад вносят $\delta_{\text{фот}}$ и $\delta_{\text{инд}}$. Принимая законы распределения этих составляющих нормальными и учитывая, что они статистически независимы, средняя квадратическая погрешность измерений α нефелометром с углом наблюдения $\theta = 45^\circ$ и метрологически корректной двухканальной схемой построения вычисляется по формуле

$$\sigma = \sqrt{\delta_{\text{фот}}^2 + \delta_{\text{инд}}^2} \approx 15\%, \quad (2)$$

т. е. целиком определяется погрешностью из-за нестабильности индикатрисы рассеяния света.

Выбор метода измерения в нефелометре определяется областью применения и требованиями к точности измерений. При исследованиях оптических характеристик различных рассеивающих сред довольно часто используется метод замещения, при котором реальная среда периодически заменяется «эталонной» средой с известными характеристиками — эталонным рассеивателем, образцом мутности и т. д. Это позволяет исключить систематические погрешности измерения и получить шкалу прибора в абсолютных единицах показателя рассеяния. Однако этот метод применим только в лабораторных условиях, так как реализация его в фото-

метре, предназначенном для работы в полевых условиях при воздействии всего комплекса метеорологических факторов (температура, влажность, радиация, осадки и т. д.), неизбежно приведет к дестабилизации оптических характеристик эталонного рассеивателя (ЭР) и утрате им своих свойств. Поэтому оптимальным режимом работы представляется такой, при котором ЭР используется не для измерений, а для контроля сохранности во времени метрологических характеристик прибора. В нефелометрах, предназначенных для проведения измерений в открытой атмосфере (в полевых условиях), ЭР используют, как правило, лишь для проведения поверки прибора и градуировки его шкалы.

Градуировка шкалы проводится через некоторые интервалы времени, определяемые характером и длительностью измерений и условиями эксплуатации. Она заключается в получении ряда отсчетов по шкале по известным и фиксированным значениям уровня рассеянного света от ЭР и может производиться двумя способами:

— с использованием одного ЭР и набора нейтральных светофильтров (НС) или сменных диафрагм, устанавливаемых на пути рассеянного светового потока;

— с использованием набора ЭР различной оптической плотности.

В качестве эталонной рассеивающей среды могут быть использованы порошкообразные, жидкостные, газообразные и твердые ЭР. Широкое распространение получили порошкообразные эталоны, получаемые путем напыления или смешения с закрепителем различных материалов (MgO , $MgCO_3$, $BaSO_4$ и др.), а также жидкостные эталоны (бензол и др.). Однако эти эталоны обладают рядом существенных недостатков, которые обусловили их использование только в лабораторных условиях: у порошкообразных — быстрое старение, малая механическая прочность и невозможность очистки поверхности, у жидкостных — высокие требования к чистоте эталонной жидкости и состоянию поверхности кюветы.

Известны нефелометры [7, 10], градуировка которых осуществляется по известным константам рэлеевского рассеяния на молекулах различных газов: чистого сухого воздуха, CO_2 , фреона и т. д. [11]. Такой способ градуировки наряду с достоинствами получения ряда фиксированных абсолютных значений показателя рассеяния имеет целый ряд недостатков. Во-первых, предъявляются особые требования к чистоте как самих газов, так и искусственно создаваемого для проведения градуировки замкнутого объема, так как при чрезвычайно малых значениях показателя рассеяния эталонных газов ($\rho = 10^{-4} \dots 10^{-7} \text{ м}^{-1}$) наличие в них даже малейших примесей (воздуха, влаги, аэрозольных частиц и т. д.) может существенно изменить значение констант рассеяния. Во-вторых, на время проведения градуировки измерительный объем прибора должен быть надежно изолирован от внешней среды, что требует либо установки прибора в специальной камере,

либо введения дополнительных элементов в конструкцию прибора для обеспечения герметичности соединений. Кроме того, использование эталонных газов требует проведения организационных мероприятий по комплектации приборов (поверочных комплексов) баллонами с газом, поскольку каждая градуировка связана с расходом значительного его количества на продувку и заполнение измерительного объема.

От этих недостатков свободны приборы, в которых используются твердые эталонные рассеиватели — светорассеивающие стекла (в том числе молочное оргстекло) или различные устройства, преобразующие направленное излучение в рассеянное. По ним с помощью набора НС можно проводить градуировку шкалы нефелометра во всем диапазоне возможных значений показателя рассеяния, причем использование ЭР и НС не вносит дополнительных погрешностей вследствие высокой стабильности их оптических констант (погрешность их определения не превышает долей процента).

Выпускаемые промышленностью светорассеивающие стекла обладают большим диапазоном характеристик светорассеяния — от почти прозрачных до стекол, в которых при минимальной толщине осуществляются процессы многократного рассеяния [5].

По своим свойствам и назначению светорассеивающие стекла разделены на три типа: диффузного отражения света, диффузного пропускания света и образцов мутности. Наиболее ценными свойствами ЭР из этих стекол являются высокая стабильность оптических характеристик и большая эксплуатационная надежность, позволяющие использовать их в нефелометрах, предназначенных для работы в полевых и морских условиях при больших перепадах рабочих температур и влажностей [2, 9]. Кроме того, стекла всех трех типов являются неналетоопасными и большинство их (1-й и 2-й типы) устойчиво к действию пятнающих агентов.

Преобразователи направленного излучения в рассеянное, использующие светорассеивающие и нейтральные (ослабляющие) стекла в сочетании с линзами и зеркалами, обеспечивают высокую степень однородности рассеянного светового потока, однако сложность и громоздкость их конструкции ограничивают область их применения. Они используются либо в качестве встроенных в прибор элементов, либо в качестве эталонного рассеивателя для лабораторных приборов.

Обычно ЭР выполняется в виде пластинки (шарика) из светорассеивающего стекла, укрепленной на стойке, и устанавливается в строго фиксированном положении в центре рассеивающего объема — в точке пересечения осей зондирующего светового луча и луча поля зрения фотоприемника. Это облегчает проведение юстировки и поверки оптической схемы прибора. Шаровая форма ЭР более предпочтительна, так как при этом исключается как возможная погрешность измерения, связанная с несоблюдением плоскости установки рассеивателя, так и опасность попадания на вход фотоприемника блика от плоской поверхности рассеивателя.

Проблема сохранения эталонных свойств ЭР и НС сводится к соблюдению требований их хранения и правильной эксплуатации, а также к периодической аттестации в органах государственной или ведомственной метрологической службы.

Опыт многолетней эксплуатации походного нефелометра ГГО в условиях наземных и морских экспедиций в различных географических зонах позволяет утверждать, что использование эталонного рассеивателя на основе светорассеивающих стекол совместно с набором нейтральных светофильтров обеспечивает проведение градуировок и проверок стабильности шкалы прибора во времени. Соблюдение предложенной методики не требует наличия эталонного прибора или определенного состояния измеряемой среды и обеспечивает единство измерений прозрачности атмосферы практически во всем диапазоне ее изменений.

ОПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авт. св. № 667931 (СССР). Нефелометр/В. Н. Аднашкин.—Бюлл. открытий, изобретений, промышленных образцов и товарных знаков, 1979, № 22.
2. Аднашкин В. Н. Измерение горизонтальной прозрачности атмосферы на НИСП «Пассат» в период проведения АТЭП-74.—Труды ГГО, 1977, вып. 388, с. 82—87.
3. Аднашкин В. Н. Погрешность фотометров рассеянного света (ФРС), обусловленная ослаблением света.—Труды ГГО, 1979, вып. 433, с. 58—61.
4. Бартенева О. Д., Довгялло Е. Н., Полякова Е. А. Экспериментальные исследования оптических свойств приземного слоя атмосферы.—Труды ГГО, 1967, вып. 220, с. 107—159.
5. Войшвилло Н. А. Материалы, используемые в качестве образцов сравнения при измерении различных характеристик светорассеяния.—В кн.: Теоретические и прикладные проблемы рассеяния света. Минск. Наука и техника, 1971, с. 293—299.
6. Монастырский В. Г., Протасов Н. И. Вопросы метрологического обеспечения нефелометрических устройств.—Труды НИИГМП, 1978, вып. 35, с. 46—54.
7. Новый фотоэлектрический нефелометр/Н. В. Гончаров, Л. Б. Демина, В. С. Малахов, В. В. Смирнов.—Труды ИЭМ, 1973, вып. 4(38), с. 94—104.
8. Полевицкий К. К., Шадрина Е. Н., Аднашкин В. Н. Походный нефелометр для автоматической регистрации МДВ.—Труды ГГО, 1972, вып. 292, с. 3—11.
9. Радиационные измерения/В. Н. Аднашкин, С. Д. Андреев, М. Т. Анодин и др.—В кн.: Атмосферный аэрозоль и его влияние на перенос излучения. Л., Гидрометеониздат, 1978, с. 60—72.
10. Garland I. A., Rae I. B. An integrating nephelometer for atmospheric studies and visibility warning devices.—J. Phys., 1970, E, vol. 3, p. 275—280.
11. Rayleigh scattering coefficients of Freon-12, Freon-22 and CO₂ relative to that of air/P. Bhardwaja, R. J. Charlson, A. P. Waggoner, N. C. Ahlquist.—Applied Optics, 1973, N 12, p. 135—139.

Р. А. Круглов

ОЦЕНКА УСЛОВИЙ ВИДИМОСТИ НА КОНЕЧНОМ ОТРЕЗКЕ ГЛИССАДЫ СНИЖЕНИЯ ПО ГРАДИЕНТНЫМ ИЗМЕРЕНИЯМ ПРОЗРАЧНОСТИ

В работе [1] показано, что для обеспечения успешной посадки самолета необходимо свести к минимуму вероятность встречи пилота с оптически плотными горизонтальными слоями атмосферы. Там же показано, что при решении этой задачи целесообразно опираться на данные о вертикальном профиле прозрачности, поскольку на основании таких данных оказывается возможным определить минимальную высоту, начиная с которой пилот снижающегося самолета не будет терять визуального контакта с ориентирами взлетно-посадочной полосы (ВПП) вплоть до приземления. Такой подход к решению задачи требует принять допущение о горизонтально-слоистой структуре оптических неоднородностей в слое атмосферы над поверхностью ВПП. Однако указанное допущение вполне оправданно, поскольку такая структура представляет наибольшую опасность при посадке самолета, ввиду того, что оптически плотные слои оказываются протяженными в направлении глиссады снижения, т. е. в направлении поиска пилотом визуального контакта с ориентирами ВПП. Кроме того, такая структура является наиболее характерной для условий ухудшенной видимости, которой, как правило, сопутствует низкая облачность.

Опираясь на принятое допущение, можно показать, что решение задачи по оценке видимости наземных ориентиров в направлении глиссады снижения состоит в определении высоты R^* ослабления горизонтального слоя атмосферы, в котором показатель света α увеличивается по отношению к нижележащим слоям до порогового значения $\alpha_{\text{пор}}$, удовлетворяющего условию, выведенному из уравнения Кошмидера:

$$K(\epsilon) \alpha_{\text{пор}}^{-1}(R^*) = S_{\text{пр}},$$

где $K(\epsilon)$ — коэффициент, учитывающий порог контрастной чувствительности глаза (обычно $K(\epsilon) = \frac{1}{\ln \epsilon} = 3$ при $\epsilon = 0,05$);

$S_{\text{пр}}$ — предельно допустимое для принятого на аэродроме минимума погоды значение метеорологической дальности видимости.

При всей простоте предложенного алгоритма оценки надежности последней требует доказательства.

Для доказательства рассмотрим случай, когда $R^* > 0$, т. е. когда слой атмосферы, удовлетворяющий приведенному выше условию, расположен на некоторой высоте над ВПП. Тогда для всех нижележащих слоев выполняется неравенство

$$K(\epsilon) [\alpha(R < R^*)]^{-1} > S_{\text{пр}}.$$

Это означает, что среднее для слоя толщиной R^* значение показателя ослабления света $\bar{\alpha}_n$ по направлению вдоль глиссады снижения самолета удовлетворяет условию

$$K(\epsilon) [\bar{\alpha}_n(R^*)]^{-1} \geq S_{\text{пр}}.$$

Следовательно, высота R_n , для которой выполняется равенство

$$K(\epsilon) [\bar{\alpha}_n(R_n)]^{-1} = S_{\text{пр}},$$

оказывается большей или равной R^* .

Иначе говоря, значение R^* получается с некоторым запасом надежности по отношению к высоте R_n , на которой значение метеорологической дальности видимости ухудшается до минимально допустимого значения $S_{\text{пр}}$.

Таким образом, R^* может быть использовано в оперативной работе метеоподразделений для непосредственной оценки высоты обнаружения ВПП.

По существу, задача сводится к определению высоты R^* расположения горизонтального слоя атмосферы, коэффициент рассеяния света в котором соответствует некоторому пороговому значению метеорологической дальности видимости.

Очевидно, что значение R^* может быть получено любым из способов, позволяющих определить локальные значения показателя ослабления света α на высотах, например, по данным вертикального зондирования атмосферы световыми импульсами, а также по градиентным наблюдениям с помощью установленных на различных высотах (на достаточном удалении от ВПП в безопасной полосе) нефелометров. При этом достаточно сравнить полученные для разных высот значения $\alpha(R)$ с предельно допустимыми (соответствующими значениям $S_{\text{пр}}$ для эксплуатационного минимума погоды) и зафиксировать минимальную высоту, на которой $\alpha(R)$ превысило $\alpha_{\text{пор}}$. При определении дальности видимости огней ВПП на глиссаде снижения методика остается прежней, за исключением того, что $\alpha_{\text{пор}}$ определяется из условия, представляющего собой модификацию уравнения Аллара:

$$E_n = \frac{I}{S_{\text{пр}}^2} e^{-\alpha_{\text{пор}}(R^*) S_{\text{пр}}},$$

где E_n — порог световой чувствительности глаза, I — интенсивность света огней ВПП.

Ошибки, связанные с локальным характером измерений могут быть уменьшены путем пространственного и (или) временного осреднения результатов измерений.

Практическая значимость рассмотренного алгоритма оценки условий видимости ориентиров ВПП состоит в том, что при его реализации могут быть использованы оптические локаторы со значительно меньшим энергетическим потенциалом по сравнению с алгоритмами, основанными на определении прозрачности по наклону вдоль глиссады снижения. Кроме того, как показано в работе [2], использование информации о вертикальном профиле прозрачности позволяет получать более надежные оценки видимости наземных ориентиров в условиях низкой облачности.

ОПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Круглов Р. А. Усовершенствование методики определения видимости взлетно-посадочной полосы (ВПП) в условиях низкой облачности.— Труды ГГО, 1979, вып. 433, с. 31—37.

2. Круглов Р. А. Анализ погрешностей светолокационного метода измерения высоты облаков на аэродроме.— См. наст. сб., с. 111—117.

Р. А. Круглов

АНАЛИЗ ПОГРЕШНОСТЕЙ СВЕТОЛОКАЦИОННОГО МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ ВЫСОТЫ ОБЛАКОВ НА АЭРОДРОМЕ

Выполнение успешной посадки самолета не может быть гарантировано, если существует вероятность того, что пилот потеряет визуальный контакт с ориентирами взлетно-посадочной полосы (ВПП) в любой точке глиссады снижения ниже высоты принятия решения. Направление глиссады снижения на конечном ее отрезке почти совпадает с горизонтальным. Следовательно, для службы метеорологического обеспечения взлета и посадки необходима информация о распределении горизонтальной прозрачности атмосферы по высотам. При допущении горизонтально-слоистой структуры оптических неоднородностей над поверхностью ВПП указанная информация может быть получена методом вертикального зондирования атмосферы световыми импульсами. При этом оказывается возможным определить минимальную высоту, на которой метеорологическая дальность видимости ухудшается до предельно допустимого по условиям посадки самолета значения, соответствующего эксплуатационному минимуму погоды. Определив на глиссаде снижения точку с указанной высотой, нетрудно оценить дальность видимости ориентиров ВПП в направлении глиссады снижения. В работе [3] показано, что такая методика является достаточно универсальной для использования в различных метеорологических условиях, в том числе и при отсутствии облачности.

