ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ ПРИ СОВЕТЕ МИНИСТРОВ СССР

> ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ГЛАВНАЯ ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ им. А. И. ВОЕЙКОВА

ТРУДЫ

ВЫПУСК 213

АКТИНОМЕТРИЯ АТМОСФЕРНАЯ ОПТИКА И ОЗОНОМЕТРИЯ

Под редакцией канд. физ.-мат. наук Г. П. ГУЩИНА и канд. физ.-мат. наук Ю. Д. ЯНИШЕВСКОГО

> БИБ ИОТЕН. Л ни гадоного Гидрометеоролог ческого И ститута



ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

ЛЕНИНГРАД • 1968

УДК 551.52+551.593+551.510.534(061.6)

Сборник содержит статьи, посвященные актуальным вопросам актинометрии, атмосферной оптики и атмосферного озона. Рассматриваются вопросы, связанные с исследованием актинометрических приборов и приборов для измерения дальности видимости. Приводятся средние данные об интегральной прозрачности атмосферы над территорией СССР.

В сборнике публикуются некоторые результаты исследований атмосферного озона в СССР в период МГСС, а также оценки погрешности озонометрических приборов.

2 - 9 - 7108-67

А. М. БРОУНШТЕЙН, Б. П. КОЗЫРЕВ, К. Д. ЛЕБЕДЕВА, С. И. СИВКОВ

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЧЕРНЫХ И БЕЛЫХ ПОКРЫТИЙ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ ПРИЕМНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ АКТИНОМЕТРИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ

Точность актинометрических измерений в большой степени зависит от поглощательных свойств покрытий, которыми окрашиваются в черный или белый цвет приемные поверхности приборов, предназначенных для измерений радиации. Обычно применяемые покрытия оказываются неодинаково чувствительными к радиации различных длин волн, а следовательно, и к радиационным потокам различного спектрального состава. Эти различия в чувствительности являются источником систематических ошибок, понижающих точность измерений. Особенно велики могут быть ошибки за счет селективности приемных поверхностей при измерении радиационных потоков в очень общирном спектральном диапазоне 0,3— 50 мк, в котором производятся измерения эффективной приходящей и уходящей радиации и радиационного баланса, так как измеряющие эти потоки приборы — пиргеометры и балансомеры — градуируются обычно по коротковолновой солнечной радиации.

В работах [4, 5, 6] было показано, какое влияние может оказывать селективность приемных поверхностей балансомеров на результаты измерений радиационного баланса. Была сделана также попытка получить количественную оценку этой селективности путем раздельного определения чувствительности в коротковолновой (0,3—4 мк) части спектра методом «солнце—тень» и длинноволновой (5—50 мк) по сравнению с пиргеометром Онгстрема ночью. Однако полученные выводы не бесспорны и нуждаются в подтверждении непосредственными измерениями поглощательной способности покрытий в зависимости от длины волны. До последнего времени таких исследований не проводилось, несмотря на их настоятельную необходимость.

В 1965 г. Главной геофизической обсерваторией им. А. И. Воейкова совместно с Ленинградским электротехническим институтом им. В. И. Ульянова (Ленина) (ЛЭТИ) проводилась работа по исследованию спектральных характеристик покрытий, применяемых различными производственными организациями при изготовлении и ремонте актинометрических приборов. Кроме образцов красящих покрытий, были исследованы спектральные характеристики приемных поверхностей некоторых типов пиранометров и балансомеров, применяемых на сети станций как в СССР, так и за рубежом.

1*

Спектральные измерения образцов покрытий и приборов производились лабораторией кафедры основ электровакуумной техники ЛЭТИ. Разработка программы исследований, подготовка и создание коллекции образцов покрытий, их испытание на устойчивость по отношению к атмосферным воздействиям и анализ полученных результатов осуществлялись в ГГО (отделом актинометрии и атмосферной оптики).

В настоящей статье сообщаются некоторые результаты исследований, полученные в течение 1965 г. Работа продолжалась и в 1966 г. с конечной целью уточнения измерений основных характеристик радиационного режима, получаемых на сети станций СССР, а также с целью выбора наилучших покрытий и выработки рекомендаций по их стандартизации.

Подготовка образцов покрытий

Предназначенные для исследования образцы актинометрических покрытий изготовлялись на предприятиях, производящих или ремонтирующих актинометрические приборы: в экспериментальных производственных мастерских (ЭПМ) ГГО, Арктического и Антарктического института и в Центральном бюро поверки (ЦБП). В процессе изготовления образцов по возможности повторялась технология изготовления и нанесения покрытий, обычно применяемая на данном предприятии. Отдельные этапы изготовления каждого из образцов покрытий подробно фиксировались.

В качестве подложки образцов применялись квадратные металлические пластинки, размер которых ($20 \times 20 \times 1,5$ мм) был выбран в соответствии с габаритами измерительной ячейки спектральной установки ЛЭТИ. Подложки образцов балансомерных покрытий изготовлялись из красной меди. На эти подложки наклеивалась шеллачным клеем зачерненная химическим способом медная фольга толщиной 0,02—0,04 мм. После высыхания клея производилось окрашивание подложки черной краской определенного состава. В качестве одного из видов покрытий был применен также оптический черный матовый лак Парсонса, рекомендованный ВМО в качестве стандартного черного покрытия для приемных поверхностей актинометрических приборов. При покрытии лаком Парсонса медная фольга на подложку не наклеивалась, так как до нанесения лака подложка покрывалась специальной грунтовкой.

В качестве подложек образцов пиранометрических покрытий применялись пластинки из дюраля или красной меди, на которые клеем БФ-2 наклеивались полоски из манганина и константана, используемые для изготовления термобатарей пиранометров. Промежутки между полосками составляли до ¹/₅ общей поверхности подложки и заполнялись клеем БФ-2. После высыхания клея подложки окрашивались красящим веществом соответствующего состава.

Для суждения о толщине красящего слоя для каждого образца определялась плотность покрытия в мг/см². С этой целью до и после нанесения красящего вещества, после полного высыхания, образцы взвешивались на аналитических весах с точностью до 1 мг.

Для каждого вида покрытий было изготовлено три образца. В течение 1965 г. исследовалось семь видов покрытий, т. е. всего 21 образец. Для хранения образцов были изготовлены футляры из оргстекла, предохраняющие образцы от повреждений в процессе длительного исследования.

Более подробные данные о каждом образце содержатся в таблицах 1 и 2. При изготовлении покрытий количественные соотношения составных частей подбирались опытным путем так, чтобы покрытие получалось матово-черным и не смазывалось при легком нажатии пальцем.

Подготовленные описанным методом образцы были переданы в ЛЭТИ для исследования их спектральных характеристик.

Таблица 1

Номер образца	Изготовитель	Плотность покрытия (мг/см ²)	Состав покрытия и способ нанесения
01 02 03	эпм гго	3,6 4,8 3,7	Сажа на янтарном лаке, разбавленном уксусно-этиловым эфиром. Нанесение широкой мягкой кистью
17 18 19	ЭПМ ААНИИ	3,8 3,9 3,9	Сажа голландская на черном нитролаке, изготовленном на ацетоне. Нанесение пульверизатором
28 29 30	ЦБП	1,4 1,0 1,2	Сажа ламповая на уксусно-этиловом эфи- ре с небольшим количеством акрил-фи- сташкового лака. Нанесение пульвери- затором
10 11 12	ЦБП	$5,2^1$ $5,4^1$ $8,8^1$	Лак Парсонса. Грунтовка наносилась ши- рокой мягкой кистью. По высыхании грунтовки на нее наносился пульвериза- тором слой лака

Образцы балансомерных покрытий

¹ Общая плотность слоя грунтовки и лака.

Таблица 2

Образцы пиранометрических покрытий

·			
Номер образца	Изготовитель	Плотность покрытия (мг/см ²)	Состав покрытия и способ нанесения
•		Белое	покрытие
04 05 06	эпм гго	7,3 11,4 6,5	Магнезит (MgCO ₃) на уксусно-этиловом эфире с добавлением целлулоида (жел- того листового) соответственно ТУ на изготовление пиранометров. Нанесение широкой мягкой кистью
16 20 21	ЦБП	10,9 10,0 8,8	Магнезия (MgO) на уксусно-этиловом эфире с добавлением целлулоида (от фотопленки). Первый тонкий слой нано- сится мягкой кистью, второй—пульве- ризатором
		Черное	покрытие
31 32 33	ЦБП	$2,0^{1}$ 2,41 2,41 2,41	Сажа ламповая, разбавленная уксусно- этиловым эфиром. Наносится пульвери- затором поверх белого покрытия, полу- ченного так же, как для образцов 16, 20, 21

¹ Плотность покрытия указана только для слоя черной краски.

Результаты исследования спектральных характеристик образцов покрытий

Измерения спектров диффузного отражения образцов покрытий были выполнены на приставке к инфракрасному спектрофотометру ИКС-11. Установка для определения коэффициентов диффузного отражения и методика измерений описаны в работах М. А. Кропоткина и Б. П. Козырева [2, 3]. Предельная погрешность измерений составляет приближенно около 6% в интервале длин волн 0,5—20 мк и около 8% за пределами этого интервала, т. е. на участках 0,4—0,5 мк и 20—25 мк. При повторных измерениях одного и того же образца расхождение результатов не превышает $\pm 2\%$.

Спектральные характеристики черных балансомерных покрытий. За количественную характеристику покрытий для балансомеров может быть принято отношение их коэффициентов поглошения для длин волн 15 мк и 0,75 мк. Первая из этих длин волн делит на две равные части поток излучения черного тела при температуре 0° С. Соответствующее ей значение коэффициента поглощения может служить ориентировочной характеристикой поглощательной способности покрытия для длинноволновых потоков радиации. Длина волны 0,75 мк делит на равные части поток солнечной радиации при высоте солнца 30° и средних условиях прозрачности атмосферы. Соответствующая ей величина коэффициента поглощения может рассматриваться как ориентировочная характеристика покрытия для коротковолновой радиации. Эти характеристики покрытий наряду с плотностью красящего слоя (мг/см²) представлены в табл. З. Как показывают эти данные, соотношение коэффициентов поглощения коротковолновой и длинноволновой радиации для исследованных покрытий в зависимости от их состава, способа нанесения и толщины может меняться в широких пре-

делах от 1 до 1,23. Наименьшее значение отношения $\frac{A_{0.75}}{A_{15}}$ отмечается у лака Парсонса, причем и поглощательная способность для каждой из этих длин волн в отдельности получается близкой к единице.

Таблица З

Образец	Относительн тельная спос для 7	ая поглоща- собность А мк	$\frac{A_{0.75}}{A_{15}}$	Плотность покрытия	
	0,75	15	10	(мг/см ²)	
ЭПМ ГГО (среднее для образцов 01, 02, и 03)	0,96	0,78	1,23	4,0	
цов 17, 18, 19)	0,96	0,90	1,07	3,9	
ЦБП (среднее для образцов 28, 29, 30)	0,96	0,92	1,04	1,2	
Лак Парсонса (среднее для образ- цов 10, 11, 12)	0,99	0,98	1,01	6,5	

Близко к лаку Парсонса подходит черное покрытие ЦБП. ¹ Возможно его спектральные характеристики могли бы быть еще улучшены путем увеличения плотности покрытия (например, повторным нанесением чер-

¹ Покрытие изготовлено механиком Центрального бюро поверки при ГГО В. Н. Никитиным.

нящего слоя). Такое предположение представляется вполне вероятным, так как исследованные образцы ЦБП отличаются от всех других наименьшей плотностью покрытия. Наибольшей селективностью отличаются покрытия ЭПМ ГГО, у которых поглощательная способность для коротковолновой и длинноволновой радиации различается на 23%.

Полученные результаты удовлетворительно согласуются с результатами исследования 20 экземпляров сетевых балансомеров, описанными в работе [6]. Для этих балансомеров, различающихся по месту и времени изготовления, чувствительность к коротковолновой и длинноволновой радиации расходилась в среднем на 19% с колебаниями для отдельных приборов от 5 до 39%.

Спектральные характеристики покрытий для пиранометров. В зависимости от типа пиранометров их приемные поверхности окрашиваются либо полностью в черный цвет (пиранометры Моля—Горчинского), либо частично в черный, частично в белый цвета (пиранометры Янишевского). В качестве черного покрытия для пиранометров исследовалось только покрытие ЦБП (образцы 31, 32 и 33). Спектральные характеристики черных покрытий представлены на рис. 1 и 2. Как видно из рисунка, коэффициент поглощения образца 33 в области 0,4—3 мк очень устойчиво держится на уровне около 96% (коэффициент отражения $R_{\lambda} \approx 4\%$). Такова же устойчивость в этой области спектра и других черных покрытий, применяемых для балансомеров. Таким образом, чувствительность всех черных покрытий в коротковолновой области спектра можно считать постоянной и практически независящей от спектрального состава прямой и рассеянной радиации.

Интересно отметить, что черное пиранометрическое покрытие ЦБП имеет коэффициент поглощения хотя и несколько меньший, чем у лака Парсонса, но зато мало меняющийся в очень широком диапазоне, вплоть до $\lambda = 25$ мк. По-видимому, здесь имеет значение то, что в этом покрытии черная краска наносится на подложку из магнезии, пористая структура которой способствует более полному поглощению длинноволновой радиации. Это покрытие следует считать вполне пригодным не только для пиранометров, но и для балансомеров с защищенной приемной поверхностью и следует рекомендовать его наряду с лаком Парсонса. Если бы удалось обеспечить достаточную прочность этого пористого слоя, то такое покрытие можно было бы считать очень хорошим покрытием и для балансомеров с открытой приемной поверхностью.

В качестве белых покрытий для приемных поверхностей пиранометров обычно применяется магнезия (окись магния MgO) или магнезит (углекислый магний MgCO₃). Исследованные спектральные характеристики этих покрытий оказались очень сходными: коэффициенты отражения этих покрытий сравнительно мало меняются в области 0,5— 1,5 мк. От этой области отражение уменьшается в обе стороны: менее значительно в сторону коротких волн и более быстро в сторону длинных (табл. 4).

	T	а	б	Л	И	Ц	а	4
--	---	---	---	---	---	---	---	---

Состав покрытия	Плотность		Коэф	фициен	іт отра	жения	для λ	мк	
	(мг/см ²)	0,4	0,6	0,8	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
MgO (образцы	9,9	0,77	0,86	0,83	0,82	0,79	0,71	0,57	0,07
MgCO ₃ (образцы 04, 05, 06)	8,4	0,73	0,81	0,80	0,78	0,74	0,64	0,45	0,09



В среднем образцы, покрытые слоем окиси магния, показали несколько более высокий коэффициент отражения, чем образцы, покрытые MgCO₃. Расхождение в величинах коэффициентов отражения отдельных образцов в области $\lambda < 2$ мк может доходить до 5—7%. В длинноволновой области $\lambda > 2$ мк расхождения незначительны.

Спектральные характеристики белых покрытий для образцов 04 и 16 представлены на рис. 3.





Проверка образцов на прочность и устойчивость покрытий

К покрытиям для приемных поверхностей актинометрических приборов, помимо требования возможно меньшей селективности, предъявляется также требование небольшой изменчивости спектральных характеристик со временем (т. е. медленного старения) и устойчивости покрытий по отношению к атмосферным воздействиям, которым может подвергаться приемная поверхность прибора в процессе его эксплуатации.

В целях проверки стабильности покрытий образцы после измерения их спектральных характеристик в ЛЭТИ были подвергнуты специальным испытаниям в Воейково. Испытания проводились в трех вариантах.

Один из каждых трех экземпляров образцов одного и того же покрытия не подвергался атмосферным воздействиям и хранился в лаборатории в футляре. Другой был установлен на метеорологической площадке и открывался только во время срочных наблюдений на время, необходимое для проведения наблюдения. Третий экземпляр оставался открытым все время, пока был открыт приемник соответствующей регистрирующей установки. Образцы пиранометрических покрытий были помещены в головках пиранометров под стандартными стеклянными колпаками. Образцы балансомерных покрытий были установлены в футлярах, крышки которых открывались на время срочных наблюдений, или (для образцов, испытывавшихся в условиях регистрации) надевались на футляры только на время выпадения гидрометеоров.

Испытания должны проводиться в течение года, причем исследование спектральных характеристик должно повторяться через 3 и 6 месяцев и по окончании испытаний.

В течение 1965 г. было проведено только одно повторное измерение спектральных характеристик через 3 месяца после начала испытаний. В настоящей статье сообщаются предварительные результаты контроля устойчивости покрытий только для трехмесячного срока.

В результате трехмесячных испытаний было установлено, что изменение спектральных характеристик образцов, не подвергавшихся длительным атмосферным воздействиям, незначительно и не выходит за пределы точности определения этих характеристик. Более заметны, но все же невелики оказались изменения характеристик тех образцов, которые подвергались старению в условиях работы приемников регистрирующих установок, т. е. большую часть времени оставались открытыми. Эти изменения для черных покрытий приведены в табл. 5.

Образец	Относи поглоща способн для)	тельная ітельная ность А мк	$\frac{A_{0,75}}{A_{15}}$	$\Delta \frac{A_{0,75}}{A_{15}}$	
	0,75	15			
ЭПМ ГГО (образец 03) ЭПМ ААНИИ (обра- зец 19) ЦБП (образец 30) Лак Парсонса (обра- зец 11)	0,96 0,97 0,97 0,97 0,97	0,81 0,89 0,89 0,97	1,19 1,09 1,09 1,00	$-0,04 \\ +0,02 \\ +0,05 \\ -0,01$	

Таблица 5

Эти результаты свидетельствуют об удовлетворительной устойчивости покрытий, по крайней мере в течение трех месяцев испытаний (август—октябрь). Наиболее устойчивым оказался лак Парсонса, хотя и для других покрытий изменения нельзя считать значительными. Очень устойчивой оказалась чувствительность всех покрытий по отношению к коротковолновой радиации. Отмеченные изменения относятся только к длинноволновой части спектра.

Кривые спектральных коэффициентов отражения R_{λ} для образцов 03, 11, 33, 19 и 30 представлены на рис. 1 и 2. На этих рисунках кривые, полученные до начала испытаний на устойчивость покрытий, обозначены цифрой *1*, кривые после трехмесячных испытаний — цифрой *2*.

Изменение спектральных характеристик белых покрытий после трехмесячного старения получается более заметным, чем для черных поверхностей. Однако это изменение мало влияет на точность измерений, если пиранометры регулярно градуируются по прямой солнечной радиации.

Спектральные характеристики приборов

Кроме красящих покрытий были исследованы спектральные характеристики двух балансомеров Янишевского (№ 4088-А производства ЭПМ ГГО, изготовленного в 1961 г., и № П-1672 производства Тбилисского завода гидрометприборов, изготовленного в 1964 г.), английского балансомера обсерватории Кью и балансомера Шульце (ФРГ), а также двух пиранометров Янишевского (№ 8213 и № 10612), пиранометра Молля—Горчинского и австрийского звездчатого пиранометра (Starругапоmeter) Дирмхирн.

Описание установки и методики измерения спектральных характеристик приборов дано в [1]. Там же представлены спектральные кривые, полученные для отдельных приборов. В настоящей статье отмечаются только некоторые основные результаты этого исследования.

Спектральные характеристики балансомеров. Оба исследованных балансомера Янишевского обнаруживают лишь очень небольшую селективность: в области 7—15 мк чувствительность понижена на 4—5% по отношению к чувствительности в коротковолновой области 0,4—1,4 мк. Эти приборы по своим спектральным характеристикам могут рассматриваться как одни из лучших.

Интересно отметить, что результаты спектрального исследования селективности балансомера № 4088-А подтверждают полученные для него ранее другим методом [6] значения отношения чувствительности в коротковолновой и длинноволновой частях спектра. По сравнению с пиргеометром Онгстрема, градуированным по «снежному небу», это отношение было получено также равным 1,05. Это совпадение свидетельствует об удовлетворительной точности определений длинноволновой чувствительности балансомеров при их градуировках по тщательно проверенному пиргеометру, т. е. об отсутствии заметных систематических ошибок при измерениях пиргеометром Онгстрема.

Спектральная характеристика балансомера Кью получилась несколько хуже, чем балансомеров Янишевского: отношение $\frac{A_{0.75}}{A_{15}}$ для него составило 1,10. Понижение чувствительности наблюдается в области 1,4—2,4 мк. При дальнейшем увеличении длины волны чувствительность меняется мало и немонотонно.

У балансомера Шульце наблюдаются большие и неправильные изменения чувствительности в полосах поглощения полиэтиленовой пленки, из которой изготовлены защитные колпачки балансомеров.

Спектральные характеристики пиранометров. Спектральные характеристики чувствительности были определены для пиранометра Молля—Горчинского с черной приемной поверхностью, двух пиранометров Янишевского и пиранометра Дирмхирн (приборы с черно-белой поверхностью).

Для пиранометра Молля—Горчинского Д-18-1511 определена практически постоянная чувствительность в области 0,4-1,2 мк, уменьшающаяся на 2-3% в области 1,2-1,5 мк; далее чувствительность остается почти постоянной до 2,3 мк и очень быстро уменьшается при $\lambda > 2,5$ мк.

Для пиранометров с черно-белой поверхностью спектральная характеристика чувствительности определяется отражательными свойствами белых поверхностей. Поэтому кривые спектральной чувствительности получаются сходными (табл. 6).

Таблица б

	Чувствительность (отн. ед.) при λ мк							
Тип прибора и №	0,4	0,6	0,8	1,0	1,5	2,0	2,5	
Янишевского 8213 Янишевского 10612 Дирмхирн № FAT 3943	0,90 0,91 (0,77)	0,97 1,00 0,96	1,00 1,00 0,99	0,99 0,97 1,00	0,83 0,79 0,89	0,62 0,52 0,79	0,24 0,25 0,40	

Спектральные характеристики сетевых балансомеров и пиранометров получены впервые. Они позволяют определить ошибки измерений приборами, градуированными по прямой солнечной радиации в тех случаях, когда ими измеряются потоки с существенно иным спектральным составом.

ЛИТЕРАТУРА

- I. Козырев Б. П., Бученков В. А. Измерение спектральной чувствительности пиранометров и балансомеров. Изв. АН СССР, сер. физики атмосферы и океана, т. П. № 5, 1966.
- 2. Кропоткин М. А., Козырев Б. П. Установка для исследования спектрального отражения рассеивающих материалов в длинноволновой и. к. части спектра. Изв. ВУЗов СССР. Приборостроение. т. 6, № 4, 1963.
- 3. Кропоткин М. А., Козырев Б. П. Методика работы и исследование спектраль-

- Кропоткин М. А., Козырев Б. П. Методика работы и исследование спектрального отражения рассеивающих материалов в длинноволновой и. к. части спектра. Изв. ВУЗов СССР. Приборостроение. т. 7, № 5, стр. 122. 1964.
 Лебедева К. Д., Сивков С. И. О точности измерений радиационного баланса термоэлектрическими балансомерами. Труды ГГО. вып. 129, 1962.
 Лебедева К. Д., Сивков С. И., Ястребова Т. К. О повышении точности измерений радиационного баланса на сети станций. Труды ГГО, вып. 160, 1964.
 Лебедева К. Д., Сивков С. И., Ястребова Т. К. Результаты исследование пермоэлектрических балансомеров Ю. Д. Янишевского. Труды ГГО, вып. 109, 1964. вып. 174, 1965.

Б. П. КОЗЫРЕВ, В. А. БУЧЕНКОВ

СПЕКТРАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ УГЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПИРАНОМЕТРОВ И БАЛАНСОМЕРОВ

При измерении рассеянной и суммарной радиации, а также при нахождении радиационного баланса с помощью балансомеров необходимо осуществление возможности приема радиации из телесного угла 2π. Это требование не является необычным, но во всех случаях выполнение его приводит к усложнениям в конструкциях приборов. Существующие приемники радиации либо имеют входное окно полусферической формы, либо используются без него, если техническое исполнение последнего представляет значительные трудности (например, из-за большого размера приемной поверхности прибора). Угловая характеристика в последнем случае зависит лишь от оптических свойств поглощающего покрытия. В случае же наличия входного окна возникают ошибки, связанные с дополнительным отражением радиации от внутренней поверхности полусферы, от неточности изготовления полусферической формы входного окна. Эти вопросы уже были рассмотрены в [1, 2] с точки зрения получения входного окна оптимальной формы.

В обычной практике проводят поверку лишь интегральных косинусных характеристик приборов, однако не менее важно знать, как зависит угловая характеристика приемника от длины волны падающей радиации. В работе [3] указывается, что в случае большого поглощения покрытия коэффициент отражения является функцией угла падения радиации, так как отражение неполяризованного потока излучения определяется формулой Френеля. Следовательно, если коэффициент преломления поглощающего покрытия слабо меняется с длиной волны, то угловую характеристику приборов можно считать неизменной в рабочем спектральном диапазоне.

Независимость спектральных угловых характеристик от длины волны падающей радиации можно представить как постоянство спектральной чувствительности приборов при различных углах падения (угол между плоскостью приемной поверхности и направлением потока радиации). Спектральная чувствительность пиранометров и балансомеров только при нормальном падении радиации уже рассматривалась авторами ранее [4]. Получение спектральной угловой чувствительности значительно труднее, так как связано прежде всего с уменьшением отклонений при малых углах *h* по сравнению с отклонениями по шкале измерительного прибора при нормальном падении радиации. В итоге увеличивается погрешность при снятии показаний и усложняется процесс получения спектральной кривой с достаточным разрешением. Измерение же угловых характеристик в зависимости от длины волны падающей радиации, по существу, повторяет исследование интегральных угловых характеристик. Отличие состоит лишь в том, что необходимо облучать приемную поверхность радиацией с определенной длиной волны, причем к спектральному разрешению не предъявляются строгие требования, так как заметные изменения угловых характеристик с длиной волны, как показали исследования, наблюдаются лишь при очень широком диапазоне длин волн.

В данной работе были изучены зависимости угловых характеристик пиранометра ЛЭТИ № 356, пиранометра ГГО № 10612 и балансомера ГГО № 4088-А.



Рис. 1. Схема для измерений спектральной угловой характеристики пиранометров и балансомеров.

У выходной щели инфракрасного спектрометра ИКС-12 был установлен в горизонтальной плоскости лимб с ценой деления 0,5° (рис. 1). В центре лимба вокруг вертикальной оси вращался указатель и закрепленный на нем испытываемый прибор, причем ось вращения находилась в плоскости приемной поверхности.

Выходящий из монохроматора луч имеет различные углы расхождения в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Поэтому получение параллельного пучка лучей в обеих плоскостях представляется затруднительным. Но, так как вращение указателя с прибором происходит в горизонтальной плоскости, то достаточно только в этой плоскости обеспечить параллельность выходящего пучка. Для этой цели на выходе монохроматора устанавливалось сферическое зеркало (F=50 см) с наружным покрытием. Параллельный в горизонтальной и слабо расходящийся в вертикальной плоскостях пучок имел большие размеры, что обеспечивало хорошую равномерность облученности в средней части, где располагалась приемная поверхность испытываемого пиранометра (балансомера).

Начальное положение (*h*=0) определялось по тени в видимой области спектра при косом падении лучей. Точность установки была





в пределах десятых долей градуса. Относительно этого первоначального положения определялись остальные значения углов.

Измерение угловых характеристик производилось через 10°. При снятии показаний контролировалось изменение величины падающей радиации с помощью радиационного термоэлемента, находящегося внутри спектрометра ИКС-12. Полученные результаты были представлены в виде зависимости поправочного коэффициента

$$F_h = \frac{\sin h}{n_h/n_{90^\circ}}$$

от угла h, где n_{90° — отклонение по щкале измерительного прибора при нормальном падении радиации. Возникающая в цепи исследуемого прибора термоэдс регистрировалась после усиления фотоэлектрооптическим усилителем ФЭОУ-18 электронным потенциометром ЭПП-09М.

Результаты измерений для указанных выще пиранометров и балансомера представлены на рис. 2, 3, 4.

Анализ погрешностей измерений показал, что ошибка в основном зависит от того, насколько точно определяется значение величины отклонения по шкале самописца. Если учесть, что считывание происходит с точностью до 1 мм, то погрешность в определении F_h в диапазоне углов от 80 до 50° будет в пределах $\pm 0,01$, а при уменьшении угла до 10° она увеличивается до $\pm 0.04 \div 0.05$. Разброс значений при малых углах у некоторых приборов оказался в пределах погрешности измерений, и подобные изменения можно считать несущественными.

Исследование угловых характеристик балансомеров производилось только до длины волны 6,5 мк. Далее измерения проводить в этих же условиях почти невозможно. Объясняется это высоким уровнем шумовых помех и уменьшением энергии излучения, которую еще можно надежно зарегистрировать при нормальном падении радиации, но при малых углах h отклонения становятся плохо различимыми.

Результаты измерений спектральных угловых характеристик указывают на то, что спектральная чувствительность приборов в исследуемом диапазоне волн слабо зависит от угла падения радиации. Угловые характеристики в основном повторяют интегральные, обычно прилагаемые к приборам.

ЛИТЕРАТУРА

I. Гуляев Б. И. Угловые характеристики приборов с плоскими фильтрами. Труды ГГО, вып. 100, 1960.

Wörner H. Die Schwächung der Sonnen- und Himmelstrahlung beim Durchgang durch ebene und halbkugelförmige Glasflächen. Zs. f. Meteor. Bd 7, 1953.
 Pokrowski G. I. Über die Abhängigkeit des Koeffizienten der diffusen Reflexion

- vom Einfallswinkel des Lichtes. Zeitschrift für Physik. Bd 32, II, 563, 1925.
- 4. Козырев Б. П., Бученков В. А. Измерение спектральной чувствительности пиранометров и балансомеров. Изв. АН СССР, сер. физики атмосферы и океана, т. И. № 5. 1966.

С. И. СИВКОВ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ АЛЬБЕДО БОЛЬШИХ УЧАСТКОВ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ИЗ ИЗМЕРЕНИЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ НЕБА

Непосредственные измерения величин альбедо подстилающей поверхности производятся на всех актинометрических станциях СССР. Однако таким путем измеряется только альбедо поверхности небольшого участка, находящегося под альбедометром и обычно покрытого летом невысокой травой, а зимой снегом. Эпизодически на небольшом числе станций, кроме этого, производятся измерения альбедо вне актинометрических площадок на участках с различными подстилающими поверхностями, характерными для района станции. Получаемые таким путем данные дают микроклиматическую характеристику отражательных свойств отдельных сравнительно небольших площадей. Между тем для получения репрезентативных величин отраженной и поглощенной деятельной поверхностью радиации необходимо иметь обобщенные, эффективные величины альбедо, характерные для обширных участков земной поверхности и типичных ландшафтов.

Непосредственное измерение альбедо больших участков земной поверхности может производиться с достаточной высоты альбедометрами, установленными на самолетах или аэростатах. Однако такие наблюдения могут быть выполнены лишь в редких случаях. Поэтому возможность более простого определения альбедо больших площадей с разнообразной подстилающей поверхностью представляет существенный интерес.

Одним из таких более простых методов может являться излагаемый ниже метод определения альбедо по измерениям поляризации безоблачного неба при двух различных высотах солнца.

Поляризация света, исходящего из определенной точки небесного звода, при отсутствии облачности зависит от углового расстояния этой гочки от солнца, высоты солнца над горизонтом, прозрачности атмоферы и альбедо земной поверхности. Величина поляризации обычно измеряется в точке максимальной поляризации, т. е. в вертикале солнца и на угловом расстоянии 90° от центра солнечного диска. Таким образом, илияние изменения углового расстояния исключается. Теория рассеяния света позволяет вычислить зависимость величины поляризации от высоты солнца и альбедо поверхности для идеальной атмосферы, не одержащей водяных паров и аэрозолей. Такие расчеты могут быть произведены по теории Чандрасекара [8] или И. И. Тихановского [7, 9], причем расчеты по обеим теориям практически приводят к одинаковым

2 Заказ № 678

БИБ ПОТЕН Л ни г аденого Гидрометерролог ческого И ститута результатам. Расчеты по теории Тихановского приводят к следующим соотношениям (табл. 1) между величиной поляризации *P* (промилле), высотой солнца *h* и альбедо *A* [5].

Т	а	б	л	и	п	a	1
Υ.	u	•	01			u	-

h°						Этношен	ие
A	0,	20	30	45	$\frac{P_{0^{\circ}}}{P_{20^{\circ}}}$	$\frac{P_{0^{\circ}}}{P_{30^{\circ}}}$	$\frac{P_{0^{\circ}}}{P_{45^{\circ}}}$
$\begin{array}{c} 0,10\\ 0,15\\ 0,20\\ 0,30\\ 0,60\\ 0,80 \end{array}$	852 848 845 838 817 803	803 779 756 713 602 541	$781 \\ 748 \\ 713 \\ 656 \\ 522 \\ 450$	755709669598440364	1,06 1,09 1,12 1,18 1,36 1,48	1,09 1,13 1,19 1,28 1,58 1,78	1,131,191,261,401,862,21

Как можно видеть из этих данных, величина альбедо является линейной функцией отношения величины поляризации, измеренной при двух различных высотах солнца h_1 и h_2 . За одну из этих высот целесообразно принять высоту 0° (в момент восхода солнца), когда величина поляризации достигает максимума. В частности, для $h_2=20^\circ$ и $h_2=30^\circ$ величина A определяется из уравнений

$$A = 1,65 \left(\frac{P_{0^{\circ}}}{P_{20^{\circ}}} - 1 \right) \tag{1}$$

И

$$A = 1,07 \left(\frac{P_{0^{\circ}}}{P_{30^{\circ}}} - 1 \right).$$
 (2)_

Таблица 2

В ранее опубликованной работе автора [5] было показано, что отношения величин поляризации при двух различных высотах солнца в идеальной и реальной атмосфере должны быть одинаковы. Таким образом, уравнения (1) и (2) могут быть использованы и для определения величины альбедо в реальной атмосфере.

В качестве примера предлагаемого метода в табл. 2 приводятся результаты определения альбедо подстилающей поверхности по данным измерений поляризации, произведенных в различных пунктах и при различных условиях. Для расчетов использованы измерения Н. Н. Калитина в Павловске [3], И. И. Тихановского в Ташкенте [6] и Симферополе [2] и измерения автора в Карадаге.

Место наблюдения	h_1°	h_2°	$P_{h_1} 0/_{00}$	$P_{h_2} 0/_{00}$	$\frac{P_{h_1}}{P_{h_2}}$	Aº/0
Павловск (без снежного покрова) Павловск (при снежном покрове) Коростор (пори снежном покрове)	$\begin{array}{c} 0 \\ 5 \end{array}$	30 25	75 70	68 62	1,10 1,35	11 59
Карадаг (июнь и июль 1940 и 1941 гг.)	0	30	67	60	1,12	13
Гашкент Симферополь (июнь и июль 1931 и 1932 гг.)	0 0	30 20	76 71	66 63	1,15 1,13	16 21
симферополь (при снежном покро- ве, 1/III 1929 г.)	0.	20	68	55	1,24	40

Исходные данные и результаты расчета величин альбедо

К сожалению, полученные результаты нельзя сопоставить с одновременными инструментальными определениями альбедо ввиду отсутствия последних.

Однако можно сравнить поляриметрические оценки альбедо с результатами самолетных измерений, выполненных в последнее десятилетие.

При таких сопоставлениях следует иметь в виду, что при измерениях с самолетов и на стационарных площадках определяется величина альбедо для интегрального потока суммарной радиации, тогда как поляриметрический метод дает величину альбедо только для видимой области спектра. Как показывают результаты исследований, для большинства естественных поверхностей альбедо в видимой части спектра на несколько процентов меньше интегрального [4].

В Павловске в теплое время года измерения поляризации производились преимущественно в условиях окружающего земного ландшафта (парковая растительность, поля, огороды). По данным, приведенным в монографии [1], альбедо ландшафтов этого типа в районе Ленинграда наиболее часто лежит в пределах 10—15%. Это находится в согласии с поляризационной оценкой альбедо 11% для Павловска.

Для Карадага в летние месяцы характерен ландшафт желтого типа (выгоревшая трава, сухая глинистая почва, скалы). Измерения альбедо типичных участков такой поверхности дают значения порядка 20—25%. Так как место измерения находится на берегу моря, то величина альбедо, определяющая поляризацию, близка к средней из величин для суши и водной поверхности. Последняя для высоты солнца 30° по формуле Френеля составляет около 8%. Таким образом, измеренные значения поляризации соответствуют значению A = (22+8)/2 = 15%. Поляризационная же оценка дает A = 13%.

Окрестности Ташкента также представляют ландшафт преимущественно желтого типа. Участки, занятые городскими постройками и сельскохозяйственными культурами, чередуются здесь с глинистыми и песчаными участками, характерными для зоны полупустыни. Измерения с самолетов дают для летних месяцев в районе Ташкента наиболее часто повторяющиеся значения альбедо 20—25%. Поляриметрический метод дает A = 18%.

Наиболее высокое значение альбедо летом (21%) получается для Симферополя. Так как место наблюдений здесь расположено внутри города, то сравнительно высокое значение альбедо можно объяснить влиянием отражения от городских построек, окрашенных преимущественно в белый цвет.

При наличии снежного покрова общее альбедо поверхности сильно возрастает, так как альбедо снега в зависимости от свежести снежного покрова и его состояния может меняться в пределах от 50 до 95%. Однако альбедо ландшафтов, включающих темные объекты (особенно хвойные леса), должно быть значительно ниже. По данным самолетных измерений, альбедо территорий, занятых лесами, для зимних месяцев может быть на 20—25% ниже альбедо чистого снежного покрова. Для Павловска поляризационный метод дает величину A = 59%, что на 10—12% ниже среднего зимнего значения альбедо, измеренного на стационарных площадках актинометрических станций.

Для Симферополя значение альбедо при снежном покрове получается значительно ниже — всего лишь 40%. Небольшая величина альбедо может быть объяснена тем, что снежный покров в условиях Крыма обычно тонок и быстро сходит, а в черте города значительные площади (крыши домов, дворы, мостовые, и т. д.) либо вовсе лишёны снежного

 2^*

покрова, либо отражательная способность его весьма понижена вследствие загрязнения.

Таким образом, произведенные сопоставления позволяют считать поляриметрические оценки альбедо больших участков земной поверхности близкими к действительности.

Непосредственная оценка точности предлагаемого метода могла бы быть произведена путем одновременных измерений при отсутствии облачности альбедо земной поверхности с самолета или аэростата и величины поляризации неба в точке максимальной поляризации с земли.

Применимость поляриметрического метода измерения альбедо несколько ограничивается требованием безоблачного состояния неба. Однако и при этом условии может быть получено значительно большее количество данных, характеризующих сезонное и территориальное распределение альбедо по территориям, чем это возможно путем непосредственных измерений.

Быстрота же и легкость поляриметрического метода определения альбедо представляет настолько существенные преимущества, что проверку метода и установление его точности следует считать весьма желательными.

ЛИТЕРАТУРА

1. Барашкова Е. П [и др.] Радиационный режим территории СССР. Гидрометеоиздат, Л., 1961.

2. Бюллетень погоды и состояния моря по Черноморско-Азовскому побережью, № 1— 36, Феодосия, 1929.

3. Калитин Н. Н. Некоторые выводы из наблюдений над поляризацией и прозрачностью атмосферы. Геофиз. сб., т. IV, вып. 2, 1923.

4. Кондратьев К. Я. Лучистая энергия солнца. Гидрометеоиздат. Л., 1954.

5. Сивков С. И. Количественная характеристика деполяризации света аэрозольными частицами атмосферы. Труды II Межведомственного совещания по актинометрии и атмосферной оптике. Гидрометеоиздат, Л., 1961.

6. Тихановский И. И. Исследования поляризации небесного света. Журнал геофиз. и метеорол., т. IV. вып. 2, 1927.
7. Тихановский И. И. Теория поляризации и яркости небесного света для абсо-

 Тихановский И. И. Теория поляризации и яркости небесного света для абсолютно чистой земной атмосферы. Изв. Крымского Пединститута, т. 2, 1928.
 И в раскар С. Поронеа личного состати и Ц. 1953.

 Чандрасекар С. Перенос лучистой энергии, ИЛ, 1953.
 Tichanowsky 1. I. Theorie der Lichtzerstreuung in der Erdatmosphäre. Phys. Zeitschr., Nr 20, 1927.

Л. В. ЛУЦЬКО, Р. Ф. ВАЙСБАНД

О СООТНОШЕНИИ ПРЯМОЙ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ С ОСВЕЩЕННОСТЬЮ

На целесообразность измерений освещенности от прямой солнечной радиации указывал С. И. Сивков [3]. Онгстремом и Драммондом [8] показан способ поверки фотометров по солнечной радиации путем сравнения показаний фотометра с показаниями актинометров со стандартными фильтрами Шотта. Это возможно благодаря тесной связи освещенности и радиации в области длин волн короче 0,7 мк.

Примененные в настоящей работе светофильтры БС-8 и КС-19 позволяют выделить более близкий к видимой области участок спектра от 0,38 до 0,71 мк по сравнению с использованными Онгстремом и Драммондом участками 0,29—0,63 и 0,29—0,71 мк.

Центры границ пропускания фильтров БС-8 и КС-19 обеспечивают выделение спектрального участка, соответствующего принятому в СССР новому определению фотосинтетически активной радиации (ФАР) [1] как энергии, заключенной в области спектра от 0,38 до 0,71 мк. Можно предполагать, что связь между ФАР и освещенностью будет еще меньше зависеть от различных метеорологических условий, чем между коротковолновым участком солнечной радиации и освещенностью.