В настоящее время горизонтальная прозрачность атмосферы на различных высотах непосредственно не измеряется. Измерители высоты облаков позволяют весьма грубо оценить высоту обнаружения ориентиров ВПП, поскольку информация о высоте облаков не содержит данных о прозрачности в подоблачном слое, так же как и о прозрачности на уровне, зафиксированном в качестве нижней границы облаков.

Отсутствие данных о прозрачности атмосферы на высотах не позволяет получать надежные оценки условий видимости на глиссаде снижения, что в конечном счете приводит к нарушению регулярности полетов.

На основании изложенного нетрудно прийти к заключению о том, что принятая в настоящее время методика и аппаратура для определения высоты облаков на аэродроме не отвечает установленным требованиям и нуждается в существенной доработке.

В связи с этим выполним анализ методических погрешностей при определении высоты обнаружения ориентиров ВПП по результатам измерений высоты нижней границы облаков (в. н. г. о.) светолокационным облакомером.

Обобщенная структурная схема светолокационного измерителя высоты облаков изображена на рис. 1. Устройство содержит излучатель (ИС) и приемник (ПИ) световых импульсов, устройство компенсации затухания эхо-сигналов с расстоянием (устройство функционального преобразования огибающей эхо-сигнала)

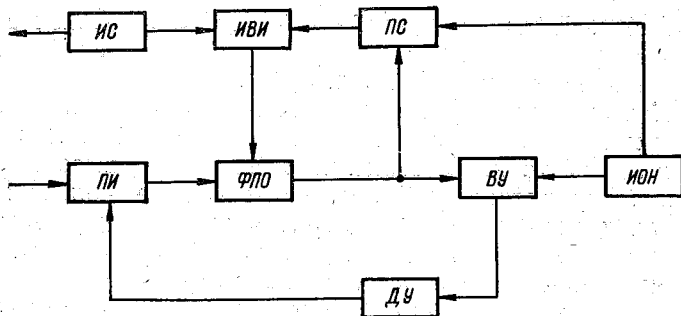


Рис. 1. Структурная схема светолокационного измерителя высоты облаков.

(ФПО), устройство порогового сравнения (ПС) и измеритель временных интервалов (ИВИ), а также схему автоматической регулировки усиления (АРУ), содержащую источник опорного напряжения (ИОН), вычитающее устройство (ВУ) и дифференциальный усилитель (ДУ). Работа устройства происходит следующим образом. Периодическая последовательность зондирующих световых импульсов направляется излучателем вертикально вверх. Одновременно последовательность электрических импульсов поступает на вход ИВИ. Часть рассеянной облаком световой энергии в виде периодической последовательности световых импульсов поступает в приемник, а затем через блоки ФПО и ПС на второй вход ИВИ, где определяется время запаздывания эхо-сигналов относительно зондирующих импульсов. По этому времени судят о высоте нижней границы облаков. Схема устройства, по существу, заимствована из техники измерения расстояний до твердых целей. В таких устройствах АРУ (блоки ИОН, ВУ и ДУ) работает по максимуму эхо-сигнала и имеет целью устранить ошибки при измерении расстояний, связанные с различием отражающих характеристик облучаемых объектов, а также с нестабильностью характеристик элементов аппаратуры. Желаемый эффект, однако,

достигается лишь в том случае, если облучаемым объектом является твердая цель или граница раздела оптически однородных сред с различными показателями ослабления света.

В реальной атмосфере в подоблачном слое наблюдается постепенный переход [1] от прозрачного к более мутному слою. Амплитуда и форма отраженного такой атмосферой сигнала несут информацию о ее оптических характеристиках и могут существенно отличаться от амплитуды и формы зондирующего сигнала. В связи с этим можно утверждать, что нормирование порога срабатывания относительно амплитуды эхо-сигнала, как это сделано в устройстве на рис. 1, приводит к тому, что нижняя граница облаков фиксируется на уровне со случайным от измерения к измерению значением прозрачности, в зависимости от профиля прозрачности в подоблачном слое.

Для доказательства этого утверждения рассмотрим функцию, отображающую временной ход огибающей эхо-сигнала на входе устройства порогового сравнения.

Для упрощения анализа предположим, что в приемопередатчике обеспечена компенсация убывания амплитуды эхо-сигнала с расстоянием. Тогда функция, отображающая временной ход огибающей эхо-сигнала на входе устройства порогового сравнения, имеет вид

$$i(R) = kP\alpha(R)l \exp(-c\bar{\alpha}t), \quad (1)$$

где P — импульсная мощность излучения; k — коэффициент, учитывающий параметры приемопередающего тракта и значение нормированной индикатрисы рассеяния назад; l — половина пространственной протяженности светового импульса; $\alpha(R)$ — коэффициент рассеяния света элементарного объема в слое, удаленном на расстояние R от приемопередатчика; $c\bar{\alpha}t$ — удвоенная оптическая толщина зондируемого слоя атмосферы, $ct = 2R$, $\bar{\alpha}$ — среднее значение показателя ослабления света на участке трассы длиной R .

Амплитудное значение эхо-сигнала, по которому нормируется порог срабатывания светолокатора, определяется величиной

$$i_{\max}(R) = kP\alpha_{\max}(R)l \exp(-c\bar{\alpha}t). \quad (2)$$

В момент срабатывания порогового устройства выполняется условие

$$i_{\text{пор}}(R) = kP\alpha_{\text{пор}}(R)l \exp(-c\bar{\alpha}t). \quad (2')$$

В то же время вследствие работы АРУ выполняются равенства

$$i_{\text{пор}}(R) = nU_{\text{оп}}, \quad (3)$$

$$i_{\max}(R) = U_{\text{оп}}, \quad (3')$$

где $U_{\text{оп}}$ — значение опорного напряжения, n — постоянный множитель, обычно равный 0,5.

Разрешая (2) относительно $\alpha_{\text{макс}}(R)$ с учетом условия (3'), а также (2') относительно $\alpha_{\text{пор}}(R)$ с учетом условия (3), получим

$$\alpha_{\text{макс}}(R) = \frac{U_{\text{оп}}}{kPl \exp(-c\bar{a}t)}, \quad (4)$$

$$\alpha_{\text{пор}}(R) = n \frac{U_{\text{оп}}}{kPl \exp(-c\bar{a}t)},$$

откуда следует:

$$\alpha_{\text{пор}}(R) = n\alpha_{\text{макс}}(R). \quad (5)$$

Таким образом, порог срабатывания светолокатора зависит от максимального значения оптической плотности на трассе зондирования. Чем выше оптическая плотность облачного слоя, тем выше порог срабатывания. По этой причине следует ожидать ошибок в сторону завышения в. н. г. о. в случае большого градиента оптической плотности внутри облака. Наряду с этим светолокатор с достаточным энергетическим потенциалом будет фиксировать в качестве нижней границы облаков слои с весьма малым значением оптической плотности, поскольку порог срабатывания в этом случае оказывается заниженным. Это и является причиной методических ошибок при оценке высоты обнаружения ориентиров ВПП по результатам измерения высоты облаков.

Чтобы исключить такого рода ошибки, следует определять нижнюю границу потери видимости в горизонтальном направлении. Другими словами, необходимо в результате измерения фиксировать высоту расположения горизонтального слоя, в котором прозрачность атмосферы уменьшается по отношению к нижележащим слоям до некоторого фиксированного значения показателя ослабления света α , установленного при градуировке прибора.