В настоящей работе измерялась прямая солнечная радиация актинометрами AT-50 без фильтров и с фильтрами БС-8, РГ-2 и КС-19. Редукционные множители вычислялись по известной методике. Актинометры проверены при различных температурах по пиргелиометру с точностью $\pm 0.5\%$.

Значения интегральной и спектральной прямой солнечной радиации снимались одновременно с измерениями освещенности, которые производились по визуальному фотометру Шмидт и Генш. С целью исправления известных ошибок, имевших место при визуальном измерении освещенности, в фотометре были произведены некоторые конструктивные улучшения, часть которых уже описана в [2]. Для данных измерений произведены следующие дополнительные изменения:

1) поставлена более мощная лампа сравнения, работающая в режиме недокала, соответствующем цветовой температуре эталона силы света (2360° К), по которому производилась градуировка фотометра. Благодаря этому исключается при градуировке ошибка за счет эффекта Пуркинье. Примененная лампа накаливания дает ошибку, обусловленную нестабильностью во времени (1% после 500 часов горения), неточностью воспроизводимости светового потока (0,5% при контроле напряжения вольтметром класса 0,5), температурным коэффициентом лампы (0,9%) при защите лампы кожухом;

2) измеряется освещенность непосредственно от прямой солнечной радиации на перпендикулярную к лучу поверхность благодаря применению насадки, аналогичной трубке актинометра АТ-50, что позволяет производить сравнения освещенности и солнечной радиации с большей точностью, чем при измерении их как разности между значениями суммарной и рассеянной радиации;

3) для градуировки фотометра была использована ленточная лампа, близкая по своим свойствам к точечному источнику света, благодаря чему получена возможность градуировки фотометра по всей шкале без учета ошибок на несоблюдение закона квадратов расстояний лампы сравнения фотометра. Ленточная лампа выполняет закон квадра-



Рис. 1. Отношение прямой солнечной радиации различных спектральных интервалов к освещенности в зависимости от высоты солнца (*a*) и от влажности (*б*).

I — 0,380—710 мк; *2* — 0,290—0,710 мк; *3* — 0,290—0;630 мк; *4* — 0,290—3,000 мк.

тов расстояний с точностью $\pm 1\%$ на расстоянии от нее в пределах 0.5-3 м.

Сила света лампы измерена по двум эталонам силы света с точностью $\pm 0,6\%$. Погрешность градуировки эталонов силы света в ВНИИМ им. Д. И. Менделеева составляет 0,3%. Погрешность контроля питания ламп составляет 0,5%.

Учитывая вышесказанное, а также данные работы [2], ошибку при измерении освещенности от прямой солнечной радиации можно оценить следующим образом: 1) предельное значение систематической ошибки $\pm 3,6\%$; 2) предельное значение случайной ошибки $\pm 2,4\%$. Общая ошибка составляет $\pm 6\%$.

Значения прямой солнечной радиации измеряются актинометром с точностью ± 1 %, следовательно, при определении светового эквивалента прямой солнечной радиации имеет место погрешность ± 7 %.

В 1964—1965 гг. в Воейково (близ Ленинграда) было проведено 200 параллельных измерений прямой солнечной радиации и освещенности. Данные о влажности воздуха получены с метеостанции, расположенной на расстоянии 400 м от места наблюдений. Фактор мутности по Линке вычислен по номограмме Ю. Д. Янишевского [5], построенной по исправленным С. И. Сивковым данным для интегральной радиации. Диапазон изменений *T* оказался от 2 до 4. Для интегральной прямой радиации световой эквивалент оказался равным 78 клк на 1 кал/см² мин. со средним квадратическим отклонением ±4%. Как видно из рис. 1 *а*.

наименьшую зависимость от высоты солнца имеет отношение ФАР к освещенности. Это отношение оказалось независимым в пределах точности измерений и от влажности (рис. 1 б).

Для сравнения в ходе выполнения работы были произведены расчеты световых эквивалентов. Так как солнечная постоянная энергетическая равна 1,98 кал/см² мин., а световая 140 клк, то световой эквивалент заатмосферной радиации составляет 70,7 клк на 1 кал/см² мин. Для светового эквивалента прямой солнечной радиации при разных T в зависимости от высоты солнца по данным Зидентопфа и Реегера [6] представлены кривые на рис. 2 *а*. Для T=2 значение светового эквивалента



Рис. 2. Расчетные кривые зависимости световых эквивалентов от высоты солнца при различных факторах мутности для прямой (*a*) и суммарной (б) радиации. 1) T=1; 2) T=2; 3) T=4; 4) T=6.

составляет 75 клк на 1 кал/см²мин., а для T = 4 о́н равен 79 клк на 1 кал/см²мин.

Суммарная освещенность по тем же данным сравнивалась с радиацией, рассеянная составляющая которой вычислена по формуле Сивкова

$$D = \frac{2}{3} \left(1 - \frac{0.84 \, S_{90^{\circ}}}{1.95} \right) \sqrt{\sin h_{\odot}} \,,$$

где S_{90° — прямая радиация при данном факторе мутности и высоте солнца 90°. На рис. 2 б показано, что значение светового эквивалента для суммарной радиации составляет около 75 клк на 1 кал/см²мин. Близкую к ней величину (74 клк на 1 кал/см²мин.) получил Вернер [7] из обобщения работ разных авторов.

ЛИТЕРАТУРА

- Белл Л. Н. Фотосинтетически-активная радиация. Физиология растений, № 1, 1960.
 Луцько Л. В., Янишевский Ю. Д. Усовершенствование методики исследования естественной освещенности. Труды ГГО, вып. 184, 1966.
 Сивков С. И. Об измерениях освещенности прямыми лучами солнца. Труды ГГО,
- вып. 5(67), 1947. 4. Сивков С. И. Метеорологическая солнечная постоянная. Труды ВНМС, т. 6.

- СИВКОВ С. И. Метеорологическая солнечная постоянная. Груды ВНМС, т. 6. Гидрометеоиздат, Л., 1963.
 Янишевский Ю. Д. Некоторые результаты сравнения пиргелиометров СССР. Труды ВНМС, т. 6. Гидрометеоиздат, Л., 1963.
 Siedentopf H., Reeger E.: Die Beleuchtung durch die Sonne. Meteorol. Zeitschr. Bd. 61, H. 4, 114—116, 1944.
 Wörner H. Die. Vorhersage der Ortshelligkeit. Akad. Verlag, Berlin, 1954.
 Angström A., Drummond A. J.: On the evaluation of natural ilumination from radiometric measurements of solar radiation. Archiv für Meteorol. Geophys. u. Bioklim. Bd. 12, H. 1, 41—46, 1962.

В. И. ГОРЫШИН

НОВЫЙ МЕТОД МОДУЛЯЦИИ СВЕТОВЫХ ПУЧКОВ В ДВУХЛУЧЕВЫХ ФОТОМЕТРАХ И СПЕКТРОФОТОМЕТРАХ

Разработка автоматического светового компенсатора может быть более успешной только тогда, когда будет разработан достаточно совершенный метод модуляции световых пучков, свободный от всех недостатков известного метода переменной составляющей [8].

Вопрос о качестве модуляции становится решающим в тех случаях, когда фотометрирование рабочих световых пучков осуществляется на фоне значительного по величине рассеянного светового потока, попадающего в прибор. Например, в полевых автоматических фотометрах, предназначенных для измерения и регистрации прозрачности атмосферы [1], посторонний световой поток, попадающий на катод фотоэлемента, может быть на несколько порядков больше светового потока рабочих пучков. В этих случаях на входе усилительного устройства возникают значительные «шумы», которые резко снижают чувствительность прибора и повышают погрешность фотометрирования.

1. Описание нового метода модуляции световых пучков

Процесс модуляции пучков должен быть построен таким образом чтобы:

a) во время коммутации пучков не возникали сигналы помехи и при модуляции двух равных световх пучков сигнал расстройки полностью отсутствовал;

б) фаза первой гармоники сигнала расстройки была неизменной при любых условиях работы фотометра;

в) фазовые сдвиги напряжения сигнала, вносимые усилителем, не приводили к потере чувствительности и появлению дополнительной погрешности;

г) обеспечивалась помехозащищенность всего прибора в целом.

В соответствии с этими требованиями был разработан новый метод модуляции световых пучков [2], который был назван автором методом амплитудной модуляции несущей частоты сигнала.

Известный «фазовый» метод модуляции, описанный в ряде работ [3], чувствителен к посторонним засветкам фотоэлемента и к внешним электрическим помехам.

Прежде чем перейти к рассмотрению теории предложенного метода, рассмотрим кратко процесс модуляции, т. е. процесс прерывания и коммутации световых пучков. На рис. 1 представлено схематическое изображение одного варианта разработанного модулятора. В виде небольших кружков на вертикальной диаметральной линии нанесено сечение модулируемых световых пучков. Оси пучков перпендикулярны плоскости чертежа.

Рассмотрим процесс модуляции в предположении, что диск вращается против часовой стрелки. В начальном положении, как это показано на рис. 1, световые пучки полностью закрыты. При дальнейшем вращении диска модулятора некоторое время остаются закрытыми как нижний, так и верхний пучок. Затем открывается нижний пучок и начинается его прерывание зубчатой гребенкой. После того как диск повернется на угол 60°, верхний и нижний световые пучки снова окажутся



Рис. 1. Схематическое изображение конструкции диска модулятора.

закрытыми и при некотором дальнейшем вращении остаются в этом положении. Затем по окончании процесса коммуоткрывается верхний тации пучок и начинается уже его прерывание зубчатой гребенкой. Далее процесс повторяется в той же последовательности. Нетрудно заметить, что период прерывания и период коммутации резко различны (в отличие от метода переменной составляющей, где они были равны). Коммутация пучков осу-TOT ществляется в момент, когда на катод фотоэлемента не попадает свет ни от одного из пучков.

Параметры модулятора должны быть рассчитаны таким образом, чтобы при световом равновесни на катод фото-

элемента поступала непрерывная цепочка равных по амплитуде световых импульсов, весьма близких по форме к трапеции (рис. 2 *a*). При преобразовании световых импульсов в электрические будет потеряна постоянная составляющая и модуляционный электрический сигнал будет иметь вид, представленный на рис. 2 б.

Следовательно, при световом равновесии мы будем осуществлять модуляцию только с более высокой несущей частотой, равной частоте прерывания каждого из пучков.

Если же, например, нижний световой пучок, согласно рис. 1, будет более интенсивным, чем верхний, то первая серия импульсов будет по амплитуде больше следующей серии импульсов от верхнего светового пучка. Графическая картина процесса модуляции для этого случая изображена на рис. 2 в и 2 г.

Таким образом, при неравенстве световых потоков несущая частота модуляции оказывается промодулированной по амплитуде значительно более низкой частотой сигнала расстройки (сигнала управнения). Частота сигнала расстройки равна частоте коммутации пучков.

Сохраняя этот принцип прерывания и коммутации световых пучков, можно разработать различные конструкции модулятора для различных значений несущей частоты и частоты сигнала управления,

2. Методика расчета параметров модулятора и его амплитудные характеристики

Световые колебания, представленные на рис. 2 а и 2 в, несколько идеализированы по форме. В реальных условиях форма фронтов и их длительность подвержены случайным колебаниям за счет различной геометрии и структуры модулируемых пучков, неточности изготовления модулятора, за счет искажений, вносимых отражателем и приемным зеркалом.



Рис. 2. Световые (а, в) и электрические (б, г) колебания при модуляции пучков по методу амплитудной модуляции несущей частоты сигнала.

а, б — при световом равновесии; в, г — при нарушении светового равновесия.



В связи с этим возникает необходимость рассмотреть вопрос о влиянии этих факторов на точность фотометрирования при осуществлении модуляции по новому методу.

Наличие вышеуказанных причин приводит к тому, что закон нарастания и спада интенсивности света в импульсе не остается строго неизменным как для отдельных импульсов одного и того же пучка, так и для импульсов различных пучков. Однако в любом случае световые импульсы будут весьма близки по форме к трапецеидальным, но с несколько различной длительностью фронтов для каждого отдельного импульса.

Рассмотрим основные теоретические положения, иллюстрирующие процессы нового метода модуляции.



Введем следующие обозначения (рис. 1 и 2): γ — угловой размер сектора с зубцами и впадинами, β — угловой размер сектора без зубцов, α — угловой размер зубца или впадины, ρ — угловой размер модулируемых пучков, R — расстояние от центра вращения до центра модулируемого пучка, T_f — период несущей частоты, T_F — период сигнала управления, N_1 и N_2 — число секторов с зубцами и число секторов без зубцов, f — несущая частота, F — частота сигнала управления, n_{06} — число оборотов в минуту диска модулятора, $t_{\rm K}$ — время коммутации, t_{ϕ} — длительность фронта электрических колебаний несущей частоты.

Из расмотрения процесса модуляции и конструкции модулятора вытекает ряд логических заключений:

1) число секторов с зубцами должно быть всегда равно числу секторов без зубцов, т. е.

$$N_1 = N_2 = N;$$

2) при разнесении пучков в пространстве на 180° число N должно быть нечетным (т. е. N=1, 3, 5...), при углах 90 и 135° N может быть четным;

3) для того чтобы при модуляции двух равных по интенсивности световых пучков процесс протекал точно в соответствии с рис. 2a и 2d и в составе сигнала не возникало никаких дополнительных частот, необходимо, чтобы время коммутации (т. е. время от момента начала закрытия одного пучка до момента начала открытия второго пучка) было равно времени перемещения диска модулятора на угол α , или, что тоже самое, равно половине периода несущей частоты.

Эти заключения были учтены при разработке теоретических положений метода и методики расчета параметров модулятора.

Опуская промежуточные преобразования, приводим основные уравнения, которые позволяют произвести конструктивный расчет модулятора.

Частота сигнала управления определяется следующим простым выражением:

$$F = N \frac{n_{06}}{60} \,. \tag{1}$$

Несущая частота равна

$$f = zF$$
 или $f = zN \frac{n_{00}}{60}$, (2)

где $z = \frac{J}{F}$ — целое число, показывающее во сколько раз частота сигнала управления меньше несущей частоты.

С другой стороны, принимая во внимание угловой размер зубца и скорость вращения диска модулятора, несущая частота может быть определена из выражения

$$f = \frac{3n_{06}}{\alpha}.$$
 (3)

Отсюда угловой размер зубца (впадины) равен

$$\alpha = \frac{3n_{\rm ob}}{f} \,. \tag{4}$$

Подставив значение f из равенства (2), получим

$$\alpha = \frac{180}{zN}.$$
 (5)

Угловой размер сектора без зубцов должен быть равен

$$\beta = \frac{180}{N} + \alpha, \qquad ($$

а угловой размер сектора с зубцами

$$\gamma = \frac{180}{N} - \alpha. \tag{7}$$

Анализ выражений (5) и (7) показывает, что правильно сконструировать модулятор можно только тогда, когда величина z в формуле (5) является целым четным числом.

Ранее было указано, что форма действительного светового импульса с вполне достаточной степенью точности может быть представлена трапецией. Для подтверждения сказанного на рис. За представлен фронт реального светового импульса, рассчитанный для случая закрытия однородного пучка круглого сечения.

Рис. З *а* показывает, что замена действительной кривой нарастания светового потока в импульсе прямой линией не отразится на результатах последующих выводов.

Длительность фронта светового импульса $t_{\phi.c}$ может быть определена из следующего выражения:

$$t_{\phi, c} = -\frac{\rho}{\alpha} \pi.$$
 (8)

Для пояснения равенства (8) на рис. З б графически изображен процесс прерывания светового пучка в предположении, что световой пучок перемещается слева направо по зубчатому сектору.

С учетом потери постоянной составляющей (смещение оси времени) длительность фронта электрического колебания будет

$$t_{\Phi} = \frac{\pi}{2} \frac{\rho}{a}.$$
 (9)

Если известен диаметр d_{π} модулируемого пучка в плоскости диска модулятора и расстояние R от центра вращения до центра сечения пучка, то угловой размер ρ модулируемого пучка легко может быть вычислен по формуле

$$\operatorname{tg} \frac{\rho}{2} = \frac{d_{\pi}}{2R},$$

или ввиду малости углов

$$\rho = \operatorname{arctg} \frac{d_{\pi}}{R}.$$
 (10)

Электрические колебания, возникающие на нагрузке фотоэлемента, при модуляции пучков в момент светового равновесия (рис. 26), могут быть описаны рядом вида

$$u_{(t)} = \frac{2\Phi\gamma_{\phi}R_{H}}{\pi t_{\phi}} \left(\sin t_{\phi}\sin 2\pi f t + \frac{1}{3^{2}}\sin 3t_{\phi}\sin 6\pi f t + \dots\right).$$
(11)

В составе этих колебаний отсутствуют четные гармоники.

Для уменьшения щумов усилителя всегда осуществляется ограничение полосы пропускания. Настроим наш усилитель на первую гармонику колебаний, представленных формулой (11). Первая гармоника колебаний равна

$$u_{1(t)} = \frac{2\Phi\gamma_{\Phi}R_{\mu}}{\pi t_{\Phi}} \sin t_{\Phi} \sin 2\pi f t, \qquad (12)$$

где Φ — световой поток, попадающий на катод фотоэлемента при полном открытии пучка; в рассматриваемом случае $\Phi_1 = \Phi_2 = \Phi$; γ_{ϕ} — интегральная чувствительность фотоэлемента к данному излучению; $R_{\rm H}$ — нагрузка фотоэлемента.

В связи с тем, что третья гармоника очень далеко отстоит по частоте от первой, пропускание ее усилителем полностью исключается.

Амплитуда первой гармоники равна

$$U_{m_1} = \frac{2\Phi\gamma_{\Phi}R_{\rm H}}{\pi t_{\Phi}} \sin t_{\Phi},$$

или, учтя формулу (9), получим

$$U_{m_1} = \frac{2}{\pi} \Phi \gamma_{\Phi} R_{\rm H} \frac{\sin \frac{\pi \rho}{2\alpha}}{\frac{\pi \rho}{2\alpha}}.$$
 (13)

Равенство (13) определяет одно из главных преимуществ нового метода модуляции.

Поскольку при построении светового компенсатора на величину отношения $\frac{\rho}{\alpha}$ влияет неточность изготовления модулятора, различия геометрии и структуры световых пучков и ряд других факторов, определим зависимость амплитуды первой гармоники от величины отношения $\frac{\rho}{\alpha}$ (характеризующего колебания длительности фронта импульса).

В табл. 1 представлены результаты произведенного расчета.

1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.			
$\frac{\rho}{\alpha}$	sin $t_{ m \Phi}$	t_{Φ}	$U_{m_1} - \frac{\pi}{2\Phi\gamma_{\Phi}R_{\mathtt{H}}}$
$0,1 \\ 0,2 \\ 0,4 \\ 0,5 \\ 0,6 \\ 0,8 \\ 1,0$	0,1564 0,303 0,588 0,707 0,809 0,951 1,000	$\begin{array}{c} 0,157\\ 0,314\\ 0,6285\\ 0,785\\ 0,942\\ 1,256\\ 1,57\end{array}$	$\begin{array}{c} 0,996\\ 0,984\\ 0,937\\ 0,902\\ 0,857\\ 0,757\\ 0,637 \end{array}$

Таблица 1

Данные табл. 1 показывают, что амплитуда первой гармоники очень слабо зависит от отношения $\frac{\rho}{\alpha}$. При изменении этого отношения в пять раз, от 0,1 до 0,5, амплитуда первой гармоники изменяется только на 10%.

При очень малых значениях отношения $\frac{\rho}{\alpha}$ амплитуда первой гармоники практически не зависит от отношения $\frac{\rho}{\alpha}$.

Это важное свойство нового метода модуляции позволяет создать высокоэффективное модуляционное устройство.

На основании вышеприведенных выводов нами был рассчитан и опробован на макете автоматического фотометра, предназначенного для полевых измерений и регистрации прозрачности атмосферы [4], один из вариантов нового модулятора (рис. 1). Этот модулятор имел следую-

щие параметры: R = 110 мм, $d_n = 3$ мм, $\rho = 1^{\circ}34'$, $\alpha = 5^{\circ}$, $\frac{\rho}{\alpha} = 0,313$, $\beta = 65^{\circ}$, $\gamma = 55^{\circ}$, N = 3, z = 12, $n_{o6} = 3000$ об/мин., f = 1800 гц, F = 150 гц, $t_{\Phi} = 28^{\circ}12'$, или $t_{\Phi} = 0,1565\pi$.

Для оценки влияния на амплитуду первой гармоники погрешностей в величине углов, характеризующих геометрию модулятора, был проделан расчет зависимости относительных изменений амплитуды первой гармоники модуляционного сигнала от величины угла α . Результаты расчета представлены в табл. 2. Материалы таблицы наглядно показывают, что значительные отклонения угла α от расчетного (5°00') или, что тоже самое, значительные изменения длительности фронта колебаний из-за различных причин практически не сказываются на величине амплитуды первой гармоники колебаний и, следовательно, не могут явиться причиной появления ложных сигналов в точке светового равновесия, снижающих чувствительность фотометра.

Таблица 2

a°	4° 50′	5° 00′	5° 05′	5° 10′	5° 15′	5° 20′
$\frac{p}{\alpha}$	0,324	0,313	0,308	0,303	0,298	0,294
$\sin t_{\Phi} \ldots$	0,488	0,473	0,465	0,459	0,451	0,445
t_{Φ}	0,509	0,492	0,485	0,477	0,468	0,462
$\frac{\sin t_{\Phi}}{t_{\Phi}} \cdot \cdot \cdot$	0,958	0,960	0,961	0,962	0,963	0,964
$\frac{\Delta t_{\Phi}}{t_{\Phi}}^{0/0} \cdot \cdot \cdot$	+3,5	0,00	-1,6	-3,2	4,8	-6,1
$\frac{\Delta U_{m_1}}{U_{m_1}} {}^0/_0 \ldots .$	—0,156	0,00	+0,1	+0,2	+0,31	+0,41
	1	1		•)	

При очень больших колебаниях длительности фронта импульсов в составе напряжения несущей частоты может возникнуть дополнительная составляющая, однако частота ее будет отлична от несущей частоты и частоты сигнала управления, и поэтому напряжение этой помехи не будет воздействовать на систему автоматического регулирования интенсивности пучка сравнения.

Таким образом, в отличие от метода переменной составляющей, при использовании которого в момент равенства световых пучков всегда существовал большой ложный сигнал, частота которого была точно равна частоте сигнала расстройки, при осуществлении модуляции по новому методу моменту равенства световых потоков пучков будет соответствовать полное отсутствие сигнала расстройки.

3. Фазовые соотношения при модуляции световых пучков по новому методу

Без стабилизации фазы напряжения сигнала управления невозможно создать световой компенсатор, который смог бы обеспечить высокую точностью фотометрирования при непрерывной длительной работе и при значительных колебаниях температуры окружающего воздуха. Применение метода амплитудной модуляции несущей частоты сигнала позволяет обеспечить жесткую стабилизацию фазы напряжения сигнала управления. Рассмотрим, как это обеспечивается. Самыми сложными измерениями по условиям работы световых компенсаторов являются полевые измерения в дневное время при высоком уровне освещенности, создаваемой рассеянным светом, на катоде фотоэлемента.

В этих условиях главным источником шумов электронного устройства являются флуктуации тока фотоэлемента. Высокий уровень напряжения шума и большие коэффициенты усиления усилителей приводят к необходимости обязательного ограничения полосы пропускания усилительных устройств.

К избирательному усилительному устройству с резонансной частотой усиления и ограниченной полосой пропускания применимы основные формулы, характеризующие фазовые соотношения в резонансной системе. Для оценки фазовых углов напряжения несущей частоты и напряжения сигнала управления воспользуемся некоторыми соотношениями работы [5, 6].

Любая резонансная система может быть охарактеризована определенным значением добротности. Значение добротности Q может быть определено по формуле

$$Q = \frac{f_0}{f_2 - f_1},$$
 (14)

где f_0 — резонансная частота усилителя, соответствующая максимальному коэффициенту усиления k_0 , f_1 и f_2 — частоты на уровне 0,707 k_0 .

Величина фазового сдвига ф_f напряжения несущей частоты модуляции, вызванного смещением частоты резонанса избирательного усилителя или изменением несущей частоты модуляции при изменении числа оборотов модулятора, может быть определена по следующей формуле:

$$\varphi_f = \operatorname{arctg} 2Q \, \frac{f - f_0}{f_0} \,. \tag{15}$$

 $\varphi_F = \varphi_f \frac{T_f}{T_F}.$

Формулы (14) и (15) показывают, что сужение полосы пропускания усилителя приводит к возрастанию добротности и, следовательно, к увеличению фазовых сдвигов напряжения несущей частоты f при отклонении ее частоты резонанса f_0 усилительного устройства.

В том случае, когда несущая частота модуляции точно соответствует частоте резонанса усилителя, фазовый сдвиг равен нулю. При различии этих частот возникают значительные фазовые сдвиги.

Кроме того, из формулы (15) видно, что величина несущей частоты модуляции не влияет на фазовую характеристику усилителя, которая зависит исключительно от величины относительной расстройки $\frac{\Delta f}{f_0}$. Поскольку при осуществлении модуляции по новому методу на исполнительный двигатель воздействует низкочастотный сигнал управления U_F , то при оценке фазовых характеристик усилителя светового компенсатора нас должны интересовать не фазовые сдвиги напряжения несущей частоты модуляции φ_f , а возникающие фазовые сдвиги φ_F напряжения сигнала управления. В реальных условиях существует ряд причин, создающих неустойчивость фазовых характеристик усилителя. Произведем оценку возможных колебаний величины фазового угла напряжения сигнала расстройки.

Однозначная связь фазовых сдвигов несущей частоты модуляции φ_f и напряжения сигнала управления φ_F обеспечена самой конструкцией модулятора, т. е.

$$\frac{T_F}{F} = \frac{T_F}{T_f},$$
 отсюда

32

φ

Принимая во внимание, что

$$\frac{1}{T_f} = f \quad \text{if} \quad \frac{1}{T_F} = F,$$

и учитывая формулу (15), получим

$$\varphi_F = \frac{1}{z} \operatorname{arctg} 2Q \frac{f - f_0}{f_0} \,. \tag{16}$$

Для количественной оценки эффективности стабилизации фазы напряжения сигнала управления произведем расчет величин фазовых сдвигов φ_f и φ_F , вносимых усилительным устройством, на примере разработанного нами светового компенсатора.

Учитывая то обстоятельство, что несущая частота модуляции, зависящая от числа оборотов модулятора, более стабильна, чем частота резонанса усилителя, расчет произведем для несущей частоты модуляции f=1800 гц и различных значений частоты разонанса f_0 , близких к f. Примем значение Q=10,9 и z=12. Результаты расчета представлены в табл. 3.

Таблица З

<i>f</i> ₀ гц	(<i>f</i> — <i>f</i> ₀) гц	φ _ƒ град.	<i>ф_F град.</i>
1600 1700 1750 1800 1850 1900 2000	$200 \\ 100 \\ 50 \\ 0,0 \\ -50 \\ -100 \\ -200$	$\begin{array}{c} 69,8\\52,0\\31,9\\0,0\\-30,6\\-49,0\\-65,4\end{array}$	5,84,32,60,0-2,5-4,1-5,5

Материалы таблицы показывают, что колебания частоты резонанса усилителя в значительных пределах или колебания числа оборотов модулятора приводят к очень незначительным изменениям первоначально установленной фазы напряжения сигнала управления и, следовательно, не вызывают по этой причине никакого дополнительного изменения чувствительности светового компенсатора, помимо тех небольших изменений, которые могут быть вызваны некоторыми колебаниями коэффициента усиления усилителя при смещении частоты резонанса относительно несущей частоты модуляции.

Стабилизация угла сдвига фаз между напряжением управления и напряжением возбуждения необходима еще и потому, что при наличии на обмотке управления исполнительного двигателя напряжения шума, сложного по форме, большие изменения этого угла (больше 20°), как показали эксперименты, могут приводить к смещению точки равновесия. Величина погрешности по этой причине может достигать нескольких процентов в зависимости от условий работы прибора.

4. Особенности построения электронного усилителя светового компенсатора при применении нового метода модуляции

Перейдем к рассмотрению явлений, связанных с прохождением амплитудно-модулированного напряжения несущей частоты через усилитель с ограниченной полосой пропускания.

Поскольку глубина модуляции при использовании нового принципа модуляции определяется различием интенсивности модулируемых

З Заказ № 678

световых пучков, то для сохранения высокой чувствительности системы необходимо, чтобы при прохождении амплитудно-модулированного сигнала через усилитель не возникала значительная демодуляция сигнала.

В составе амплитудно-модулированного напряжения несущей частоты содержатся следующие частоты: несущая частота f и боковые частоты (f-F) и (f+F). Известно, что ослабление модуляции при прохождении сигнала через усилитель с ограниченной полосой пропускания не будет только тогда, когда усиление на боковых частотах будет равно усилению на частоте f.

Воспользовавшись некоторыми соотношениями работы [7], величину коэффициента модуляции на выходе усилителя выразим следующей формулой:

 $M_{\rm BMX} = \frac{M_{\rm BX}}{\sqrt{1 + Q^2 \left(\frac{2F}{f}\right)^2}},\tag{17}$

где $M_{\rm Bbix}$ — коэффициент модуляции амплитудно-модулированного напряжения на выходе усилителя, $M_{\rm Bx}$ — то же на входе усилителя.

Принимая во внимание, что $\frac{F}{f} = \frac{1}{z}$, формулу (17) для нашего случая можно представить в следующем виде:

$$M_{\rm BMX} = \frac{M_{\rm BX}}{\sqrt{1 + Q^2 \frac{4}{z^2}}} \,. \tag{18}$$

Отношение

$$\frac{M_{\rm BX}}{M_{\rm BMX}} = m_{\rm g}$$

характеризует коэффициент демодуляции. Величина этого отношения равна

$$m_{\rm g} = \sqrt{1 + Q^2 \frac{4}{z^2}}$$
 (19)

Ослабить явление демодуляции, как это следует из формулы (19), можно путем выбора больших значений z и малых значений добротности Q. Однако хорошие результаты можно также получить при использовании усилителей, настроенных на две резонансные частоты (f - F)и (f + F).

Перейдем к рассмотрению вопроса о составе электронного усилителя светового компенсатора при использовании метода амплитудной модуляции несущей частоты сигнала.

Наличие на входе усилителя амнлитудно-модулированных колебаний, возникающих во время нарушения светового равновесия, не позволяет использовать в фотометре стандартные низкочастотные усилители. Возникает необходимость разработки специального усилителя.

Очевидно, схема усилителя светового компенсатора должна состоять из следующих элементов (рис. 4):

a) узкополосного усилителя несущей частоты для выделения и усиления первой гармоники модуляционного сигнала;

б) детектора амплитудно-модулированных колебаний;

в) фильтра несущей частоты, на выходе которого выделяется сигнал управления;

г) усилителя сигнала управления, нагрузкой которого является исполнительный реверсивный двигатель. При разработке усилителя светового компенсатора следует учитывать ряд специфических требований, возникающих в связи с применением нового метода модуляции.

1. Частотная характеристика усилителя несущей частоты должна быть такой, чтобы коэффициент демодуляции был минимальным.

2. Поскольку величина падающего на катод фотоэлемента светового потока определяет величину напряжения несущей частоты, амплитудная характеристика усилителя несущей частоты должна быть достаточно линейной в широких пределах, чтобы при измерениях в любой точке шкалы прибора не наблюдалась потеря чувствительности.

3. Детектор должен обладать такими характеристиками, чтобы детектирование как в области малых напряжений несущей частоты, так и в области больших напряжений было одинаково эффективно.



Рис. 4. Блок-схема основного усилителя автоматического компенсационного фотометра при модуляции пучков по новому методу.

4. Учитывая то обстоятельство, что при работе с максимальными световыми потоками из состава большего по величине амплитудно-модулированного напряжения несущей частоты необходимо выделить очень незначительную составляющую, определяющую сигнал расстройки, фильтр несущей частоты должен очень эффективно подавлять напряжение несущей частоты, не ослабляя сигнал расстройки.

5. Усилитель сигнала управления должен обладать достаточно стабильными фазовыми характеристиками. Ограничение его полосы пропускания не должно приводить к нарушению этой стабильности.

Построение усилителя светового компенсатора в соответствии с блоксхемой, изображенной на рис. 4 с учетом вышеизложенных требований, приводит к созданию помехозащищенного электронного устройства.

Главным источником напряжения шума в электронном усилителе светового компенсатора, по сравнению с которым остальные составляющие шумы малы, являются флуктуации тока фотоэлемента и составляющие естественной модуляции дневного света при фотометрировании днем при высоком уровне дневной освещенности, когда посторонний световой поток на катоде фотоэлемента значителен.

Последовательное ограничение полосы пропускания в усилителе несущей частоты, в фильтре несущей частоты и в усилителе сигнала управления позволяет резко ослабить напряжение шума на сигнальной обмотке исполнительного двигателя и работать с очень большими коэффициентами усиления всего усилительного канала.

Осуществление модуляции на сравнительно высоких частотах позволяет ослабить влияние низкочастотных составляющих шума, имеющих большой вес в спектре флуктуаций фототока и, особенно, в спектре естественной модуляции дневного света.

При разработке усилителя светового компенсатора возникает вопрос о правильном распределении усиления между двумя частями усилителя. Учитывая результаты предыдущего анализа фазовых сдвигов,

3*

которые могут возникать в процессе работы компенсатора, следует сделать вывод, что максимально возможное усиление должно осуществляться на несущей частоте модуляции, так как фаза сигнала управления наиболее жестко стабилизирована в этой части усилителя.

Ограничивающим фактором является то, что усиление несущей частоты должно осуществляться в области относительно линейной части амплитудной характеристики усилителя несущей частоты.

Расчеты и опыт разработки образцов светового компенсатора показали, что наиболее рационально спроектировать электронный усилитель компенсатора удается тогда, когда коэффициент усиления усилителя сигнала управления составляет 0,01÷0,015 от коэффициента усиления усилителя несущей частоты.

В этом случае легко получить стабильные параметры усилителя сигнала управления, и для ограничения полосы пропускания вполне достаточно настроить в резонанс с частотой сигнала управления первичную обмотку выходного трансформатора, нагрузкой которого является сигнальная обмотка исполнительного двигателя.

Предложенный метод модуляции позволяет применять в автоматических фотометрах усилители с суммарным коэффициентом усиления до 107, считая от входа усилителя до нагрузки — сигнальной обмотки исполнительного двигателя.

Материалы, рассмотренные в данной статье, были использованы автором при разработке автоматического компенсационного фотометра высокой точности, выпускаемого в настоящее время серийно и предназначенного для непрерывных полевых измерений и регистрации прозрачности атмосферы при метеорологическом обслуживании авиации.

ЛИТЕРАТУРА

- 1. Горышин В. И. Приборы и методы объективных измерений и регистрации прозрачности атмосферы, ГГО, Автореф. дис., Л., 1964.
- 2. Горышин В. И. Компенсационный фотометр Бюллетень изобретений № 5, 1960. Авторское свидетельство № 126643.
- 3. Дианов-Клоков В. И. Автоматический фазовый спектрофотометр для области 0,21—2,5 мк. ПТЭ, № 2, 1959.
- 4. Горышин В. И. Компенсационный фотометр для точных измерений и регистрации прозрачности атмосферы. Труды ГГО, вып. 118, 1961.

5. Ассеев Б. П. Фазовые соотношения в радиотехнике. Связьиздат, М., 1959. 6. Ассеев Б. П. Основы радиотехники. Связьиздат, М., 1947. 7. Котельников В. А. и Николаев А. М. Основы радиотехники, ч. 1. Связьиздат, М., 1950.

8. Горышин В. И. Амплитудные и фазовые характеристики некоторых типов модуляторов света в двухлучевых фотометрах и спектрофотометрах. См. наст. сб.
В. И. ГОРЫШИН

АМПЛИТУДНЫЕ И ФАЗОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НЕКОТОРЫХ ТИПОВ МОДУЛЯТОРОВ СВЕТА В ДВУХЛУЧЕВЫХ ФОТОМЕТРАХ И СПЕКТРОФОТОМЕТРАХ

Современные автоматические регистрирующие спектрофотометры и фотометры, предназначенные для осуществления спектральных измерений, измерений прозрачности воздуха и различных сред, нашли широкое применение в различных областях науки и техники.

Анализ различных измерительных принципов, положенных в основу автоматических регистрирующих фотометров, показывает, что наиболее совершенным, хотя и наиболее трудно осуществимым, является компенсационный нулевой принцип измерения с модуляцией двух световых пучков и использованием одного фотоэлемента и усилителя как системы индикации светового баланса и системы автоматического регулирования интенсивности пучка.

Этот принцип измерения позволяет обеспечить наиболее высокую точность фотометрирования, особенно в тех случаях, когда осуществляются непрерывные длительные измерения и не требуется высокое быстродействие системы.

1. Амплитудные соотношения при модуляции световых пучков по методу переменной составляющей

В соответствии с компенсационным нулевым принципом измерения требуется, чтобы в момент измерения оба световых потока были точно равны друг другу, а на исполнительном двигателе устройства автоматического регулирования пучка сравнения или каком-либо индикаторе баланса отсутствовал сигнал расстройки.

Однако детальное исследование работы известных систем световых компенсаторов показало следующее:

а) в момент равновесия системы на сигнальной обмотке исполнительного двигателя (или индикаторе баланса) продолжает существовать большое остаточное напряжение, частота которого точно равна частоте сигнала расстройки;

б) величина остаточного напряжения значительно больше величины собственных шумов усилительной системы, что резко снижает эффективность использования усилителей, а чувствительность фотометра оказывается недостаточно высокой; в) величина остаточного напряжения изменяется в зависимости от изменения величины измеряемого светового потока;

г) измерительная система приходит в равновесие в момент, когда пучки не равны по интенсивности, т. е. моменту электрического равновесия системы не соответствует световое равновесие;

д) показания фотометра существенно зависят от величины напряжения питания, постороннего светового потока, попадающего в прибор, и уровня внещних электрических помех.

Изучение процесса работы световых компенсаторов показало, что основной источник погрешностей связан с несовершенством процесса



Рис. 1. Вид предполагаемых световых колебаний при модуляции по методу переменной составляющей.

а — при модуляции двух равных световых пучков, б — при нарушении светового равновесия, в — предполагаемый процесс коммутации. модуляции, т. е. с законом прерывания и коммутации световых пучков и некоторыми другими явлениями, которые и рассмотрены в данной статье.

В том случае, когда модуляционное устройство используется в двухлучевом фотометре с одним фотоэлементом, оно выполняет две функции: 1) преобразование постоянных световых потоков в переменно-импульсные; 2) коммутация световых пучков, т. е. поочередное пропускание к фотоэлементу одного из двух сравниваемых пучков.

Во многих разработанных автоматических регистрирующих двухлучевых фотометрах и спектрофотометрах с различными по конструкции модуляторами по мепеременной составляющей тоду всегда предполагалось, что модуляция (т. е. прерывание и коммутация) световых пучков осуществляется по закону, графически изображенному на рис. 1 а для случая, когда световые пучки равны, и на рис. 1 б, когда интенсивности пучков различны.

Предполагается, что процесс прерывания и коммутации для

случая, изображенного на рис. 1 а, протекает следующим образом.

В какой-то момент времени на катод фотоэлемента попадает свет только от первого (предположим измерительного) пучка. Затем во время коммутации, графически изображенной на рис. 1 в, интенсивность первого пучка начинает уменьшаться, а интенсивность второго пучка (сравнения) в такой же степени начинает возрастать. При этом предполагается, что суммарный световой поток, попадающий на катод фотоэлемента, все время остается неизменным и равным первоначальному. По окончании процесса коммутации на катод фотоэлемента продолжает попадать световой поток той же самой величины, но уже от пучка сравнения.

Таким образом, для случая равенства интенсивности обоих пучков, т. е. в момент измерения, переменный сигнал на выходе усилителя дол-

жен отсутствовать. Если же световые потоки, попадающие на катод фотоэлемента от измерительного пучка и пучка сравнения, не равны между собой, то процесс казалось бы, должен протекать так, как это изображено на рис. 1 б, т. е. в составе модуляционного сигнала появляется переменная составляющая, которая и воздействует на исполнительный двигатель.

Для того чтобы выполнялось условие неизменности суммарного светового потока, попадающего на катод фотоэлемента во время коммутации, необходимо, чтобы спад и нарастание светового потока в пучке (рис. 1 в) происходили в соответствии с определенным законом. Например, нарастание должно происходить по закону

$$\Phi_{1(t)} = \Phi_1 \frac{t}{t_{\kappa_1}}, \qquad (1)$$

а спад — по закону

$$\Phi_{2(t)} = \Phi_2 \left(1 - \frac{t}{t_{\kappa_2}} \right), \tag{2}$$

где $\Phi_{1(t)}$ и $\Phi_{2(t)}$ — величины световых потоков первого и второго пучка в любой момент времени t в период коммутации, t_{κ_1} и t_{κ_2} — время коммутации пучков в долях периода, Φ_1 и Φ_2 — величина светового потока пучков при их полном открытии.