При этом необходимо также исключить зависимость порога срабатывания от изменения аппаратурных параметров — интенсивности источника света, коэффициента передачи приемника излучения, загрязнения защитных стекол.

Рассмотрим возможность использования для этой цели известных технических решений, направленных на устранение зависимости порога срабатывания от указанных выше факторов.

Можно ожидать хороших результатов от светолокатора, собранного по схеме, в которой свет от излучателя расщепляется на два пучка, один из которых проходит через эталонный тракт, коэффициент передачи которого $K_{\text{эт}}$ не зависит от состояния атмосферы. Это обеспечивает контроль и автоматическую компенсацию ошибок, возникающих из-за колебаний аппаратурных параметров. Действительно, в результате работы АРУ можно обеспечить равенство с точностью до постоянного множителя K между сигналом на выходе эталонного тракта и опорным напряжением $U_{\text{оп}}$: $i(R) = K_{\text{эт}}P = KU_{\text{оп}}$. Исходя из этого сигнал на выходе из-

мерительного канала в момент срабатывания порогового устройства запишем в виде

$$i_{\text{пор}}(R) = U_{\text{оп}} \alpha_{\text{пор}}(R) l \exp(-c\bar{\alpha}t) \frac{K}{K_{\text{эт}}},$$

а принимая во внимание (3), получим

$$\alpha_{\text{пор}}(R) = \frac{nK_{\text{эт}}}{Kl \exp(-c\bar{\alpha}t)},$$

откуда следует, что наличие эталонного тракта не исключает зависимости порога срабатывания от состояния атмосферы, а именно

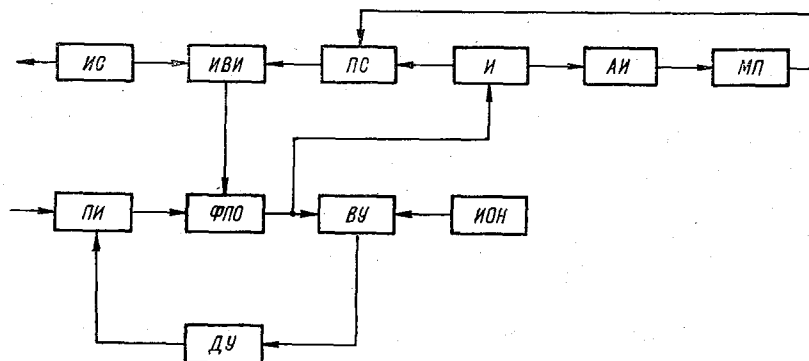


Рис. 2. Структурная схема оптического локатора для определения средних значений прозрачности.

от средних значений показателя ослабления света $\bar{\alpha}$ на трассе зондирования. К тому же такие устройства сложны в технической реализации.

Представляет также интерес техническое решение, позволяющее при измерении средних значений прозрачности исключить влияние зависимости порога срабатывания светолокатора от состояния атмосферы на трассе зондирования [2]. Такое устройство изображено на рис. 2 и отличается от рассмотренных выше тем, что содержит интегратор (накопитель) (И), масштабный преобразователь (МП) и амплитудный интегратор (АИ). Сигнал на выходе интегратора сравнивается с некоторой долей своего максимального значения, и в момент равенства отсчитывается интервал времени, прошедший с момента излучения светового импульса. Этот интервал времени служит мерой среднего значения прозрачности на исследуемом отрезке трассы зондирования.

Огибающая сигнала на выходе накопителя имеет вид

$$J(R) = \frac{kP}{2} (1 - e^{-c\bar{\alpha}t}). \quad (6)$$

Если время накопления t выбрано достаточным для выполнения неравенства $\bar{\alpha}ct \gg 1$, то сигнал на выходе накопителя достигает своего максимального значения:

$$J_{\text{макс}} = \frac{kP}{2}. \quad (7)$$

Условие $\bar{\alpha}ct \gg 1$ при наличии облаков выполняется всегда благодаря их большой оптической плотности. При этом максимальное значение сигнала на выходе накопителя не содержит компоненты, зависящей от прозрачности атмосферы, в то же время величина этого сигнала прямо пропорциональна коэффициенту передачи приемопередающего тракта светолокатора. Текущее значение сигнала на выходе накопителя $J(R)$ также прямо пропорционально коэффициенту передачи приемопередатчика, но, кроме того, содержит компоненту, зависящую от средней прозрачности атмосферы. В момент срабатывания порогового устройства выполняется равенство

$$J_{\text{пор}}(R) = k_0 J_{\text{макс}},$$

где k_0 — коэффициент передачи масштабного преобразователя. Раскрывая это выражение с учетом (6) и (7), получим уравнение

$$1 - \exp(-c\bar{\alpha}_{\text{пор}}t) = k_0,$$

решая которое относительно $\bar{\alpha}_{\text{пор}}$, окончательно имеем

$$\bar{\alpha}_{\text{пор}} = \frac{\ln(1 - k_0)}{-ct}, \quad (8)$$

откуда следует, что порог срабатывания светолокатора, собранного по схеме, представленной на рис. 2, не зависит от состояния атмосферы, поскольку правая часть выражения (8) не содержит компоненты, зависящей от прозрачности атмосферы. Следовательно, такой светолокатор может давать корректные данные о средней прозрачности подоблачного слоя атмосферы.

Однако при этом имеет место большая погрешность определения высоты облаков, а следовательно, и высоты обнаружения ориентиров ВПП. Дело в том, что при одной и той же высоте облаков прозрачность подоблачного слоя различна в зависимости от градиента оптической плотности в этом слое. Поэтому мера прозрачности подоблачного слоя может дать лишь весьма приближенную оценку высоты облаков. Другим недостатком такого светолокатора является необходимость обеспечения работы порогового устройства в широком диапазоне изменения пороговых уровней. Из (4) следует, что коэффициент передачи приемопередающего тракта вследствие работы АРУ равен

$$k = \frac{U_{\text{оп}}}{\alpha_{\text{макс}}(R) IP \exp(-c\bar{\alpha}t)},$$

откуда видно, что с увеличением оптической толщины облачного

слоя $\alpha_{\max}(R)$ / уменьшается коэффициент передачи приемника излучения. Следовательно, при одном и том же значении средней прозрачности $\bar{\alpha}$ уровень сигналов на входе накопителя, а значит и на входе устройства порогового сравнения зависит от градиента прозрачности вдоль трассы зондирования, что приводит к дополнительным погрешностям измерений.

Продолжая анализ, можно показать, что в настоящее время не существует готовых технических решений, пригодных для непосредственного использования их на аэродроме с целью определения высоты обнаружения ориентиров ВПП. Каждое из них лишь частично решает поставленную задачу либо является слишком сложным в технической реализации. Из известных способов обработки эхо-сигналов оптического локатора наиболее подходящим для данной цели является способ, описанный в работе [4]. Этот способ позволяет получать данные о профиле прозрачности в направлении зондирования.

При соответствующей методике использования этой информации можно в значительной мере устранить неопределенность в оценках условий видимости на глиссаде снижения.

Выполненный анализ указывает на необходимость и возможность усовершенствования существующей методики и аппаратуры для измерения в. н. г. о. с целью получения данных о вертикальном профиле прозрачности и оценки высоты обнаружения наземных ориентиров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авиационная метеорология/А. М. Баранов, Н. И. Мазурин, С. В. Солонин, И. А. Янковский.—Л.: Гидрометеиздат, 1966.— 112 с.
2. Ковалев В. А. Об одном способе обработки сигналов лазерного локатора.—Труды ГГО, 1973, вып. 312, с. 128—133.
3. Круглов Р. А. Усовершенствование методики определения видимости взлетно-посадочной полосы (ВПП) в условиях низкой облачности.—Труды ГГО, 1979, вып. 433, с. 31—37.
4. Степаненко В. Д., Васильев В. В. Об оптико-локационном определении прозрачности атмосферы.—Труды ГГО, 1975, вып. 281, с. 101—108.