Возможен и нелинейный ход спада и нарастания световых потоков в пучках. Например, нарастание может происходить по закону

$$\Phi_{1(t)} = \Phi_1 \sin^2 \frac{\pi t}{2t_{\kappa_1}} , \qquad (3)$$

а спад — по закону

$$\Phi_{2(t)} = \Phi_2 \cos^2 \frac{\pi t}{2t_{\kappa_2}} \,. \tag{4}$$

При рассмотрении процессов коммутации необходимо учесть, что закрытие и открытие световых пучков осуществляется последовательно с двух диаметрально противоположных точек сечения коммутируемых пучков, поэтому если первый процесс коммутации протекает в соответствии с формулами (3) и (4), то непосредственно следующий за ним процесс должен протекать в соответствии со следующими выражениями:

$$\Phi'_{1_{(t)}} = \Phi_1 \left(1 - \sin^2 \frac{\pi t}{2t_{\kappa_1}} \right)$$
или $\Phi'_{1_{(t)}} = \Phi_1 \cos^2 \frac{\pi t}{2t_{\kappa_1}},$ (5)

$$\Phi'_{2(t)} = \Phi_2 \left(1 - \cos^2 \frac{\pi t}{2t_{\kappa_2}} \right)$$
 или $\Phi'_{2(t)} = \Phi_2 \sin^2 \frac{\pi t}{2t_{\kappa_2}}$. (6)

Однако в любом случае во время коммутации при световом равновесии системы должно быть выполнено условие

$$\Phi_{1(t)} + \Phi_{2(t)} = \Phi_1 = \Phi_2 \quad \text{i} \quad t_{\kappa_1} = t_{\kappa_2}. \tag{7}$$

Тогда при нарушении равновесия системы переменная составляющая световых колебаний может быть описана рядом

$$\Phi_{(t)} = \frac{2}{\pi} \left(\Phi_1 - \Phi_2 \right) \left(\sin 2\pi F t + \frac{1}{3} \sin 6\pi F t + \frac{1}{5} \sin 10\pi F t + \dots \right).$$
(8)

Соответственно первая гармоника напряжения сигнала расстройки, на которую реагирует исполнительный двигатель, в этом случае будет равна

$$u_{1_{c}} = \frac{2\gamma_{\Phi}R_{H}}{\pi} (\Phi_{1} - \Phi_{2}) \sin 2\pi F t, \qquad (9)$$

где γ_{Φ} — интегральная чувствительность фотоэлемента, $R_{\rm H}$ — сопротивление нагрузки фотоэлемента, F — частота модуляции.

Рассмотрим возможности реализации вышеописанной схемы процесса модуляции световых пучков.

Чтобы процесс протекал строго в соответствии с рассмотренной схемой, необходимо выполнить ряд конструктивных требований.

1. Коммутируемые световые пучки в плоскости модуляции должны быть строго равны между собой по размеру.

2. Световое поле пучков должно быть строго однородным или симметричным относительно центра.

3. Время, в течение которого каждый из пучков остается открытым и закрытым, должно быть строго одинаковым.

Вряд ли нужно доказывать, что выполнить эти требования с необходимой точностью невозможно. Структура светового пучка всецело зависит от юстировки оптической системы. Контролировать эту величину практически невозможно. Поскольку размер коммутируемых пучков в фокальной плоскости очень мал, точность изготовления модулятора должна быть настолько большой, что ее практически не обеспечить. Тем более эти усилия теряют смысл, если не выполняется требование, изложенное в пункте 2.

Малую эффективность этих усилий можно подтвердить результатами работы проф. Фойтцика [1, 2, 3], который пытался исключить большие погрешности измерения в разработанном им световом компенсаторе путем изготовления модулятора с максимально возможной точностью. Опыт его работы показал, что уровень помех зависит не только от точности изготовления модулятора, но (даже в большей степени) от юстировки оптической системы.

Специфической особенностью полевых фотометров, предназначенных для измерения прозрачности воздуха, является применение больших измерительных баз и специальных отражателей. В связи с этим возникает дополнительное требование, невыполнение которого может исказить процесс модуляции.

4. Необходимо, чтобы закон спада и нарастания интенсивности измерительного пучка во время коммутации не искажался при отражении света от отражателя, а также на пути от отражателя к катоду фотоэлемента.

Однако в действительности, как показали измерения, даже при осуществлении модуляции в фокальной плоскости при закрытии или открытии светового пучка изменяется не только суммарный световой поток пучка, но и форма кривой силы света пучка. А так как диаметр светового пятна в плоскости отражателя для этого случая во много раз больше эффективного диаметра отражателя и оптические пути и геометрия световых пучков резко различны, то это приводит к искажению процесса коммутации измерительного пучка, который будет существенно отличаться от процесса коммутации пучка сравнения.

На рис. 2 представлены измеренные нами кривые сил света измерительного пучка в плоскости отражателя для различных моментов коммутации. Рис. 2 *а* иллюстрирует случай модуляции в фокальной плоскости при точной юстировке оптической системы, а рис. 2 *б* — случай модуляции вблизи фокальной плоскости при недостаточно точной юстировке оптической системы.

Кривые, представленные на рис. 2, хорошо подтверждают сказанное ранее и показывают, что закон нарастания и спада интенсивности измерительного пучка очень сильно зависит от положения отражателя в световом поле пучка и точности юстировки оптической системы. Точно также могут возникать подобные искажения на приемном зеркале или объективе, когда диаметр возвращенного пучка будет больше диаметра зеркала или входного отверстия объектива.

Очевидно, что существенно ослабить этот вид искажений можно при работе с очень узким измерительным пучком, диаметр которого будет меньше диаметра отражательного зеркала и входного отверстия приемного объектива, что, однако, потребует точной юстировки оптической системы и большой жесткости ее крепления.

Анализ требований, изложенных в пунктах 1, 2, 3, может привести к выводу, что обойти трудности, связанные с выполнением изложенных условий, можно в том случае, когда в фотометрах осуществляется коммутация одного светового пучка, который направляется попеременно





один раз по оптическому пути измерительного пучка, а другой раз по пути пучка сравнения.

Действительно, существует группа модуляторов, которая работает подобным образом. Например, стеклянный диск, на котором равномерно по окружности секторы, зеркально отражающие, чередуются с прозрачными секторами, или стеклянная призма, колеблющаяся в световом поле пучка.

Требования, сформулированные в пунктах 1, 2, 3, в данном случае отпадают, но вместо них возникает новое не менее сложное требование.

5. В связи с тем, что при коммутации пучок начинает преломляться на зеркально отражающей поверхности, расположенной под углом к его оси, необходимо чтобы на границе раздела зеркально отражающего слоя с прозрачным не происходило потерь света.

Так как зеркально отражающая поверхность всегда расположена под углом примерно 45° к оси светового пучка, то во время коммутации возникают большие искажения процесса по причине рассмотренной нами ранее (пункт 4 и рис. 2).

Необходимо также учесть, что изменение коэффициента отражения зеркальной поверхности может привести к появлению больших погрешностей измерения. Обеспечить же постоянство коэффициента отражения вращающегося зеркального модулятора в полевых условиях очень трудно, поэтому модуляторы нашли также некоторое применение в лабораторных приборах.

Вышеприведенный анализ со всей убедительностью показал, что обеспечить ход спада и нарастания светового потока коммутируемых пучков строго в соответствии с определенными законами, описанными формулами (1) и (2) или формулами (3)—(6), принципиально невозможно. Процесс спада и нарастания интенсивности измерительного пучка и пучка сравнения носит случайный характер и всегда будет отличаться от заранее выбранного.

Поэтому реальная картина процесса модуляции всегда будет отличаться от рассмотренной нами ранее идеализированной схемы процесса, представленной на рис. 1 *а* и 1 *б* и положенной в основу почти всех разработок световых компенсаторов.

Произвольный характер процесса коммутации нарушает при световом равновесии системы обязательное условие постоянства суммы световых потоков коммутируемых пучков и постоянства времени коммутации (формула 7). Это приводит к возникновению световых импульсов во время коммутации и, следовательно, к возникновению на сигнальной обмотке исполнительного двигателя ложного сигнала, частота которого точно равна частоте модуляции.

Неравенства

$$\Phi_{1(t)} + \Phi_{2(t)} > \Phi_1 = \Phi_2 \quad \text{if} \quad \Phi_{1(t)} + \Phi_{2(t)} < \Phi_1 = \Phi_2 \tag{10}$$

показывают, что величина световых импульсов зависит от величины светового потока коммутируемых пучков, и следовательно, сильно изменяется в пределах измерительного диапазона. Зная функции, описывающие действительный ход процесса коммутации, не представляет труда рассчитать амплитуду и форму световых коммутационных импульсов.

Рисунок 3 a графически иллюстрирует процесс возникновения световых импульсов во время коммутации при условии $t_{\kappa_1} = t_{\kappa_2} = t_{\kappa_2}$.

На рис. 3 б приведены заимствованные из работы [4] осциллограммы напряжения в момент равновесия в фотометре Фойтцика, очень тщательно изготовленном и отрегулированном. Действительная форма возникающих колебаний (напряжения коммутационной помехи) хорошо совпадает с представленной на рис. 3 а, полученной в результате анализа процесса коммутации при световом равновесии системы.

Для того чтобы проанализировать эти колебания, представим их в форме, приведенной на рис. З в, что ближе всего отражает характер действительных колебаний. Тогда переменная составляющая световых колебаний может быть представлена следующим рядом:

$$\Phi_{(t)} = \frac{8m\Phi}{\pi t_{\kappa}} \left[\left(1 - \cos\frac{t_{\kappa}}{2} \right) \cos 2\pi F t + \frac{1}{3^2} \left(1 - \cos\frac{3}{2} t_{\kappa} \right) \cos 6\pi F t + \ldots \right],$$
(11)

где $t_{\rm k}$ — длительность процесса коммутации, $m\Phi$ — амплитуда светового импульса, m — коэффициент пропорциональности, F — частота модуляции.

Первая гармоника напряжения коммутационной помехи *и*_{1 пом} будет равна

$$u_{1 \operatorname{nom}} = \frac{8m\Phi\gamma_{\Phi}R_{H}}{\pi t_{K}} \left(1 - \cos\frac{t_{K}}{2}\right) \cos 2\pi F t.$$
(12)

Формула (12) показывает, что амплитуда помехи может быть снижена при правильном выборе времени коммутации. Однако необходимо учитывать то обстоятельство, что усилительное устройство вносит суще-

ственные искажения при преобразовании световых импульсов, особенно малой длительности, в электрические.

При анализе предполагалось, что амплитуда световых импульсов, форма и длительность остаются неизменными за весь цикл модуляции. В действительности эти величины также подвержены случайным колебаниям. Колебания этих величин способствуют возрастанию напряжения помехи.





Рис. 3. Графическая картина возникновения световых импульсов помехи во время коммутации (а). Осциллограммы напряжения на нагрузке фотоэлемента в момент равновесия (б). Приближенная форма световых импульсов помехи (в).

Таким образом, при модуляции световых пучков по методу переменной составляющей действительный ход процесса прерывания и коммутации пучков резко отличается от того предполагаемого (рис. 1 a и рис. 1 b), который всегда и рассматривался авторами самых различных разработок. Вместо предполагаемого отсутствия переменного сигнала при световом равновесии системы в точке равновесия продолжает существовать значительный ложный сигнал той же частоты, величина которого может быть рассчитана по формуле (12).

2. Фазовые соотношения при модуляции световых пучков по методу переменной составляющей

Сравнивая формулы (9) и (12), можно заметить, что первая гармоника напряжения сигнала расстройки и первая гармоника напряжения коммутационной помехи сдвинуты по фазе на 90°. Следовательно, первая гармоника результирующего напряжения сигнала расстройки при наличии коммутационной помехи должна иметь фазовый сдвиг, зависящий от соотнощения величины расстройки и величины напряжения помехи.

Форма результирующих колебаний, возникающих в фотометре при нарушении светового равновесия и наличии коммутационной помехи, представлена на рис. 4 *a*.

Первая гармоника $u_{1 pes}$ результирующего напряжения сигнала расстройки (рис. 4 б и 4 в) равна

$$u_{1 \text{ peg}} = A \sin 2\pi F t + B \cos 2\pi F t, \qquad (13)$$

где

$$A = \frac{2\gamma_{\Phi}R_{\rm H}}{\pi} (\Phi_1 - \Phi_2), \quad B = \frac{8m\Phi\gamma_{\Phi}R_{\rm H}}{\pi t_{\rm K}} \left(1 - \cos\frac{t_{\rm K}}{2}\right)$$

Колебания, представленные формулой (13), могут быть сведены к следующему виду:

$$u_{1 \text{ pes}} = A_{\text{pes}} \sin \left(2\pi F t + \varphi \right), \tag{14}$$



Рис. 4. Результирующие световые колебания при модуляции пучков по методу переменной составляющей, возникающие в фотометре при нарушении светового равновесия (а). Первая гармоника результирующего напряжения при отношении напряжения сигнала к напряжению помехи равном 2 (б) и ¹/₃ (в).

быть и фаза напряжения сигнала расстройки при любой величине расстройки и величине измеряемых световых потоков.

Однако равенство (15) показывает, что фаза первой гармоники напряжения сигнала расстройки зависит от отношения амплитуды световых импульсов помехи к разности световых потоков пучков при нарушении равновесия в фотометре.

Таким образом, если при регулировке фотометра установить необходимую разность фаз, равную 90°, при большой разности световых потоков (больщом нарушении равновесия), то по мере восстановления равновесия разность фаз будет расти, приближаясь к 180° в точке равновесия. Если же необходимая разность фаз будет установлена при не-

$$A_{\rm res} = \sqrt{A^2 + 1}$$

Тангенс угла ϕ сдвига фазы, как известно, равен

 B^2 .

 $\operatorname{tg} \varphi = \frac{B}{A}$.

Тогда величина фазового угла после подстановки соответствующих значений будет равна

$$\varphi = \operatorname{arctg}\left[\frac{4m\Phi}{t_{\kappa} \left(\Phi_{1} - \Phi_{2}\right)} \times \left(1 - \cos\frac{t_{\kappa}}{2}\right)\right]. \quad (15)$$

Известно, что устройство для автоматического регулирования светового потока пучка сравнения обладает максимальной чувствительностью тогда, когда между напряжением сигнала расстройки и напряжением возбуждения исполнительного двигателя существует постоянный сдвиг фаз, равный 90°, на любом участке шкалы прибора. Фаза напряжения возбуждения в процессе измерений всегда остается строго неизменной, следовательно, неизменной должна

большом нарушении равновесия, то при значительной расстройке эта разность будет стремиться к 0.

Следовательно, как в том, так и в другом случае чувствительность фотометра сильно снижается. Система автоматического регулирования интенсивности пучка сравнения должна одинаково четко работать как при слабых изменениях светового потока измерительного пучка, так и при больших скачкообразных изменениях (например, при закрытии пучка).

Рассмотренная нами неустойчивость фазы первой гармоники напряжения сигнала расстройки связана с несовершенством процесса модуляции и, следовательно, формула (15) характеризует фазовый угол напряжения сигнала на входе усилителя, а если усилитель не вносит фазовых искажений, то и на его выходе.

К сожалению, усилительные устройства автоматических фотометров вносят в сигнал большие фазовые искажения. Если рассмотреть влияние фазовых характеристик усилителей, то можно заметить, что основное значение имеет не величина дополнительного фазового сдвига, вносимого усилителем, а стабильность этой величины при различных условиях работы фотометра.

В связи с тем что световые потоки, попадающие на катод фотоэлемента светового компенсатора обычно очень малы по величине, возникает необходимость использования усилителей с большими коэффициентами усиления и ограниченной полосой пропускания. Известно, что стабилизация фазовых характеристик подобных усилителей представляет сложную задачу, которую практически не удается полностью решить.

Частотная характеристика избирательного усилителя имеет вид резонансной кривой.

Фазовая характеристика избирательного усилителя описывается известной формулой

$$\varphi_F = \operatorname{arctg} 2Q \, \frac{F - F_0}{F_0} \,, \tag{16}$$

где φ_F — фазовый сдвиг напряжения сигнала расстройки, вносимый усилителем, Q — добротность избирательной цепи, F — частота модуляции, F_0 — частота резонанса избирательной цепи.

При равенстве частоты модуляции и частоты резонанса избирательной цепи фазовый сдвиг, вносимый этой цепочкой, равен нулю. Если же частота резонанса и частота модуляции будет отличаться друг от друга, то возникнет фазовый сдвиг напряжения сигнала расстройки, зависящий от разности частот и изменяющийся от нуля и почти до ±90°.

Неустойчивость этих частот зависит от многих факторов, устранить которые весьма сложно. Поэтому при практическом построении фотометров всегда следует учитывать, что частота модуляции и, особенно частота резонанса избирательной цепочки, будет изменяться в определенных пределах, например, в связи с изменением окружающей температуры, напряжения питания, величин емкостей и сопротивлений и др.

Следовательно, неустойчивость фазовых характеристик усилителя является дополнительной причиной существенного снижения чувствительности фотометра, а соответственно и точности фотометрирования. Необходимо заметить, что экспериментальная проверка этих явлений показала, что возникновение значительных фазовых сдвигов приводит не только к потере чувствительности, но и к некоторому смещению точки равновесия, т. е. возникновению дополнительной погрешности.

3. Исследование явлений, связанных с преобразованием световых сигналов в электрические

При рассмотрении процессов модуляции предполагалось, что форма электрических сигналов на нагрузке фотоэлемента точно соответствует форме световых сигналов, поступающих на катод фотоэлемента.

Обычно авторы всех разработок световых компенсаторов считали, что это положение выполняется всегда и фотоэлемент является строго пропорциональным преобразователем, т. е. при преобразовании световых сигналов в электрические не возникает никаких нарушений амплитудных соотношений.

Однако проведенные нами исследования показали, что в действительности в световых компенсаторах возникает ряд явлений, которые приводят к искажению соотношения амплитуд световых и электрических импульсов измерительного пучка и пучка сравнения. Установить наличие подобных искажений очень трудно, поэтому они в большинстве случаев и остаются незамеченными.

Причины появления подобных искажений могут заключаться в следующем:

1. Измерительный пучок и пучок сравнения освещает различную по площади поверхность катода фотоэлемента.

2. Световые пучки, попадающие на катод фотоэлемента, различны по структуре.

3. Измерительный пучок и пучок сравнения, хотя и равны по размеру, но попадают на различные участки поверхности катода фотоэлемента.

4. Неоднородная освещенность катода фотоэлемента за счет дополнительного светового потока, создаваемого дневным рассеянным светом, который в ряде случаев может значительно превосходить рабочий световой поток (например, в полевых фотометрах, предназначенных для измерения прозрачности воздуха).

Если бы фотоэлемент был линейным преобразователем и обладал бы строго однородной чувствительностью элементов поверхности катода, то амплитуда электрических импульсов зависела бы только от величины суммарного светового потока, попадающего на катод и причины, сформулированные в пунктах 1, 2, 3, 4, не приводили бы к возникновению нежелательных искажений.

В действительности за счет различной чувствительности освещаемых элементов поверхности катода и ограниченной зоны линейности амплитуда электрических импульсов зависит не только от суммарного светового потока, попадающего на катод фотоэлемента, но и от размеров освещаемой поверхности катода, от распределения освещенности по поверхности катода для рабочих пучков и распределения по катоду освещенности, создаваемой дневным рассеянным светом.

Следствием этих искажений амплитудных соотношений является то, что равновесию электрических сигналов не будет соответствовать равновесие световых потоков и показания фотометра начнут зависеть от величины светового потока (источника света), напряжения питания, дневной освещенности, т. е. будет потеряно основное преимущество компенсационного нулевого принципа измерений.

Эти недостатки были свойственны в той или иной степени всем разработанным в различное время фотометрам.

Оптическое устройство светового компенсатора должно быть спроектировано таким образом, чтобы рабочие световые пучки и дневной

рассеянный свет создавали совершенно однородную освещенность поверхности катода фотоэлемента.

Вышеприведенный материал убедительно подтверждает, что без анализа примененного процесса модуляции, учета фазовых и амплитудных соотношений сигналов невозможно разработать достаточно совершенный световой компенсатор высокой точности и надежности.

Рассмотренный нами широко известный метод модуляции (метод переменной составляющей) обладает такими недостатками и является настолько несовершенным, что не позволяет реализовать полностью все преимущества принципа компенсационных нулевых измерений и оказывается малопригодным при создании фотометров и спектрофотометров высокой точности и надежности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Foitzik L. Sichtmeßgeräte. Annal. d. Meteorol. Nr 5, 1952.

- 2. Foitzik L. Die meteorologische Sichtweite, ihre Messung und ihre Registrierung.
- Foltzik L. Die meteorologische Sichtweite, und Letting Wissensch. Annal., Nr 2, 1953.
 Foltzik L. Ober die Messung und Registrierung der meteorologischen Normsicht-weite. Feingerätetechnik, Nr 1, 1955.
 Goes O. W. Registrierung der Sichtweite auf einem Flughafen. Beiträge zur Physik der Atmosphäre Bd 33 1960
- der Atmosphäre, Bd. 33, 1960.

В. И. ГОРЫШИН

СЕРИЙНЫЙ ОБРАЗЕЦ АВТОМАТИЧЕСКОГО ФОТОМЕТРА Для измерения и регистрации прозрачности атмосферы (рдв-1)

Вопрос приборного обеспечения измерений и регистрации прозрачности атмосферы и связанной с ней метеорологической дальности видимости приобрел в авиационной метеорологии особенно важное значение. Развитие некоторых научных исследований в области атмосферной оптики также требовало совершенствования экспериментальных средств изучения прозрачности атмосферы.