ПОГРЕШНОСТЬ ПУЛЬСАЦИОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ТУРБУЛЕНТНЫХ ПОТОКОВ, ВЫЗВАННАЯ ОГРАНИЧЕННОЙ ПОЛОСОЙ ПРОПУСКАНИЯ ДАТЧИКОВ

При пульсационных измерениях турбулентных переносов используются малоинерционные датчики, выходные сигналы которых центрируются на некотором временном интервале, перемножаются, а произведение осредняется. Операцию центрирования (исключения среднего значения) обычно выполняют вручную перед началом измерительной процедуры, а затем, после эксперимента, устраняют ошибку центрирования, вычитая из осредненного произведения произведение осредненных раздельно выходных сигналов пульсационных датчиков.

С целью упрощения описанной измерительной процедуры пульсационные датчики стремятся строить таким образом, чтобы центрирование их выходных сигналов выполнялось автоматически. Наиболее распространенным способом автоматического центрирования выходных сигналов пульсационных датчиков является охват их измерительных схем инерционными отрицательными обратными связями [1... 3]. На рис. 1 представлена структурная схема такого датчика. Входное воздействие q (температура, влажность и т. д.) усиливается безынерционным звеном 1. Безынерционное звено охвачено отрицательной обратной связью через инерционное звено 2, имеющее передаточную функцию $W_{oc}(p) = \frac{b}{Tp + 1}$.

Выходное напряжение датчика $U_{\text{вых}}$ для этой схемы связано с входным метеорологическим процессом q соотношением (приведенным в операторной форме)

$$\left(-U_{\text{вых}} \frac{b}{Tp + 1} + aq \right) a = U_{\text{вых}},$$

откуда

$$U_{\text{вых}} = \frac{aq}{1 + ab/Tp + 1}. \quad (1)$$

Здесь a — коэффициент передачи датчика (или звена 1), b — коэффициент передачи цепи обратной связи, T — постоянная времени инерционного звена 2, p — оператор Лапласа.

Преобразовав (1) и представив $U_{\text{ВЫХ}}$ в виде разности выходных напряжений безынерционного и инерционного звеньев, получим

$$U_{\text{ВЫХ}} = aq \left[1 - \frac{ab}{1+ab} \cdot \frac{1}{1 + \frac{T}{ab+1} p} \right]. \quad (2)$$

Из этого выражения видно, что при быстрых изменениях входного процесса q выходное напряжение датчика повторяет их с коэффициентом передачи a . Если же сигнал присутствует на входе постоянно, то выходное напряжение спадает к уровню

$$U_{\text{ВЫХ. ост}} = aq \left(1 - \frac{ab}{1+ab} \right). \quad (3)$$

При достаточно большом коэффициенте передачи разомкнутой системы ($ab \gg 1$) единицей в знаменателе последнего члена (3), заключенного в скобках, можно пренебречь, откуда $U_{\text{ВЫХ. ост}} \approx 0$. Выбирая достаточно большое значение ab , можно во всем диапазоне изменений q обеспечить $U_{\text{ВЫХ. ост}} \approx 0$. Однако эквивалентная постоянная времени

$$(T_{\text{ЭКВ}} = \frac{T}{ab+1}),$$

с которой происходит обработка выходного напряжения к нулю, тоже зависит от величины ab . Это необходимо учитывать при ее выборе, поскольку она определяет низшую граничную частоту полосы пропускания пульсационного датчика $f_{\text{Н}} = 1/T_{\text{ЭКВ}}$.

Высшую граничную частоту $f_{\text{В}}$ полосы пропускания пульсационного датчика определяет главным образом инерционность первичного измерительного преобразователя. В результате измерительная схема пульсационного датчика выступает в качестве полосового фильтра, пропуская на выход из спектра частот входного процесса полосу от

$$f_{\text{Н}} = 1/T_{\text{ЭКВ}} \text{ до } f_{\text{В}} = 1/t_i$$

(t_i — постоянная времени датчика). Это приводит к погрешности в измеряемом турбулентном потоке.

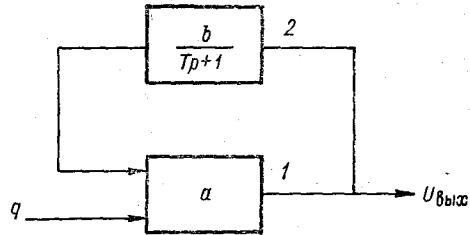


Рис. 1. Структурная схема пульсационного датчика с автоматическим исключением в выходном напряжении составляющей, пропорциональной среднему значению входного процесса q .

В работе [4] проанализирована погрешность в турбулентном потоке в частном случае, когда один из пульсационных датчиков обладает заметной инерционностью (обычно это относится к датчику концентрации субстанции — гигрометру или термометру), и предложен метод коррекции этой погрешности. В настоящей статье результат упомянутой работы обобщен на случай, когда инерционны оба датчика: концентрации субстанции и компоненты скорости. Кроме того, рассмотрено влияние на результаты вычислений потоков ограниченной по низшим частотам полосы пропускания автоматических пульсационных датчиков.

Пусть оба датчика, q и ρw (ρ — плотность воздуха, w — вертикальная скорость), построены по принципу введения инерционной отрицательной обратной связи и имеют нижние граничные частоты полосы пропускания $f_{Hq} = 1/T_q$, $f_{Hw} = 1/T_w$. Тогда пульсационные составляющие q'_e и $\rho w'_e$ на некотором временном интервале на их выходах можно представить, в соответствии с (2), в виде разности сигналов малоинерционного и инерционного звеньев:

$$q'_e(t) = q'_i(t) - \frac{1}{T_q} \int_{-\infty}^t q'_i(v) \exp\left(-\frac{t-v}{T_q}\right) dv, \quad (4)$$

$$\rho w'_e(t) = \rho w'_i(t) - \frac{1}{T_w} \int_{-\infty}^t \rho w'_i(\mu) \exp\left(-\frac{t-\mu}{T_w}\right) d\mu, \quad (4a)$$

где v , μ — переменные интегрирования по времени; t — текущее время.

Перемножив и осреднив на упомянутом временном интервале выходные сигналы датчиков, представленные выражениями (4) и (4a), получим

$$\begin{aligned} \overline{q'_e(t) \rho w'_e(t)} &= \overline{q'_i(t) \rho w'_i(t)} - \rho w'_i(t) \frac{1}{T_q} \int_{-\infty}^t q'_i(v) \exp\left(-\frac{t-v}{T_q}\right) dv - \\ &\quad - q'_i(t) \frac{1}{T_w} \int_{-\infty}^t \rho w'_i(\mu) \exp\left(-\frac{t-\mu}{T_w}\right) d\mu + \\ &\quad + \frac{1}{T_q} \int_{-\infty}^t q'_i(v) \exp\left(-\frac{t-v}{T_q}\right) dv \frac{1}{T_w} \int_{-\infty}^t \rho w'_i(\mu) \exp\left(-\frac{t-\mu}{T_w}\right) d\mu. \end{aligned} \quad (5)$$

Второй и третий члены в (5) (обозначим их через A и B) преобразуем, используя полученное в работе [4] соотношение, определяющее вид экспериментальной корреляционной функции $K_{f, \rho w}(\tau)$ или $K_{\varphi, q}(\tau)$ в случае, когда один из двух датчиков инерционный, а второй безынерционный; эта функция представляет собой результат сглаживания с постоянной времени инерционного

датчика истинной корреляционной функции (получаемой по сигналам безынерционных датчиков):

$$K_{f, \rho w}(\tau) = \frac{1}{t_{iq}} \int_{\tau}^{\infty} \overline{q'(t-\vartheta) \rho w'(t)} \exp\left(-\frac{\vartheta-\tau}{t_{iq}}\right) d\vartheta, \quad (6)$$

$$K_{q, q}(\tau) = \frac{1}{t_{iw}} \int_{\tau}^{\infty} \overline{\rho w'(t-\xi) q'(t)} \exp\left(-\frac{\xi-\tau}{t_{iw}}\right) d\xi, \quad (7)$$

где $K_{q, \rho w}(\tau)$ — истинная корреляционная функция; $K_{f, \rho w}(\tau)$ — практическая корреляционная функция при инерционном звене в цепи датчика концентрации q ; $K_{q, q}(\tau)$ — практическая корреляционная функция при инерционном звене в цепи датчика переноса массы ρw ; t_{iq}, t_{iw} — постоянные времени инерционных звеньев (датчиков). Тогда, по аналогии с (6) и (7), можем представить A и B в (5) в следующем виде:

$$\begin{aligned} A &= \rho w'_i(t) \frac{1}{T_q} \int_{-\infty}^t q'_i(v) \exp\left(-\frac{t-v}{T_q}\right) dv = \\ &= \frac{1}{T_q} \int_0^{\infty} \overline{q'_i(t-\vartheta) \rho w'_i(t)} \exp\left(-\frac{\vartheta}{T_q}\right) d\vartheta, \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} B &= q'_i(t) \frac{1}{T_w} \int_{-\infty}^t \rho w'_i(\mu) \exp\left(-\frac{t-\mu}{T_w}\right) d\mu = \\ &= \frac{1}{T_w} \int_0^{\infty} \overline{\rho w'_i(t-\xi) q'_i(t)} \exp\left(-\frac{\xi}{T_w}\right) d\xi. \end{aligned} \quad (9)$$

В выражениях (6)... (9) ϑ и ξ — переменные интегрирования по аргументу истинной корреляционной функции.

Последний член в (5) (обозначим его через C) можно преобразовать, записав по аналогии с (6) или (7) выражение для корреляционной функции $K_{f, \varphi}(\tau)$, полученное по выходным сигналам двух инерционных звеньев:

$$K_{f, \varphi}(\tau) = \frac{1}{T_q} \int_{\tau}^{\infty} \overline{q'_i(t-\vartheta) \varphi'(t)} \exp\left(-\frac{\vartheta-\tau}{T_q}\right) d\vartheta. \quad (10)$$

Подынтегральное выражение в (10) преобразуем, выполняя замену переменной $\xi = t - \mu$:

$$\begin{aligned} \overline{q'_i(t-\vartheta) \varphi'(t)} &= \frac{1}{T_w} \int_{-\infty}^t q'_i(t-\vartheta) \rho w'_i(\mu) \exp\left(-\frac{t-\mu}{T_w}\right) d\mu = \\ &= \frac{1}{T_w} \int_0^{\infty} \overline{q'_i(t-\vartheta) \rho w'_i(t-\xi)} \exp\left(-\frac{\xi}{T_w}\right) d\xi. \end{aligned} \quad (11)$$

Подставляя (11) в (10), получим

$$K_{f, \varphi}(\tau) = \frac{1}{T_q T_w} \int_0^\infty \int_0^\infty \overline{q'_i(t - \vartheta) \rho \omega'_i(t - \xi)} \exp \frac{\xi(\vartheta - \tau)}{T_w T_q} d\xi d\vartheta. \quad (12)$$

В частном случае ($\tau = 0$) получим

$$C = \frac{1}{T_q T_w} \int_0^\infty \int_0^\infty \overline{q'_i(t - \vartheta) \rho \omega'_i(t - \xi)} \exp \frac{\xi \vartheta}{T_w T_q} d\xi d\vartheta. \quad (13)$$

Выполним оценку полученных выражений для членов A , B и C в (5), ограничившись рассмотрением процессов, близких к стационарным, когда за пределами интервала корреляции значения корреляционной функции малы по сравнению с измеряемым корреляционным моментом

$$\overline{q'_i(t) \rho \omega'_i(t)}.$$

Поскольку мы обычно стремимся пропустить через пульсационные преобразователи практически все частоты, ответственные за формирование корреляционного момента, частоты среза f_{Hq} , f_{Hw} по низшим частотам должны быть достаточно малы, т. е. T_q и T_w велики по сравнению с интервалом взаимной корреляции

$$\tau_{q_i, \rho \omega_i}.$$

Поэтому при оценке членов A и B экспоненциальные члены под интегралом, мало отличающиеся от единицы при ϑ и ξ , близких к

$$\tau_{q_i, \rho \omega_i},$$

можно приравнять к единице. Оценка члена C выполнена при тех же предположениях (корреляционная функция стремится к нулю с ростом сдвига между процессами, интервал взаимной корреляции мал по сравнению с T_q и T_w):

$$A \approx \frac{1}{T_q} \int_0^\infty \overline{q'_i(t - \vartheta) \rho \omega'_i(t)} d\vartheta = \overline{q'_i(t) \rho \omega'_i(t)} \frac{\tau_{q_i, \rho \omega_i}}{T_q}; \quad (14)$$

$$B \approx \frac{1}{T_w} \int_0^\infty \overline{\rho \omega'_i(t - \xi) q'_i(t)} d\xi = \overline{q'_i(t) \rho \omega'_i(t)} \frac{\tau_{q_i, \rho \omega_i}}{T_w}. \quad (15)$$

$$C \approx \frac{1}{T_q T_w} \int_0^\infty \int_0^\infty \overline{q'_i(t - \vartheta) \rho \omega'_i(t - \xi)} d\xi d\vartheta \approx \overline{q'_i(t) \rho \omega'_i(t)} \frac{2\tau_{q_i, \rho \omega_i}}{T_q + T_w}. \quad (16)$$

Подставляя (14), (15) и (16) в (5), получим

$$\overline{q'_e(t) \rho \omega'_e(t)} \approx \overline{q'_i(t) \rho \omega'_i(t)} \left[1 - \tau_{q_i, \rho \omega_i} \left(\frac{1}{T_q} + \frac{1}{T_w} - \frac{2}{T_q + T_w} \right) \right]. \quad (17)$$

В частных случаях ($T_q = T_w = T_H$ или $T_q \rightarrow \infty$, $T_w = T_H$, или $T_w \rightarrow \infty$, $T_q = T_H$) выражение (17) приобретает вид

$$\overline{q'_e(t) \rho \omega'_e(t)} \approx \overline{q'_i(t) \rho \omega'_i(t)} \left(1 - \tau_{q_i, \rho \omega_i} \frac{1}{T_H} \right). \quad (18)$$

Из (18) следует, что относительная погрешность в измерении турбулентных потоков пульсационными датчиками, имеющими автоматические средства для отфильтровывания (непропускания) низших частот, прямо пропорциональна отношению интервала корреляции к периоду самой низкой пропускаемой датчиками частоты.

Разумеется, полученный результат справедлив для случая, когда взаимная корреляционная функция стремится к нулю при сдвиге между процессами, большем интервале корреляции. Если интервал корреляции $\tau_{q_i, \rho \omega_i}$ составляет десятки секунд, то наименьшая пропускаемая датчиками частота должна иметь период сотни секунд, чтобы обеспечить погрешность измерения потока не более 10 %. К сожалению, результатов измерений взаимных корреляционных функций исследуемых процессов (пульсаций влажности, температуры, скорости ветра) пока недостаточно, что не позволяет дать конкретные рекомендации.

В общем случае произвольной взаимной корреляционной функции для оценки погрешности необходимо использовать исходные выражения (14), (15) и (16) ее составляющих A , B и C .

Выше рассмотрена и оценена погрешность в измеряемом пульсационным методом турбулентном потоке за счет ограниченной снизу полосы пропускания датчиков. Однако датчики имеют также и ограниченную сверху полосу пропускания вследствие неизбежной инерционности или пространственного осреднения в первичных преобразователях. В упомянутой работе [4] рассмотрена погрешность (и предложена методика ее коррекции) за счет инерционности одного из двух первичных преобразователей. Ниже рассмотрен общий случай, когда инерционны оба датчика, и предложена методика коррекции этой погрешности.