В связи с этим в последние годы была осуществлена разработка автоматического фотометра высокой точности (РДВ-1), предназначенного для измерения и регистрации прозрачности атмосферы [1].

Разработка серийного образца автоматического фотометра РДВ-1 базировалась на результатах изучения компенсационного нулевого принципа фотометрирования и процесса модуляции световых пучков [4]. Экспериментальная проверка разработанного принципа построения компенсационного фотометра, в котором были бы полностью реализованы преимущества компенсационных нулевых измерений, была осуществлена на специальном макете прибора [3].

1. Оптическая система автоматического компенсационного фотометра

Оптическая система серийного образца фотометра представлена на рис. 1.

Источник света представляет собой низковольтную лампу типа ОП-8-100 8 в, 100 вт с телом накала в виде цилиндрической спирали диаметром 3 мм и длиной 4,5 мм. Лампа в приборе работает при напряжении 5,2 в. Высокая чувствительность фотометра сделала возможным использование очень небольших световых потоков, поэтому с целью повышения надежности работы прибора был выбран режим недокала лампы.

Исключительно важное значение имеет качество стекла колбы лампы. Стекло колбы на рабочих участках должно быть оптически однородным, без свилей, пузырей и других дефектов, нарушающих структуру световых пучков.



Заказ № 678 4

Оптическое устройство измерительного пучка. Свет от лампы $\mathcal{J}H$ с помощью конденсора, состоящего из двух склеенных линз O_1 и O_2 , исправленных на сферическую и хроматическую аберрацию, фокусируется в плоскости диска модулятора M. Призма Πp_2 поворачивает ось пучка на 90°. Изображение спирали в плоскости диска модулятора ограничивается с помощью диафрагмы \mathcal{J}_2 . На фокусном расстоянии от той плоскости расположена линза \mathcal{J}_3 , которая в свою очередь, расположена в фокусе выходного объектива O_4 . Призма Πp_1 изменяет направление светового пучка. Объектив O_4 строит изображение линзы \mathcal{J}_3 в плоскости призменного отражения O_{TP} , находящейся на расстоянии 100 м от объектива O_4 .

При проектировании этой части оптической системы необходимо было выполнить два основных требования: во-первых, создать достаточно интенсивный световой пучок и, во-вторых, получить однородную освещенность в плоскости призменного отражателя в пределах достаточно большого угла.

Выполнение первого требования не встретило особых трудностей. Расчеты и первые эксперименты с макетом фотометра показали, что благодаря высокой эффективности нового метода модуляции для обеспечения необходимой чувствительности требуются очень незначительные световые потоки, падающие на катод фотоэлемента (не более 10⁻⁵ лм).

Выполнение второго требования связано с необходимостью исключения погрешностей фотометрирования, которые могут возникнуть при угловых смещениях измерительного пучка из-за неустойчивости опоры, на которой установлена оптическая система. В связи с тем, что фотометр предназначен для эксплуатации в полевых условиях без нрименения специальных фундаментов, а угловые смещения оптической системы, установленной на штативе, стоящем на грунте, не превышают $10 \div 15'$, оптическое устройство рассчитано таким образом, что угол зрения приемной оптики равен 1°, угол расхождения измерительного пучка около 2°, а угол, в пределах которого освещенность в плоскости отражателя однородна, составляет $40 \div 45'$. Угол расхождения светового (пучка, попадающего на отражательное устройство, равен 5″.

Использование такой оптической системы, хотя и позволяет полностью исключить погрешности, вызванные неустойчивостью опоры, но связано с большими потерями света.

Величина однородной зоны измерительного пучка сильно зависит от качества юстировки и качества колбы лампы накаливания ОП-8-100. Контроль структуры пучка легко осуществляется по указателю самого фотометра при перемещении фотометра в пределах некоторого угла.

Отражательное устройство и приемное зеркало. При использовании в качестве отражателя плоского зеркала или системы, состоящей из сферического или параболического зеркала, в фокусе которого установлено небольшое отражательное зеркало, возникает необходимость очень жесткого крепления подобных отражателей.

Единственным оптическим устройством, которое может возвращать пучок обратно к источнику света и при этом не требует точной ориентации, является трипльпризма. Поэтому в фотометре в качестве отражателя использован набор из 9 определенным образом рассчитанных трипльпризм. Недостатком отражательной системы, состоящей из трипльпризм, является сложность ее изготовления и сравнительно высокая стоимость.

Двухгранные углы между отражающими гранями призм из стекла К-8 (при расстоянии до отражателя 100 м) сделаны равными 90°00'25"± ±5", при этом все шесть отраженных каждой призмой пучков располагаются равномерно вокруг выходного объектива O_4 в пределах приемного зеркала 3. Ось прямого пучка совмещена с оптической осью приемной оптики. В качестве приемного устройства использовано сферическое зеркало 3 диаметром 250 мм.

Диаметр зеркала выбран таким, чтобы отраженные призмами пучки вписывались в кольцевой пояс рабочей части зеркала. Центральная часть зеркала экранируется оптическими устройствами, расположенными на оси зеркала. На экранированную часть приходится примерно 18% площади с учетом экранировки стойками.

Качество призменного отражателя характеризует зависимость показаний фотометра от угла между нормалью к входной грани призмы и падающими лучами. При смещении блока призм (без диафрагм) в пределах $\pm 4^{\circ}$, световой поток, падающий на приемное зеркало, не изменяется по величине. Для защиты призм от запыления перед ними установлен блок специальных пылезащитных диафрагм с углом зрения 4°.

Фотоэлемент с оптическими элементами коррекции. Световой поток, отражаясь от приемного зеркала 3, проходит корректирующий светофильтр ЖС-17 (СФ) и фокусируется на молочном стекле MC. Диафрагма \mathcal{I}_6 ограничивает поле зрения приемной оптики. Непосредственно за молочным стеклом установлен фотоэлемент типа СЦВ-4. При необходимости в качестве приемников света с успехом можно использовать кислородно-цезиевый фотоэлемент или фотосопротивления типа PbS.

Результирующая кривая спектральной чувствительности СЦВ-4 к излучению лампы источника близка к кривой видности глаза. Фильтр ЖС-17 срезает значительную часть рассеянного дневного света со стороны коротковолновой части спектра, где чувствительность СЦВ-4 особенно велика. Молочное стекло обеспечивает полную однородность освещения катода фотоэлемента дневным светом, светом измерительного пучка и пучка сравнения. Потери света на молочном стекле составляют 64%.

Оптическое устройство пучка сравнения. Для построения изображения тела накала лампы ЛН в плоскости диска модулятора в пучке сравнения используется точно такое же оптическое устройство, как и в измерительном пучке. Оно состоит из объективов O_5 и O_6 , призмы Πp_3 и диафрагмы \mathcal{I}_3 . Параметры этих элементов равны параметрам аналогичных оптических элементов измерительного пучка. Между объективами О5 и О6 расположены установочные клинья УК, которые позволяют изменять интенсивность пучка сравнения в пределах 50%, не нарушая его структуры. Выполнены клинья из нейтрального стекла НС-1. Прозрачность двух клиньев в положении минимальной толщины 70%, в положении наибольшей толщины 34%. Выбор прозрачных клиньев объясняется тем, что неточность изготовления клиньев будет слабо влиять на структуру светового пучка и вместе с тем, возможно, будет плавно изменять интенсивность пучка сравнения. С помощью установочных клиньев при первичной регулировке фотометра в условиях высокой прозрачности атмосферы интенсивность пучка сравнения устанавливается равной интенсивности измерительного пучка.

После прохождения диафрагмы \mathcal{A}_3 и диска модулятора M пучок сравнения попадает на объектив O_7 , который формирует параллельный пучок света. Специальная призма Πp_4 поворачивает пучок на 90° и направляет его на линейную измерительную диафрагму \mathcal{A}_1 . Световой поток, прошедший измерительную диафрагму, с помощью объектива O_8 фокусируется на молочном стекле MC и далее попадает на фотоэлемент. Нейтральный фильтр $H\Phi$, стоящий за объективом O_8 , необходим для

4*

ослабления пучка сравнения. Его плотность рассчитана так, что при высокой прозрачности атмосферы световой баланс наступает тогда, когда установочные клинья находятся примерно в среднем положении.

Измерительная диафрагма, примененная в фотометре, обеспечивает линейную шкалу прозрачности. Устройство диафрагмы и принцип действия были рассмотрены нами ранее [1, 3].

Угол полного раскрытия диафрагмы в фотометре выбран равным 174,5°. Ось измерительной диафрагмы через редуктор связана с исполнительным двигателем *РД*, дистанционным датчиком — потенциометром *П* и стрелочным указателем *У*.

Вспомогательные оптические устройства. Для наведения измерительного луча на призменный отражатель и для контроля положения оптической системы при непрерывной эксплуатации фотометра используется оптический прицел, обеспечивающий высокую точность наведения и контроля.

Для контроля фокусировки и положения изображения нити накаливания лампы в плоскости диска модулятора используется вспомогательное оптическое приспособление, вдвигаемое в световое поле пучков. Состоит оно из зеркал \mathcal{J}_1 и \mathcal{J}_2 , диафрагм $\mathcal{Д}_4$ и $\mathcal{Д}_5$, матовых стекол MC_1 и MC_2 и нейтральных фильтров $H\Phi_1$ и $H\Phi_2$, ослабляющих яркость наблюдаемого изображения.

При юстировке, например, после замены лампы накаливания на матовых стеклах MC_1 и MC_2 будет видно изображение нити лампы, которое окажется одновременно сфокусированным как в плоскости диска модулятора, так и на матовых стеклах MC_1 и MC_2 .

Плоскопараллельное защитное стекло *ЗС* введено в оптическую систему фотометра только с целью обеспечения герметизации прибора. Для ослабления загрязнения защитного стекла перед ним устанавливается специальная бленда *Бл*.

2. Электрическая система автоматического компенсационного фотометра

Электрическая система прибора обеспечивает полную автоматизацию процесса измерений и регистрации прозрачности атмосферы. Блоксхема электрической части фотометра представлена на рис. 2. Процесс измерения протекает в определенной последовательности. При изменении величины прозрачности нарушается баланс световых потоков. На нагрузке фотоэлемента возникают амплитудно-модулированные колебания несущей частоты, которые поступают на основной усилитель. В этом усилителе осуществляется усиление амплитуды сигналов несущей частоты и выделение сигналов расстройки. Сигнал расстройки поступает на исполнительный двигатель типа ДИД-ЗТА. Ось двигателя через редуктор связана с измерительной диафрагмой. Вращение двигателя происходит до того момента, пока не будет восстановлено равновесие световых потоков. Ось измерительной диафрагмы через редуктор связана со стрелочным указателем, шкала которого проградуирована в километрах метеорологической дальности видимости и в процентах прозрачности. С линейного потенциометра снимаются электрические сигналы на линию связи, на конце которой включены регистрирующий прибор и дублирующие указатели, измеряющие величину тока в линии, пропорционального прозрачности атмосферы.

Для обеспечения нормальной работы системы автоматического регулирования интенсивности пучка сравнения в электрическое устройство фотометра введены некоторые вспомогательные элементы: генератор и усилитель мощности опорного напряжения, магнитный демпфер, блок питания, устройство для дистанционного включения и включения прибора и электрический обогрев.

Рассмотрим кратко устройство отдельных элементов электрической системы.

Основной электронный усилитель. Принципиальная схема усилителя представлена на рис. 3. На входе усилителя включен фотоэлемент. Первые два каскада на лампах 6Ж1П представляют собой избирательный усилитель. Коэффициент усиления первых двух каскадов на несущей частоте равен 13500. Ширина полосы пропускания примерно 170 гц. Коэффициент демодуляции 2. Усиленное напряжение



Рис. 2. Блок-схема электрической части компенсационного фотометра.

несущей частоты подается на диодный детектор \mathcal{A}_1 . Продетектированные колебания поступают далее на двухзвенный индуктивно-емкостной фильтр. На выходе этого фильтра выделяется низкочастотная составляющая сигнала, т. е. напряжение сигнала расстройки. В третьем каскаде на лампе 6Н2П осуществляется усиление этого напряжения. Четвертый каскад является фазоинверсным. Усиление мощности сигнала расстройки осуществляется двухтактным усилителем на лампах 6П1П, которые работают в экономичном режиме AB_1 . Коэффициент усиления усилителя сигнала расстройки, равный отнощению напряжения сигнала на обмотке управления двигателя $\mathcal{A}U\mathcal{A}$ -3TA к напряжению сигнала на входе усилителя, равен 160. Первичная обмотка выходного трансформатора настроена в резонанс с частотой сигнала расстройки. Нагрузкой выходного трансформатора является сигнальная обмотка двигателя $\mathcal{A}U\mathcal{A}$ -3TA.



Исполнительный двигатель и магнитный демпфер. В качестве исполнительного двигателя в фотометре использован двигатель типа ДИД-3TA с полым немагнитным ротором. Хотя двигатель рассчитан на частоту 400 гц, однако он может быть с успехом использован и на пониженных частотах. При частоте 148 гц параметры двигателя отличаются от номинальных. Двигатель в фотометре работает в облегченном режиме. Напряжение на обмотке возбуждения 20 в. Напряжение трогания не более 1 в. Сопротивление обмоток на частоте 148 гц: сигнальной — 4,2 ом, обмотки возбуждения 33,8 ом.

Для демпфирования системы путем введения обратной связи по скорости используется двигатель типа ДИД-2ТА спаренный с исполнительным двигателем. При питании обмоток двигателя ДИД-2ТА небольшим постоянным напряжением возникает противодействующий момент, величина которого зависит от скорости вращения полого ротора. Небольшое возрастание инерционности системы в данном случае не имеет значения.

Мотор-генератор. Для вращения диска модулятора использован асинхронный трехфазный двигатель, включенный в однофазную сеть 220 в, 50 гц. Мощность двигателя 36 вт, число оборотов модулятора 2965 в минуту. В этом случае несущая частота равна 1780 гц, а частота сигнала расстройки 148 гц. Асинхронный двигатель слабо нагружен, поэтому число оборотов модулятора стабильно. Кроме того, колебания скорости вращения модулятора в пределах $\pm 5\%$ практически не сказываются на работе прибора. С двигателем модулятора спаряжений статор опорного напряжения. Для облегчения фазировки напряжений статор генератора может поворачиваться в пределах некоторого угла.

Усилитель мощности опорного напряжения позволяет не только осуществить усиление мощности, но и отфильтровать высшие гармоники, чтобы на обмотку возбуждения исполнительного двигателя подавалось строго синусоидальное напряжение. Напряжение от генератора поступает на первичную обмотку согласующего трансформатора (рис. 4). Вторичная обмотка этого трансформатора настроена в резонанс с частотой генератора. На выходе двухтактного усилителя на лампах 6ПЗСЕ включен трансформатор, первичная обмотка которого также настроена в резонанс с частотой генератора. Нагрузкой вторичной обмотки трансформатора является обмотка возбуждения двигателя ДИД-ЗТА.

Выходная мощность усилителя равна 11,5 вт, выходное напряжение 20 в, коэффициент гармоник $2 \div 2,5\%$.

Редуктор. Правильный выбор параметров редуктора имеет очень важное значение. Наличие конвективных процессов в атмосфере приводит к хаотическому смещению положения световых пучков на приемном зеркале. При интенсивных конвективных процессах в приземном слое отраженные призмами пучки в какие-то моменты времени могут выходить за пределы кольцевой зоны зеркала. Это явление, а также наличие естественных флуктуаций прозрачности атмосферы может привести к сильному «размыванию» линии записи. Для исключения этих колебаний в записи инерционность фотометра сделана достаточно большой. Передаточное число редуктора равно 2006,25. Время прохождения стрелки указателя по всей шкале 18÷20 сек.

Указатель фотометра и дистанционная система передачи и регистрации показаний. Регистрирующая часть отделена от основного фотометрического блока. Основной фотометрический блок снабжен стрелочным указателем со шкалой длиной 200 мм. Шкала метеорологической дальности видимости рассчитана для базы 200 м и порога контрастной чувствительности глаза 3,5%. Устроен указатель несложно. На одной из промежуточных осей редуктора установлен барабан, на который наматывается струна, связанная с кареткой, имеющей стрелку. Каретка движется по направляющей.

Для осуществления дистанционных измерений в фотометре использована простая телеметрическая система. С осью измерительной диафрагмы через редуктор связана ось линейного потенциометра типа ПТА.5.К.1 В±0,1-2±2. На потенциометр подается стабилизированное напряжение порядка 83 в. Величина тока в измерительной линии является линейной характеристикой прозрачности атмосферы. Максимальная величина тока в цепи, соответствующая 100% прозрачности, равна 0,3 ма.

Для исключения влияния колебаний сопротивления измерительной цепи на показания приборов в измерительную цепь введено добавочное сопротивление, равное 220000 ом. Длина линии связи может достигать 10 км.

В качестве регистрирующего прибора использован милливольтметр типа МСЩ Пр-01-18, а в качестве дублирующих указателей — микроамперметры М-24 с соответствующими шкалами. Возможно использование самописцев типа ЭПП-09.

При отсчетах по указателю основного фотометрического блока погрешность фотометрирования существенно меньше, чем при отсчетах по стрелкам приборов, включенных на конце линии связи.

Устройство для дистанционного включения и выключения фотометра. Для удобства эксплуатации фотометра, установленного на поле аэродрома, прибор снабжен пультом дистанционного управления, устанавливаемым в помещении метеослужбы. Для осуществления дистанционных измерений и дистанционного включения и выключения используются три жилы телефонного кабеля. В одну из жил измерительной цепи последовательно включена обмотка двухпозиционного поляризованного реле РПС-4. Реле РПС-4 используется для включения более мощного реле РЭН-20. В зависимости от полярности управляющего импульса тока в линии якорь поляризованного реле занимает одно из двух возможных положений и тем самым включает или выключает реле РЭН-20, а следовательно, и прибор в целом. Амплитуда пусковых импульсов порядка 10 в.

Схема электрического питания фотометра представлена на рис. 4. Напряжение подается на основные элементы схемы через феррорезонансный стабилизатор типа С-0,5. С трансформатора Tp_1 снимаются необходимые напряжения на выпрямитель мостового типа на диодах Д205, на накальные цепи и выпрямитель напряжения смещения. Напряжение 5,2 в на лампу накаливания ОП-8-100 подается от отдельного трансформатора Tp_2 мощностью 80 вт. Напряжение на потенциометр снимается с газового стабилизатора типа СГ-16П.

Для облегчения эксплуатации и настройки фотометра в схему электрического питания введены необходимые элементы, позволяющие производить измерения электрических параметров, определяющих работоспособность фотометра.

3. Конструкция автоматического компенсационного фотометра

Прибор состоит из нескольких блоков. В его состав (рис. 5) входят: основной фотометрический блок, отражатель, блок электрического питания со стабилизатором, измерительно-регистрирующие приборы и два штатива для монтажа фотометра. Все блоки устанавливаются на поле аэродрома в специальных защитных будках, за исключением измерительно-регистрирующих приборов, которые размещаются в помещении метеослужбы аэродрома на расстоянии нескольких километров от основного датчика.

Все узлы основного фотометрического блока смонтированы в трех отсеках специального герметизированного корпуса.

Призменный отражатель, состоящий из 9 трипльпризм, смонтирован в специальной обойме, которая установлена в литом алюминиевом корпусе. Для ослабления загрязнения входных граней перед призмами



Рис. 5. Внешний вид блоков автоматического компенсационного фотометра.

установлена система диафрагм и набор цилиндрических бленд с углом зрения 4°. Блок цилиндрических бленд крепится к корпусу отражателя с помощью двух замков. Отражатель снабжен небольшим обогревателем 30 вт, исключающим запотевание и обмерзание призм. Для наведения отражателя на основной фотометрический блок на корпусе отражателя установлен простейший прицел.

В блоке питания смонтированы выпрямители, усилитель мощности напряжения возбуждения, понижающий трасформатор накала лампы ОП-8-100 и реле дистанционного включения фотометра. На передней панели блока питания смонтированы органы управления и контроля токов и напряжений.

Юстировка оптической системы и полная регулировка фотометра осуществляется на заводе, и прибор при поступлении к потребителю должен быть полностью готов к измерениям.

Автоматический компенсационный фотометр позволяет измерять не только горизонтальную прозрачность атмосферы, но и наклонную прозрачность при установке призменного отражателя на некоторой высоте.

ЛИТЕРАТУРА

- 1. Горышин В. И. Компенсационный фотометр. Авторское свидетельство № 126643.

- 4. Горышин В. И. Новый метод модуляции световых пучков в двухлучевых фото-метрах и спектрофотометрах. См. наст. сборник.