Измеряемый поток является значением практической корреляционной функции

$$K_1(\tau) = \overline{q'_i(t - \tau) \rho \omega'_i(t)},$$

при $\tau = 0$ образованной по выходным сигналам датчиков, являющихся инерционными звеньями, что позволяет записать для каждого из них следующее выражение:

$$q'_i(t - \tau) = \frac{1}{t_{iq}} \int_{-\infty}^{t - \tau} q'(v) \exp\left(-\frac{t - \tau - v}{t_{iq}}\right) dv,$$

$$\rho \omega'_i(t) = \frac{1}{t_{iw}} \int_{-\infty}^t \rho \omega'(\mu) \exp\left(-\frac{t - \mu}{t_{iw}}\right) d\mu.$$

По аналогии с (12) можно записать

$$\begin{aligned}
 K_{q_i, \rho\omega_i}(\tau) &= K_1(\tau) = \\
 &= \frac{1}{t_{iq}t_{iw}} \int_{\tau}^{\infty} \int_0^{\infty} \overline{q'(t-\vartheta)\rho\omega'(t-\xi)} \exp\left[\frac{\xi(\vartheta-\tau)}{t_{iw}t_{iq}}\right] d\vartheta d\xi = \\
 &= \frac{1}{t_{iw}} \int_0^{\infty} \underbrace{\left[\frac{1}{t_{iq}} \int_{\tau}^{\infty} \overline{q'(t-\vartheta)\rho\omega'(t-\xi)} \exp\left(-\frac{\vartheta-\tau}{t_{iq}}\right) d\vartheta \right]}_{F(\tau, \xi)} \times \\
 &\quad \times \exp\left(-\frac{\xi}{t_{iw}}\right) d\xi. \tag{19}
 \end{aligned}$$

Возьмем производную от двойного интеграла, рассматривая его как повторный, обозначив подынтегральное выражение в квадратных скобках через $F(\tau, \xi)$:

$$\frac{dK_1(\tau)}{d\tau} = \frac{1}{t_{iw}} \int_0^{\infty} \frac{dF(\tau, \xi)}{d\tau} \exp\left(-\frac{\xi}{t_{iw}}\right) d\xi. \tag{20}$$

Вычисляя производную под интегралом, получим, вводя обозначение $K_0(\tau) = K_{q, \rho\omega}(\tau)$:

$$\frac{dF(\tau, \xi)}{d\tau} = \frac{1}{t_{iq}} \underbrace{\frac{1}{t_{iq}} \int_{\tau}^{\infty} K_0(\vartheta - \xi) \exp\left(-\frac{\vartheta - \tau}{t_{iq}}\right) d\vartheta}_{F(\tau, \xi)} - \frac{K_0(\tau - \xi)}{t_{iq}}. \tag{21}$$

Подставляя выражение (21) для производной в (20), с учетом (19) получим

$$\begin{aligned}
 \frac{dK_1(\tau)}{d\tau} &= \frac{1}{t_{iq}} \frac{1}{t_{iw}} \underbrace{\int_0^{\infty} F(\tau, \xi) \exp\left(-\frac{\xi}{t_{iw}}\right) d\xi}_{K_1(\tau)} - \\
 &\quad - \frac{1}{t_{iw}} \frac{1}{t_{iq}} \int_0^{\infty} K_0(\tau - \xi) \exp\left(-\frac{\xi}{t_{iw}}\right) d\xi,
 \end{aligned}$$

или

$$\begin{aligned}
 \frac{dK_1(\tau)}{d\tau} &= \frac{K_1(\tau)}{t_{iq}} - \frac{1}{t_{iq}} \frac{1}{t_{iw}} \int_0^{\infty} K_0(\tau - \xi) \exp\left(-\frac{\xi}{t_{iw}}\right) d\xi = \\
 &= \frac{K_1(\tau)}{t_{iq}} - \frac{1}{t_{iq}} \frac{1}{t_{iw}} \int_{-\infty}^{\tau} K_0(\xi) \exp\left(-\frac{\tau - \xi}{t_{iw}}\right) d\xi. \tag{22}
 \end{aligned}$$

Возьмем вторую производную

$$\frac{d^2 K_1(\tau)}{d\tau^2} = \frac{1}{t_{iq}} \frac{dK_1(\tau)}{d\tau} + \frac{1}{t_{iw}} \frac{1}{t_{iq}} \frac{1}{t_{iw}} \int_{-\infty}^{\tau} K_0(\xi) \exp\left(-\frac{\tau-\xi}{t_{iw}}\right) d\xi - \frac{K_0(\tau)}{t_{iq} t_{iw}}. \quad (23)$$

Подставляя (22) в (23), получим

$$\frac{d^2 K_1(\tau)}{d\tau^2} = \frac{1}{t_{iq}} \frac{dK_1(\tau)}{d\tau} + \frac{1}{t_{iw} t_{iq}} K_1(\tau) - \frac{1}{t_{iw}} \frac{dK_1(\tau)}{d\tau} - \frac{K_0(\tau)}{t_{iq} t_{iw}}, \quad (24)$$

или

$$K_0(\tau) = K_1(\tau) + t_{iw} \frac{dK_1(\tau)}{d\tau} - t_{iq} \frac{dK_1(\tau)}{d\tau} - t_{iq} t_{iw} \frac{d^2 K_1(\tau)}{d\tau^2}, \quad (24a)$$

где

$$K_1(\tau) = \overline{q'_i(t-\tau) \rho \omega'_i(t)}, \quad K_0(\tau) = \overline{q'(t-\tau) \rho \omega'(t)}.$$

Полученная в работе [4] связь между практической ($K_1(\tau)$) и истинной ($K_0(\tau)$) корреляционными функциями для случая, когда инерционен только датчик концентрации субстанции q , а датчик переноса массы воздуха безынерционный, имеющая вид

$$K_0(\tau) = K_1(\tau) - t_{iq} \frac{dK_1(\tau)}{d\tau},$$

является, как нетрудно убедиться, частным случаем выражения (24a) при $t_{iw} = 0$.

При практическом построении коррелометров в ходе эксперимента обычно определяется величина $K_1(\tau^*)$ для некоторого конкретного значения τ^* , обычно равного нулю при пульсационных измерениях турбулентных потоков. Производные от корреляционной функции при этом неизвестны. Чтобы их определить, зададимся конкретным видом практической корреляционной функции в окрестности точки τ^* .

Аппроксимируем практическую корреляционную функцию экспонентой:

$$K_1(\tau) \approx A(\tau) = K_1(\tau^*) \exp\left(-\frac{\tau-\tau^*}{T}\right).$$

Производные аппроксимации в точке $\tau = \tau^*$ положим равными производным практической корреляционной функции:

$$\begin{aligned} \frac{dK_1(\tau)}{d\tau} \Big|_{\tau=\tau^*} &= \frac{dA(\tau)}{d\tau} \Big|_{\tau=\tau^*} = \\ &= -K_1(\tau^*) \frac{1}{T} \exp\left(-\frac{\tau-\tau^*}{T}\right) \Big|_{\tau=\tau^*} = -\frac{K_1(\tau^*)}{T}, \end{aligned} \quad (24б)$$

$$\begin{aligned} & \left. \frac{d^2 K_1(\tau)}{d\tau^2} \right|_{\tau=\tau^*} = \left. \frac{d^2 A(\tau)}{d\tau^2} \right|_{\tau=\tau^*} = \\ & = K_1(\tau^*) \frac{1}{T^2} \exp\left(-\frac{\tau-\tau^*}{T}\right) \Big|_{\tau=\tau^*} = \frac{K_1(\tau^*)}{T^2}, \end{aligned} \quad (24в)$$

Для определения T применим предложенный в работе [4] способ сглаживания выходного сигнала одного из датчиков аperiodическим звеном с известной постоянной времени $t_{аз}$ и образования корреляционного момента из центрированных выходных сигналов упомянутого звена (обозначим его f_{q_i}) и второго датчика ρ_{ω_i} .

Пульсационный сигнал на выходе аperiodического звена

$$f'_{q_i}(t) = \frac{1}{t_{аз}} \int_{-\infty}^t q'_i(v) \exp\left(-\frac{t-v}{t_{аз}}\right) dv,$$

а вспомогательная корреляционная функция $K_2(\tau)$, полученная по выходным сигналам этого звена и датчика пульсаций переноса массы ρ_{ω_i} , будет равна

$$K_2(\tau) = \frac{1}{t_{аз}} \int_{\tau}^{\infty} K_1(\vartheta) \exp\left(-\frac{\vartheta-\tau}{t_{аз}}\right) d\vartheta.$$

Определим $K_2(\tau)$ для $\tau = \tau^*$, используя принятую выше аппроксимацию практической корреляционной функции экспонентой:

$$K_2(\tau^*) = \frac{1}{t_{аз}} \int_{\tau^*}^{\infty} K_1(\tau^*) \exp\left[\left(-\frac{\vartheta-\tau^*}{T}\right)\left(-\frac{\vartheta-\tau^*}{t_{аз}}\right)\right] d\vartheta = \frac{K_1(\tau^*)}{1 + \frac{t_{аз}}{T}}, \quad (25)$$

откуда

$$\frac{1}{T} = \frac{1}{t_{аз}} \frac{K_1(\tau^*) - K_2(\tau^*)}{K_2(\tau^*)}. \quad (25а)$$

Выражение (25а) позволяет определить неизвестный параметр T аппроксимирующей функции $A(\tau)$. Подставляя (25а) в (24б) и (24в), получим значения производных для практической корреляционной функции.

Напомним, что

$$\begin{aligned} K_0(\tau) &= K_{q, \rho_{\omega}}(\tau), \\ K_1(\tau) &= K_{q_i, \rho_{\omega_i}}(\tau), \\ K_2(\tau) &= K_{f_{q_i}, \rho_{\omega_i}}(\tau). \end{aligned}$$

Тогда

$$\left. \frac{dK_1(\tau)}{d\tau} \right|_{\tau=\tau^*} = -\frac{K_1(\tau^*)}{K_2(\tau^*)} \frac{1}{t_{аз}} [K_1(\tau^*) - K_2(\tau^*)], \quad (26)$$

$$\left. \frac{d^2 K_1(\tau)}{d\tau^2} \right|_{\tau=\tau^*} = \frac{K_1(\tau^*)}{K_2^2(\tau^*)} \frac{1}{t_{аз}^2} [K_1(\tau^*) - K_2(\tau^*)]. \quad (27)$$

Подставляя (26) и (27) в (24а), получим формулу для коррекции погрешности от инерционности датчиков:

$$K_0(\tau^*) = K_1(\tau^*) - \frac{(t_{iw} - t_{iq})}{t_{as}} \frac{K_1(\tau^*)}{K_2(\tau^*)} [K_1(\tau^*) - K_2(\tau^*)] + \\ + \frac{t_{iq}t_{iw}}{t_{as}^2} \frac{K_1(\tau^*)}{K_2^2(\tau^*)} [K_1(\tau^*) - K_2(\tau^*)]^2. \quad (28)$$

Эта формула (28) позволяет вычислять истинное значение корреляционной функции

$$K_0(\tau^*) = \overline{q'(t - \tau^*) \rho \omega'(t)}$$

по результатам измерения практической корреляционной функции $K_1(\tau^*)$, получаемой по выходным сигналам датчиков, и дополнительной функции $K_2(\tau^*)$, получаемой с использованием аperiodического звена, включенного в цепи датчика концентрации субстанции q_i .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Комплекс аппаратуры для измерений турбулентных потоков тепла и влаги в приземном слое атмосферы/Ю. А. Песчанский, М. Н. Яккер, Л. А. Каченко, Б. А. Дмитриев.—Л.: Гидрометеиздат, 1976.—68 с.
2. Приборы для измерений пульсаций температуры и скорости ветра и для статистического анализа результатов измерений/В. М. Бовшеверов, А. С. Гурвич, М. И. Мордухович, Л. Р. Цванг.—Труды ИФА, 1962, № 4, с. 21—29.
3. Романов Е. В. Измерение пульсаций метеорологических элементов параметрическими преобразователями с экспоненциальной характеристикой.—Труды ГГО, 1979, вып. 433, с. 106—111.
4. Романов Е. В. Об учете инерционности датчиков при определении турбулентных потоков пульсационным методом.—Труды ГГО, 1971, вып. 259, с. 21—29.

СОДЕРЖАНИЕ

Д. П. Беспалов, Л. Ф. Школяр. О репрезентативности реперных климатических станций	3
Е. Н. Романова, А. В. Калашиников. Мезоклиматические исследования при оценках репрезентативности метеорологических станций в сложных геоморфологических условиях	8
Д. П. Беспалов, Л. А. Грошева. О восполнении пропущенных данных в материалах наблюдений	19
А. В. Завьялова, В. С. Копычева, Т. П. Светлова. Исследование возможности восстановления суточного хода средней месячной температуры методом временной интерполяции	25
Т. В. Ашкинази, Э. Г. Богданова. Сравнение визуального и инструментального методов определения продолжительности и интенсивности дождей на метеорологических станциях	30
Д. П. Беспалов, Т. П. Светлова, А. Я. Смалькова. Использование результатов контроля режимной информации для обнаружения неоднородности метеорологических рядов	36
Э. Г. Богданова. Использование стандартной метеорологической информации для определения режимных характеристик продолжительности и интенсивности осадков	44
Л. В. Анискин, А. Г. Мелихова, Е. А. Федорова, Т. А. Поляченко. О возможности использования данных КРАМС в режимных обобщениях архивов на технических носителях	57
Л. П. Афиногенов, Е. П. Рыжих. Технологические процессы создания архивов на технических носителях	65
Л. П. Афиногенов, Е. П. Рыжих. Технологические процессы эксплуатации архивов на технических носителях	78
Ю. В. Виноградов, Л. Е. Рудельсон. О расчете буферных зон для приема метеосообщений в центральном вычислительном комплексе автоматизированной системы управления воздушным движением	88
А. А. Афанасьев. К вопросу об определении посадочной дальности видимости	94
В. Н. Аднашкин. Метрологическое обеспечение измерений прозрачности атмосферы нефелометрами с углом наблюдения 45°	103
Р. А. Круглов. Оценка условий видимости на конечном отрезке глицсады снижения по градиентным измерениям прозрачности	108
Р. А. Круглов. Анализ погрешностей светолокационного метода измерения высоты облаков на аэродроме	111
Е. В. Романов. Погрешность пульсационных измерений турбулентных потоков, вызванная ограниченной полосой пропускания датчиков	118

УДК 551.508.92 : 551.508.762 : 551.576.4

Анализ погрешностей светолокационного метода измерения высоты облаков на аэродроме. Круглов Р. А. Труды ГГО, 1982, вып. 461, с. 111—117.

Показана зависимость порога срабатывания оптического локатора от градиента и средних значений прозрачности на трассе зондирования. Обосновывается необходимость усовершенствования существующей методики и аппаратуры с целью получения данных о вертикальном профиле прозрачности в подоблачном слое и оценки по этим данным высоты обнаружения наземных ориентиров.

Ил. 2. Библ. 4.

УДК 551.501

Погрешность пульсационных измерений турбулентных потоков, вызванная ограниченной полосой пропускания датчиков. Романов Е. В. Труды ГГО, 1982, вып. 461, с. 118—127.

Рассмотрено влияние на результаты измерений потоков пульсационным методом ограниченной по низшим частотам полосы пропускания автоматических пульсационных датчиков с исключенными за счет инерционной перестройки средними значениями в измеряемых процессах. Проанализирована погрешность в турбулентном потоке, вызванная инерционностью обоих датчиков: концентрации субстанции и компоненты скорости. Предложен метод коррекции этой погрешности, основанный на использовании сглаживающего фильтра с известной постоянной времени.

Ил. 1. Библ. 4.