В. И. ГОРЫШИН

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАБОРАТОРНЫХ И ПОЛЕВЫХ ИСПЫТАНИЙ АВТОМАТИЧЕСКОГО ФОТОМЕТРА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ И РЕГИСТРАЦИИ ПРОЗРАЧНОСТИ АТМОСФЕРЫ (РДВ-1)

Широкое внедрение на сети авиаметстанций Гидрометслужбы СССР автоматических компенсационных фотометров РДВ-1, предназначенных для измерения и регистрации метеорологической дальности видимости (прозрачности атмосферы), делает особенно важным вопрос об оценке эксплуатационных характеристик фотометра, точности фотометрирования и погрешности измерения метеорологической дальности видимости.

Для широкого круга специалистов, связанных с внедрением и последующей эксплуатацией автоматических фотометров на сети авиаметстанций, представляют интерес результаты всесторонних лабораторных и полевых испытаний двух опытных образцов автоматического фотометра.

Полученные при испытаниях результаты определяют те минимальные уровни различных параметров, характеризующих качество автоматического фотометра, которые должен иметь любой серийный образец прибора, поступающего на сеть.

Поскольку перед нами стояла задача оценить погрешности измерения непосредственно самого фотометра, за основу были взяты отсчеты по указателю основного фотометрического блока. Отсчеты по регистрирующему прибору МСЩ Пр-01-18 или по дублирующим указателям М-24 несут в себе дополнительную погрешность, величина которой зависит от качества этих измерительных приборов и точности их градуировки, а не от качества фотометрического датчика.

В связи с тем что достоверная оценка погрешностей фотометрирования может быть произведена главным образом по результатам лабораторных (камерных) испытаний, на них было обращено особое внимание.

1. Результаты лабораторных испытаний

Проверка линейности шкалы прозрачности фотометра. Шкала метеорологической дальности видимости фотометра построена по результатам теоретического расчета в предположении строго линейной шкалы прозрачности, зависящей от характеристики измерительной диафрагмы. Для подтверждения правильности этого положения была снята зависимость показаний фотометра от прозрачности нейтральных фильтров, установленных на пути измерительного пучка. В связи с тем что пластинки нейтральных фильтров обладают некоторой клиновид ностью, с каждым фильтром было сделано пять отсчетов через 90° при вращении фильтра вокруг оптической оси пучка. Результаты измерений представлены в табл. 1. Таблица 1

Номинальная прозрач- ность нейтрального фильтра (⁰/₀)	100 (без фильтра)	70,8	63,1	50,1	39,8	27,0	17,8	10,0	3,2
Среднее значение отсче- та по указателю при- бора № 02 (деления шкалы)	100	70,9	63,3	50,8	40,5	26,7	16,9	9,2	2,9
Среднее значение отсче- та по указателю при- бора № 01 (деления шкалы)	100	70,3	62,8	50,6	40,7	27,4	17,8	10,0	3,4

Таблица 1 показывает, что шкала прозрачности фотометра линейная. Небольшие отличия средних значений отсчетов от значений номинальной прозрачности фильтров связаны главным образом с недостаточно точным знанием действительного значения прозрачности фильтра и с некоторым влиянием оптической неоднородности стекла баллона лампы накаливания.

Обращает на себя внимание тот факт, что результаты проверки градуировки прибора № 02 отличаются, хотя и незначительно, от результатов проверки градуировки прибора № 01. Проведенные исследования показали, что причиной этого является некоторое влияние свилистости стекла колбы лампы на структуру светового поля пучков.

В связи с тем что диаметр колбы лампы ОП-8-100 большой (59 мм), а фокусное расстояние линз конденсора равно 60 мм, наличие свилей на стекле колбы приводит к некоторому искажению симметрии светового поля. Для оценки этого явления нами были произведены измерения градуировки фотометра № 01 с четырьмя лампами ОП-8-100, две из которых имели колбу с большой свилистостью (№ 16 и 5), две — с небольшой (№ 3 и 12). Оценка свилистости производилась глазомерно по величине искажений прямоугольной сетки, рассматриваемой через стекло колбы. Результаты измерений представлены в табл. 2.

Таблица 2

Номинальная	Отсче	гы по указателю	фотометрическог	о блока
прозрачность фильтра (%)	с лампой № 16	с лампой № 5	с лампой № З	с лампой № 12
$100 \\ 70,8 \\ 63,1 \\ 50,1 \\ 39,8 \\ 27,0 \\ 17,8 \\ 10,0 \\ 3,2$	$ \begin{array}{c} 100,0\\ 73,2\\ 64,8\\ 50,1\\ 39,8\\ 26,8\\ 17,8\\ 10,1\\ 3,4 \end{array} $	100,069,860,946,936,324,215,68,83,0	$100,0 \\71,2 \\63,3 \\50,7 \\41,2 \\28,5 \\18,8 \\10,6 \\3,8$	100,070,362,850,940,927,517,910,03,5

Результаты измерений, приведенные в табл. 2, показывают, что качество колбы лампы влияет на градуировку шкалы прозрачности, хотя

это влияние и невелико. В зависимости от расположения свилей в свеовом поле может несколько искажаться или первая половина шкалы, или вторая. Единственным путем исключения этого явления может быть изготовление ламп накаливания, баллон которых оптически однороден на рабочем участке. Это легко можно обеспечить при ручном изготовлении баллона лампы.

В связи с тем что при рассмотрении результатов эксперимента, призеденных в табл. 2, возникает предположение, что изменение градуиовки при смене лампы происходит вследствие нарушения первичной остировки, проверка градуировки с лампой № 12 была призведена цважды. Лампа каждый раз извлекалась из фотометра, а после ее /становки на место фокусировка осуществлялась по вспомогательному оптическому приспособлению. Оказалось, что разброс в показаниях з этом случае не превышает 0,3 деления шкалы, т. е. качество юстировки лампы не влияет на градуировку фотометра.

Для оценки устойчивости градуировки фотометра при длительной эго работе была произведена проверка градуировки фотометра № 02 после того, как прибор проработал более 500 час. Результаты измерений представлены в табл. 3.

Таблица З

ность фильтра (%) Этсчеты по указателю	100	70,8	63,1	50,1	39, 8	27,0	17,8	10,0	3,2
фотометра (деления шкалы)	100	70,8	63,0	50,6	40,6	26,8	17,2	9,7	3,3

Таким образом, градуировка фотометра весьма стабильна и не изменяется в процессе его эксплуатации.

Проверка порога чувствительности фотометра и устойчивости показаний при длительных измерениях фиксированной прозрачности. Оценка порога чувствительности фотометра была произведена с помощью установочного клина. Для изменения показаний фотометра на 1% (при положении стрелки на 100 делении) необходимо сделать примерно 4 оборота регулировочного винта при среднем положении клина. Изменение показаний надежно фиксируется при повороте регулировочного винта на 1/2 оборота при высоком уровне дневной освещенности и на 1/3 оборота при невысокой дневной освещенности. Следовательно, порог чувствительности фотометра может быть оценен такой величиной изменения светового потока, которая соответствует изменению прозрачности на 0,1÷0,2% от максимального значения шкалы.

Наглядной иллюстрацией чувствительности фотометра № 01 могут быть также результаты многократных измерений прозрачности двух нейтральных фильтров на двух участках шкалы, представленные в табл. 4.

Таблица 4

Номинальная про- зрачность фильтра (%)		Отсчет	гы по	указат	елю ф	отомет	ра (де.	ления і	шкалы)	:
70,8	70,4	70,4	70,3	70,4	70,2	70,3	70,3	70,4	70,3	70,3
3,2	3,4	3,6	3,5	3,6	3,4	3,6	3,5	3,6	3,4	-3,5
	[1	(]	l '	[1

Разброс в показаниях не превышает 0,2 деления как в начале, так и в конце шкалы прибора. При измерениях порога чувствительности фотометра коэффициент усиления усилителя сигнала расстройки был

установлен равным ²/₃ максимального, что соответствует стабильной работе фотометра при самых высоких уровнях дневной освещенности.

Для оценки устойчивости показаний фотометра при длительной эксплуатации была произведена непрерывная регистрация фиксированной прозрачности в течение 15 суток. На очень небольшом расстоянии от фотометрического блока была установлена специальная призма, которая возвращала свет на приемное зеркало. В связи с тем что длина пути измерительного пучка в воздухе была очень мала, небольшое изменение прозрачности воззуха не сказывалось на показаниях фотометра и все изменения показаний зависели только от стабильности его работы. Для контроля чувствительности фотометра и исключения возможности получения ложных результатов в процессе измерений через определенные промежутки времени производилось систематическое нарушение баланса путем закрытия измерительного пучка на короткий промежуток времени. Точность восстановления показаний определяла чувствительность прибора и устойчивость его работы.

Поскольку оказалось, что устойчивость показаний высокая, а запись показаний представляла собой тонкую прямую линию, отсчет по стрелке фотометра производился один раз в сутки. Результаты измерений, произведенных в период с 7 по 22 февраля 1962 года, представлены в табл. 5.

Таблица 5

Число	7	8	9	10	11	12	13	14
Отсчет по указателю фотометра	97,9	98,0	97,9	.98,0	98,0	97,9	98,0	98,0
Число	15	16	17	18	19	20	21	22
Отсчет по указателю фотометра	98,0	97,9	97,9	97,9	98,0	98,0	98,0	98,0

Таким образом, никаких изменений показаний фотометра за две недели непрерывной работы не произошло. Обработка линии записи показала, что разброс в показаниях после нарушения баланса и его восстановления не превышает 0,2 деления шкалы.

В отдельные моменты времени на линии записи видны случайные кратковременные выбросы, достигающие 0,3÷0,5 деления от уровня устойчивых показаний.

Определение сходимости показаний между измерительно-регистрирующими приборами фотометра. Для оценки качества градуировки шкал регистрирующего прибора МСЩ Пр-01-18 и дублирующих указателей М-24 была определена сходимость отсчетов, взятых по стрелкам каждого из приборов. Результаты представлены в табл. 6.

Максимальная разность в показаниях достигает 2,5 делений. Данные табл. 6 показывают, что качество приборов М-24 невысокое, шкалы существенно нелинейные. Для устранения дополнительных погрешностей необходима индивидуальная градуировка приборов. Градуировка регистрирующего прибора удовлетворительная.

Испытания фотометра на теплоустойчивость. Прежде чем перейти к исследованию влияния колебаний температуры воздуха, окружающего прибор, на результаты измерений, необходимо было при постоянной температуре воздуха исследовать изменение показаний фотометра № 02 от момента включения до момента стибилизации показаний при измерении фиксированной прозрачности. В процессе эксперимента были произведены измерения температуры воздуха внутри прибора. Результаты исследований представлены в табл. 7.

Таблица б

				Отсче	еты г	ю ст	релк	ам (д	елени	яш	калы)) .		
		n	ри вс	зраст	ании	пока	азани	й		п	ри ул по	мены казаі	шени ний	и
По указателю фо- тометрического блока По регистрирую-	0	10	20	40	60	70	80	90	100	80	60	40	20	10
щему присору МСЩ Пр-01-18	0	10,4	20,4	40,5	60,6	70,6	80,5	90,4	100,2	80,8	60,8	40,7	20,7	10,4
ио дублирующему указателю № 01 По дублирующему указателю № 02	0 0	11,0 11,4	20,9 21,0	40,5 40,0	60,9 59,2	70,5 68,5	79,5 77,5	89,0 87,6	99,8 99,7	80,5 78,1	61,3 59,5	41,0 40,6	21,2 21,5	11,0 11,4
		1		1			1							ſ

Таблица 7

Дата и время (час., мин.)	Температура окружаю- щего воз- духа (°С)	Температура воздуха в приборе (°C)	Отсчет по указателю фотометра
18 VIII 1963 r. 9 30 9 35 9 50 10 00 11 00 12 00 13 00 15 00 19 VIII 1963 r. 9 00	$\begin{array}{c} 20\\ 20\\ 20,1\\ 20,2\\ 20,4\\ 20,5\\ 20,8\\ 21,0\\ 21,0\\ 20,6\\ \end{array}$	21 22 27 29 34 36 37 37 37 37	81,0 80,5 80,3 80,4 80,6 80,9 81,0 81,0 81,0 81,0

Материалы табл. 7 показывают, что по мере повышения температуры воздуха внутри прибора изменяются показания фотометра. Изменения за первые 2÷2,5 часа составляют -0,8% максимального значения шкалы, после чего показания остаются стабильными.

Перепад температуры окружающего воздуха и воздуха внутри прибора составляет 16° С при внешней температуре 21° С. Время стабилизации показаний равно примерно 2,5÷3 часа.

Результаты исследований фотометра № 02 в термокамере представлены в табл. 8.

Таким образом, учитывая результаты предыдущего эксперимента, можно сделать вывод, что изменение показаний фотометра при возрастании температуры окружающего воздуха от +20 до $+40^{\circ}$ С не превышает $+1,0 \div +1,2\%$ максимального значения шкалы. Разность температур окружающего воздуха и воздуха внутри прибора равна в этом случае 13,5°С. Во время нагревания прибора производился контроль чувствительности. Оказалось, что чувствительность фотометра не изменяется при изменении температуры окружающего воздуха.

Аналогичные измерения были осуществлены при повышении температуры окружающего воздуха от +18 до +50°С. Было установлено, что изменение показаний фотометра при этом не превышает +1,8÷+2% от максимального значения шкалы.

Дополнительные исследования, проведенные нами, показали, что основной причиной, вызывающей появление некоторых погрешностей фотометрирования, является упругая деформация корпуса фотометра при его нагревании (или охлаждении) и главным образом элементов крепления лампы накаливания.

· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	Т	а	б	Л	И	Ц	а	8
	- 1	a	υ	31	и	ш	۵	- C

Дата и время (час., мин.)	Температура окружаю- щего воз- духа (°С)	Температура воздуха внутри при- бора (°С)	Отсчет по указателю фотометра
19 VIII 1963 r. 13 08 14 15 14 30 14 45 15 00 15 30 16 00 16 30 17 00 17 30 18 30 19 00 20 00 21 00 22 00 24 00 20 VIII 1963 r. 01 00	$\begin{array}{c} 24,0\\ 37,0\\ 38,0\\ 40,0\\ 41,0\\ 41,0\\ 41,0\\ 42,0\\ 42,0\\ 42,0\\ 41,5\\ 41,5\\ 41,5\\ 41,5\\ 41,5\\ 41,5\\ 41,3\\ 41,0\\ 41,0\\ 41,0\\ 41,0\\ \end{array}$	$\begin{array}{c} 28,0\\ 42,0\\ 44,0\\ 47,0\\ 48,0\\ 50,0\\ 51,5\\ 52,0\\ 53,0\\ 53,5\\$	80,5 80,0 79,8 79,4 79,4 79,8 80,5 80,2 80,3 80,8 81,0 81,0 81,0 81,0 81,0 81,0

Испытания фотометра на предельно допустимые температуры окружающего воздуха показали, что пребывание прибора в течение 4 час. при температуре +67°C в выключенном состоянии не вызывает нарушения работоспособности и изменения параметров фотометра.

Испытания фотометра на холодоустойчивость. В связи с тем что при испытаниях на холодоустойчивость производить отсчеты по указателю фотометрического блока оказалось невозможно, была включена линия дистанционных измерений и отсчеты производились по регистрирующему прибору МСЩ Пр-01-18. Результаты испытаний фотометра № 02 на холодоустойчивость представлены в табл. 9.

Сложность камерных испытаний на холодоустойчивость заключалась в том, что для замыкания светового луча при малых размерах камеры было использовано специальное устройство с отражательным зеркалом. Поскольку в камеру холодный воздух подавался периодически большими порциями, то температура воздуха в камере все время совершала колебания $\pm 2 \div 3^{\circ}$ С около некоторого среднего значения. Это приводило к тому, что на не защищенном и не обогреваемом отражательном зеркале появлялись кристаллы льда, вызывавшие некоторое уменьшение показаний.

Результаты испытаний, представленные в табл. 9, показывают, что изменение показаний фотометра при понижении температуры окружающего воздуха от +17 до -51°C не превышает -2,3% максимального значения шкалы, даже при влиянии случайных привходящих факторов данного эксперимента.

Постоянная положительная разность температуры воздуха у поверхности отражательных призм и окружающего воздуха, составляю-

Т	а	б	л	И	Ц	а	9

Дата и время (час., мин.)	Показания прибора МСЩ Пр-01-18	Температура воздуха в ка- мере (°C)	Температура призм отра- жателя (°С)	Температура воздуха внутри прибора (°С)
$\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	80,8 80,5 80,2 79,3 79,0 79,0 79,0 79,0 79,5 78,8 79,0 78,5 79,0 79,0	$+17 \\ -25 \\ -31 \\ -38 \\ -39 \\ -42 \\ -48 \\ -48 \\ -48 \\ -49 \\ -48 \\ -50 \\ -50 \\ -50 \\ -51 \\ -51$		$\begin{array}{r} +18 \\ -1 \\ +19 \\ +9 \\ +4 \\ -1 \\ -7 \\ -11 \\ -12,5 \\ -14,5 \\ -14,5 \\ -14,5 \\ -14,5 \\ -12,3 \\ -12,3 \\ -12,3 \end{array}$

щая $+6,5^{\circ}$ С при $t^{0} = -51^{\circ}$ С, исключает запотевание входных граней призм. Испытания фотометра при резком снижении температуры внутри камеры от -51 до -20° С со скоростью $0,17^{\circ}$ С в минуту показали, что обмерзание призм и защитного стекла в этом случае не наблюдается. После длительного пребывания выключенного фотометра при температуре воздуха -50° С требуется последующая выдержка прибора в течение $2 \div 4$ час. при нормальных условиях или его прогрев с помощью внутренних обогревателей.

Испытания фотометра на влагоустойчивость. Испытания проводились в течение 48 час. при температуре +40° С и влажности окружающего воздуха 95÷98%. Было установлено, что возрастание влажности воздуха не вызывает сколько-нибудь заметного изменения показаний фотометра. Но поскольку в процессе эксперимента изменяется и температура окружающего воздуха, то это и является причиной тех небольщих изменений показаний по сравнению с показаниями в нормальных условиях, которые наблюдаются при испытаниях. Величина этих изменений и их ход полностью соответствуют результатам, полученным при испытании фотометра на теплоустойчивость.

Испытания на влагоустойчивость показали, что фотометр может работать при любой влажности воздуха, сохраняя высокую точность фотометрирования и не подвергаясь коррозии.

Зависимость показаний фотометра от напряжения сети. Измерения производились при номинальном напряжении сети, напряжении выше номинального на 16% и ниже номинального на 20%. Результаты измерений представлены в табл. 10.

			Табл	ица 10
Напряжение сети (в) 255	242	220	176	120
Отсчеты по ука- зателю фотомет- ра 80,7	80,7	80,7	80,7	80,7
Отсчеты по реги- стрирующему прибору МСЩ Пр-01-18 81,2	81,3	81,5	82,1	

5 Заказ № 678

Результаты измерений по указателю фотометрического блока совершенно не зависят от колебаний напряжения сети в широком диапазоне. При осуществлении дистанционных измерений отсчеты по регистрирующему прибору МСЩ Пр-01-18 будут несколько зависеть от напряжения сети, при этом возрастание напряжения сети на 16% приводит к появлению дополнительной погрешности, не превышающей —0,4%, уменьшение напряжения сети на 20% от номинального вызывает появление погрешности несколько более +0,7% максимального значения шкалы.

В связи с тем что основным показателем полноты реализации нулевых измерений, т. е. полного соответствия светового баланса электрическому в момент измерений, является независимость результата измерений от величины светового потока лампы накаливания, дополнительно были проведены исследования этой зависимости. Оказалось, что изменения светового потока лампы в самых широких пределах не вызывают изменения показаний фотометра. При уменьшении светового потока в три раза по сравнению с номинальными отсчет по фотометру не изменялся, однако чувствительность заметно падала. При увеличении светового потока лампы в три раза отсчет также не изменялся, но чувствительность становилась излишне большой и стрелка начинала совершать небольшие колебания около среднего отсчета.

Изменения светового потока лампы в пределах $\pm 35 \div 40\%$ не нарушают нормальную работу фотометра.

Устойчивость показаний фотометра при замене некоторых деталей запасными. Вопрос о влиянии замены лампы накаливания на градуировку фотометра был рассмотрен ранее. Замена всех электронных ламп типа 6ПЗСЕ, 6ЖПЕ, 6Н2ПЕ и 6ППЕ не вызывает никакого изменения показаний. При замене стабиловольта типа СГ-16П результаты дистанционных измерений начинают несколько отличаться от отсчетов по указателю фотометра и возникает необходимость регулировки тока в линии с помощью соответствующего сопротивления, установленного на передней панели блока питания.

Замена фотоэлемента типа СЦВ-4 также вызывает небольшое изменение показаний, что, вероятно, связано с наличием большой неоднородности чувствительности по площади катода фотоэлементов. О величине этих изменений можно судить по следующим данным: при последовательной замене в приборе № 02 трех фотоэлементов отсчеты по указателю фотометра были равны 81,3 деления для фотоэлемента № 1, 81,8 деления для фотоэлемента № 2 и 82,7 деления для фотоэлемента № 3.

Прочие испытания. Для оценки эксплуатационных качеств фотометра были проведены стандартные испытания на транспортные перегрузки, пыле- и брызгозащищенность аппаратуры. Результаты испытаний показали, что фотометр, уложенный в специальные ящики, способен выдерживать транспортировку в автомашине на расстояние более 300 км. Градуировка фотометра при этом не нарушается. Конструкция корпуса обеспечивает хорошую пыле- и брызгозащищенность. Помимо исследования погрешностей фотометра, производились исследования погрешностей регистрирующего прибора МСЩ Пр-01-18 и дублирующих указателей М-24. Было установлено, что эти приборы не соответствуют полностью техническим условиям на них. Собственные погрешности этих приборов велики, существенно больше погрешности самого фотометра. Регистрирующий прибор пригоден для эксплуатации при температурах +5÷ +40°C, дублирующие указатели при температуре +10÷ +35°C. Качество заводского изготовления приборов низкое.

Проверка инерционности фотометра показала, что среднее время пробега стрелки указателя фотометра по всей шкале равно 18 сек.

2. Результаты полевых испытаний автоматического компенсационного фотометра

Приведем некоторые результаты государственных испытаний фотометра. Целью испытаний были установление достоверности объективных измерений метеорологической дальности видимости (МДВ) и оценка устойчивости показаний при длительной эксплуатации фотометра на аэродроме.

Полевые испытания проводились в период с 23 декабря 1963 г. по 13 марта 1964 г. при температуре окружающего воздуха от +2 до -31°С; всего было произведено 403 сравнительных наблюдения в диапазоне от 650 м до 30 км, из них в диапазоне до 6000 м 272 наблюдения. Результаты приборных измерений сравнивались с результатами визуальной оценки МДВ.

Основной фотометрический блок и отражатель были установлены на штативах в специальных защитных будках. Высота установки блоков была такова, что измерительный луч проходил над снежным покровом на расстоянии 1,5 м.

Результаты обработки измерений представлены в табл. 11. В этой таблице для каждого диапазона МДВ приведено число случаев отклонений МДВ, измеренной фотометром, от значений МДВ, определенной визуально (в процентах от общего числа диапазонов МДВ).

Таблица 11

Диапазон измерения МДВ (м)	0—5	5-10	Отклон 10—15	нение (%) 15—20	20—30	3040	Всего измерений
$250-3000 \\ 3000-5000 \\ 5000-6000 \\ >6000$	72,2 40,0 20,4 65,7	25,9 19,1 28,6 7,7	1,9 20,9 24,5 3,0	6,9 16,3 16,0	9,6 4,1 2,3	3,5 6,1 5,3	108 115 49 131

Материалы табл. 11 показывают, что в диапазоне от 250 до 3000 м сходимость приборных измерений с результатами визуальной оценки МДВ высока и в 98,1% случаев приборные измерения не расходятся с результатами визуальной оценки более чем на 10%.

Далее в диапазоне от 3000 до 6000 м сходимость сильно падает, и только в 59,1% случаев для диапазона 3000—5000 м и 49% для диапазона 5000—6000 м расхождения не превышают 10%. При измерении МДВ более 6000 м сходимость приборных измерений с результатами визуальной оценки существенно возрастает и уже в 73,4% случаев расхождения не превышают 10%, а в 92,4% случаев не превышают 20%.

Уменьшение сходимости результатов приборных измерений МДВ с результатами визуальной оценки в диапазоне 3000—6000 м и дальнейшее возрастание сходимости в диапазоне видимости более 6000 м говорят о влиянии случайных факторов, не связанных с качеством фотометра.

Можно предполагать, что неоднородность помутнения атмосферы сильнее всего сказывается на результатах визуальной оценки МДВ в диапазоне 3000—6000 м. При слабых дымках, когда МДВ превышает 6000 м, атмосфера более однородна.

67

 5^{*}

При низком положении измерительного луча над поверхностью снежного покрова наблюдается влияние явлений, происходящих в приземном слое атмосферы и вызывающих ухудшение прозрачности воздуха вблизи земли (подъем снежинок при ветре, интенсивное испарение с поверхности в теплую солнечную погоду и др).

Высокая сходимость приборных измерений с результатами визуальной оценки МДВ в диапазоне видимостей более 6000 м убедительно подтверждает высокую точность фотометрирования и устойчивость работы фотометра. Приборные измерения в диапазоне видимостей более 6000 м при использовании измерительной базы 200 м, возможны будут только тогда, когда точность фотометрирования будет достаточно высока.

В период с июня по октябрь 1962 г. на полевой базе ГГО в Воейково были проведены по фотометру сравнительные наблюдения при высокой прозрачности атмосферы. Визуальные наблюдения осуществлялись по объекту, находящемуся на расстоянии 20 км. Фиксировались показания фотометра во всех случаях, когда объект был четко виден или виден под дымкой. Фотометр работал непрерывно, никаких регулировок не производилось.

Испытания показали, что во всех случаях, когда объект был виден, значение метеорологической дальности видимости по прибору было не менее 20 км. Неточность визуального определения МДВ в этом случае не имеет существенного значения так как при малой измерительной базе большие вариации МДВ вызывают очень небольшие изменения показаний фотометра.

Для оценки случайных погрешностей были проведены синхронные наблюдения по двум параллельно работающим приборам. Приборы были установлены на расстоянии 0,5 м друг от друга, призменный отражатель был общий для двух фотометров. За весь период испытаний разность показаний фотометров на различных участках шкалы оставалась в пределах небольших различий в градуировке шкал, величина которых определена табл. 1.

Для двух опытных образцов фотометра в полевых условиях были произведены измерения допустимых угловых смещений основного фотометрического блока и отражателя. Измерения показали, что при прицеливании основного фотометрического блока в любую точку круга, расположенного в плоскости входных граней призм отражателя, с угловым размером круга 35—40 мин. показания фотометра не изменяются. Аналогично, отражатель может быть прицелен в любую точку круга с угловым размером 3° и центром, совмещенным с оптической осью измерительного пучка, показания фотометра при этом не изменяются.

Заключение

Таким образом, испытания опытных образцов автоматического компенсационного фотометра показали, что погрешность фотометрирования не превышает $\pm 1\%$ при эксплуатации прибора в полевых условиях, когда температура окружающего воздуха изменяется в пределах от -40 до $+40^{\circ}$ С, и не превышает $\pm 2\%$, когда температура окружающего воздуха изменяется в пределах от -50 до $+50^{\circ}$ С. Погрешность, вносимая системой дистанционной передачи показаний, не превышает 0,5%максимального значения шкалы прозрачности.

Испытания показали, что самым существенным источником погрешности фотометрирования являются колебания температуры корпуса основного фотометрического блока, вызванные изменением температуры окружающего воздуха. Нагрев и охлаждение фотометрического блока вызывает упругую деформацию недостаточно прочного корпуса, приводящую к некоторому нарушению юстировки.

Для устранения этого недостатка особенно важно использовать лампу источника с колбой из оптически однородного стекла.

Вопрос об оценке точности объективных измерений метеорологической дальности видимости по данным о погрешности фотометрирования рассмотрен в работе [1].

Следует заметить, что поскольку в процессе испытаний речь шла об исследовании составляющих погрешности фотометрирования, незначительных по величине, то количественная их оценка связана с большими трудностями и требует особых условий эксперимента, вызванных спецификой работы самого фотометра. При проведении испытаний в камерах, очень небольших по размеру, геометрия и структура измерительного пучка резко отличается от соответствующих характеристик пучка при работе фотометра в полевых условиях. Это положение может приводить к появлению дополнительных погрешностей измерения, которые будут отсутствовать при работе прибора в нормальных полевых условиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Горышин В. И. Об оценке точности объективных измерений метеорологической дальности видимости. Труды ГГО, вып. 169, 1965.

А. М. БРОУНШТЕЙН

О ЗАВИСИМОСТИ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ВАКУУМНОГО РАДИАЦИОННОГО ТЕРМОЭЛЕМЕНТА ОТ ЕГО ТЕМПЕРАТУРЫ

1. Рассмотрим некоторые свойства вакуумных радиационных термоэлементов (РТЭ), определяющие зависимость режима их работы от внешней температуры.

РТЭ часто выполняют в виде двух практически идентичных приемных площадок, связанных тепловым контактом с двумя спаями термопары. Такие РТЭ называют компенсированными, имея в виду, что они весьма устойчивы к колебаниям внешней температуры, поскольку их спаи расположены близко друг к другу и обладают одинаковой теплоемкостью и одинаковыми условиями теплоотдачи.

Действительно, при возникновении температурных неоднородностей во внешней среде трудно ожидать заметных различий температуры на расстояниях в несколько миллиметров внутри вакуумированного баллона РТЭ, если учесть, что средний масштаб температурных флуктуаций существенно больше этого расстояния. Если же оба спая одновременно изменяют свою температуру на небольшую величину, они будут практически одновременно возвращаться в свое среднее состояние и это не повлияет на режим работы РТЭ. Практика измерений малых лучистых потоков подтверждает преимущества таких конструкций.

Однако температурная компенсация в указанном смысле, естественно, не означает, что режим работы РТЭ не зависит от значения средней температуры внешней среды или температуры самого РТЭ. Этому вопросу обычно не уделяется особого внимания, поскольку в большинстве случаев РТЭ работают в условиях лаборатории, где температура меняется в небольших пределах и где чаще всего измерения носят относительный характер (регистрация спектров, сравнение потоков).

Вопрос зависимости чувствительности РТЭ от его температуры приобретает большое значение, как только переходят к количественным измерениям потоков радиации в полевых условиях или в полетах. В таких случаях необходим точный учет этой зависимости, так как температура РТЭ может изменяться в пределах нескольких десятков градусов.¹

2. Остановимся кратко на причине зависимости чувствительности РТЭ от его температуры. Если при рассмотрении влияния флуктуаций температуры речь шла о возможности возникновения случайных разностей температур спаев, т. е. о флуктуационной помехе, то при

¹ Этот вопрос обсуждается также в статье Б. П. Козырева [6].

рассмотрении влияния средней температуры на чувствительность РТЭ мы имеем дело с явлением иной природы. Устойчивые изменения температуры всего РТЭ изменяют условия радиационной теплоотдачи его приемных площадок, что в свою очередь изменяет значения равновесных температур площадок при заданных условиях их облучения. Это приводит к соответствующему изменению величины генерируемой термоэдс, отвечающей данному измеряемому потоку. Таким образом, изменение температуры РТЭ изменяет его чувствительность, которая определяется как величина термоэдс в вольтах, отнесенная к единичной (1 вт) разности потоков, падающих на каждую из площадок.

Степень влияния температуры РТЭ на его чувствительность определяется его конструкцией. В вакуумном РТЭ действуют два механизма теплоотдачи от приемных площадок: теплоотдача путем излучения и отвод тепла через держатели термопары путем теплопроводности. Поскольку влияние температуры РТЭ на эти два вида теплоотдачи различно, очевидно, что зависимость чувствительности РТЭ от его температуры будет определяться соотношением между теплопроводностью проволочек, составляющих термопару, и размером приемных площадок и их излучательной способностью.

3. Рассмотрим количественную сторону вопроса. Обозначим равновесные температуры спаев, которые устанавливаются при заданных потоках на каждую из площадок, через T_{0II} и T_{0III} , а температуру корпуса РТЭ через T_0 . Генерируемая на зажимах РТЭ термоэдс

$$U_{\rm PT\Theta} = \beta (T_{01} - T_{011}), \tag{1}$$

где в — коэффициент термоэдс в в/град. данной термопары.

В [1] получено выражение для разности $T_{0I} - T_{0II}$, которая возникает при введении каждой из площадок в радиационный обмен с черными излучателями, имеющими температуры T_1 и T_2 . В упрощенном случае, в частности при отсутствии ослабления радиации в среде, имеем

$$T_{0I} - T_{0II} = \frac{c'' (T_1^4 - T_2^4)}{4\sigma (\varepsilon_0 + \varepsilon_0') s' T_0^3 + \varkappa}, \qquad (2)$$

где c'' — приборная постоянная, определяемая параметрами оптической системы, ε_0 и ε_0' — коэффициенты излучения двух сторон каждой из приемных площадок, s' — площадь каждой из них и \varkappa — теплопроводность проволочек термопары:

$$\mathbf{x} = \frac{\pi \left(\gamma_1 d_1^2 + \gamma_2 d_2^2 \right)}{4l} \, .$$

где γ_1 и γ_2 — коэффициенты теплопроводности материала проволочек, *d* и l — их диаметры и длина.

Числитель выражения (2) представляет собой разность потоков, поступающих на площадки. Знаменатель выражает тепловые потери площадок: если его помножить на левую часть выражения (2), то получим разность тепловых потерь площадок. Два слагаемых знаменателя соответствуют двум видам теплообмена: произведение $4\sigma (\varepsilon_0 + \varepsilon_0') s' T_0^3$ определяет радиационные потери, \varkappa — потери тепла через держатели.

Их сумма характеризует теплоотдачу от площадок в окружающую среду. Величина обратная этой сумме

$$R(T_0) = \frac{1}{4\sigma \left(\varepsilon_0 + \varepsilon_0'\right) s' T_0^3 + \kappa}$$
(3)

носит название теплового сопротивления [2] и, как видно из этого выражения, зависит от T_0 .

Учитывая (1), (2) и (3), и заменяя $c''(T_1^4 - T_2^4)$ на разность потоков $(W_1 - W_2)$, имеем

$$U_{\rm PT\Theta} = \beta R(T_0) (W_1 - W_2), \qquad (4)$$

откуда получаем выражение для чувствительности РТЭ

$$\alpha = \frac{U_{\text{PTB}}}{W_1 - W_2} = \beta R(T_0), \qquad (5)$$

где α выражено в в/вт, а β в в/град.

Чем больше тепловое сопротивление РТЭ, тем больше его чувствительность и соответственно инерционность, так как при этом замедляется отвод тепла и увеличивается время, нужное для возвращения РТЭ в первоначальное состояние при прекращении подачи измеряемого сигнала. Чем меньше R, т. е. чем интенсивнее тепловые потери площадок, тем более быстрым, но менее чувствительным становится РТЭ.

Как видно из (3), величина *R* может регулироваться за счет любой из компонент теплоотдачи в зависимости от назначения РТЭ.

Следует отметить, что не только излучение площадок, но также и теплопроводность сплавов, применяемых для изготовления термопар, зависит от температуры, причем, как и излучение, она увеличивается с повышением температуры. Однако относительное приращение теплопроводности, например, хромеля, константана или манганина составляет около 0,2%/град. [4]. Относительное же приращение произведения 4σ ($\epsilon_0 + \epsilon_0$) $s'T_0^3$ составляет около 1%/град., т. е. в 5 раз больше. Поэтому изменение конструкции РТЭ в сторону увеличения теплоотдачи излучением приводит к увеличению зависимости чувствительности РТЭ от его температуры. Основы расчета РТЭ изложены в [3].

Зависимость $\alpha(T_0)$ можно получить из (5) и (3) дифференцированием по T_0 :

$$\frac{1}{\alpha} \frac{\partial \alpha}{\partial T_0} = -\frac{12\sigma \left(\varepsilon_0 + \varepsilon'_0\right) s' T_0^2}{4\sigma \left(\varepsilon_0 + \varepsilon'_0\right) s' T_0^3 + \alpha}.$$
(6)

Из этого выражения видно, что в случае отсутствия потерь за счет теплопроводности ($\varkappa \ll 4\sigma$ ($\epsilon_0 + \epsilon_0$) $s'T_0^3$)

$$\frac{1}{\alpha} \frac{\partial \alpha}{\partial T_0} = -\frac{3}{T_0}, \qquad (7)$$

т. е., например, при $T_0 = 300^{\circ}$ К чувствительность РТЭ уменьшается на 1% при увеличении температуры на 1°. Это максимально возможная величина зависимости чувствительности вакуумного РТЭ от температуры при $T_0 = 300^{\circ}$ К (случай площадки, свободно подвешенной в вакууме). Если потери на излучение и теплопроводность равны при $T_0 = = 300^{\circ}$ К, то

 $\frac{1}{\alpha} \frac{\partial \alpha}{\partial T_0} = -\frac{3}{2T_0} = 0.5^{\circ}/_{\circ}/$ град.

Эти оценки являются, конечно, ориентировочными, поскольку конструктивные параметры РТЭ могут быть известны лишь с небольшой точностью. Практически необходимо устанавливать зависимость чувствительности РТЭ от температуры экспериментально.

4. Нами была исследована зависимость чувствительности от температуры для одного конкретного типа вакуумного РТЭ, описанного в [5]. Этот РТЭ был использован в качестве приемника в телескопическом радиометре [1].
Градуировка радиометра производилась в отсутствие воздуха при различных температурах в диапазоне $5 \div 27^{\circ}$ С. В этих условиях чувствительность РТЭ линейно уменьшалась при росте температуры, причем $\frac{1}{\alpha} \frac{\partial \alpha}{\partial T_0} \approx -0.7\%$ /град. На рис. 1 *а* и 1*б* представлены эти зависимости для двух экземпляров РТЭ с диаметрами приемных площадок 0,5 мм, диаметрами проволочек из хромеля и константана 35 мк и длиной их около 5 мм. Расчет величины $\frac{1}{\alpha} \frac{\partial \alpha}{\partial T_0}$, проведенный по формуле (6) при



Рис. 1. Примеры зависимости чувствительности вакуумных РТЭ от температуры. a - PTЭ № 3, 6 - PTЭ № 4.

 $(\varepsilon_0 + \varepsilon'_0) = 1$, дает значение 0,64 %/град., что хорошо согласуется с экспериментальной величиной, учитывая неточности определения геометрических параметров РТЭ,

ЛИТЕРАТУРА

- 1. Броунштейн А. М. Экспериментальное исследование интегральной функции пропускания. І. Постановка задачи и основы метода измерений. П. Телескопи-ческий радиометр. Труды ВНМС, т. VI. Гидрометеоиздат, Л., 1963. 2. Смит Р., Джонс Ф., Чесмер Р. Обнаружение и измерение инфракрасного
- излучения. ИЛ, М., 1959.
- Козырев Б. П. Основы расчета и конструирования радиационного термоэлемента. Изв. ЛЭТИ, вып. XLIV, 1960.
 Кей Дж, Лэби Т. Таблицы физических и химических постоянных. Физматгиз, М., 1962.
- 5. Броунштейн А. М., Красильщиков Л. Б. Радиационный термоэлемент с прямой визуальной наводкой. Оптика и спектроскопия, т. 4, вып. 3, 1958.
- Козырев Б. П. Зависимость чувствительности термоэлемента от окружающей температуры и от избыточной температуры приемной поверхности. Изв. ЛЭТИ, № 55, 1966.

А. М. БРОУНШТЕЙН, К. В. КАЗАКОВА

ОБ ОГРАНИЧЕНИИ СЛОЕВ ВОЗДУХА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ИХ РАДИАЦИОННЫХ СВОЙСТВ

1. Введение

В ряде случаев при исследовании радиационных свойств ограниченных слоев воздуха необходимо выделять их таким образом, чтобы на измерительный прибор поступало собственное излучение только от исследуемых слоев, а лежащие за ними слои были заэкранированы. Радиационное экранирование может быть достигнуто только помещением на границе исследуемого слоя (столба) воздуха устройства, которое не отражает и не излучает радиацию. Такое устройство может быть названо радиационным экраном в отличие от светового экрана.

Подобная задача радиационного экранирования встречается при измерениях интегральной функции пропускания черного излучения, соответствующего атмосферным температурам, а также при измерениях собственного теплового излучения слоев воздуха или других слабо нагретых полупрозрачных сред.

Эльзассер [1] в качестве радиационного экрана использовал прожекторное зеркало с внешним покрытием, в фокусе которого был помещен «источник» в виде небольшой полости, охлажденной до температуры жидкого воздуха. С помощью телескопической системы изображение этой полости направлялось на приемную площадку термоэлемента. В такой системе могут возникать помехи из-за аберраций прожекторного зеркала и отличия его коэффициента отражения от единицы, приводящие к поступлению на приемник посторонней радиации.

Из [1] неясно также, каким образом осуществлялась борьба с образованием инея на поверхности полости.

В статье Брукса [2] фигурирует схематический разрез сравнительно большой охлаждаемой жидким азотом полости, примененной им для градуировки радиометра, однако к этой схеме не дано никаких пояснений.

Применение в качестве радиационного экрана большой глубоко охлажденной полости без отражающего зеркала устраняет возможность появления двух первых помех, указанных выше.

В связи с постановкой измерений интегральной функции пропускания длинноволновой радиации [3, 4] нами были осуществлены радиационные экраны в виде охлажденных жидким азотом черных полостей с диаметрами выходных отверстий 80 и 180 мм. Ниже рассмотрим принцип построения и режим работы таких радиационных экранов.

2. Степень черноты экрана

Обзор радиационных свойств моделей черных тел дан в монографии [5]. Наиболее удобными для измерений в полевых условиях при достаточных удалениях экрана являются цилиндрические полости, описанные в [6], где предложена цилиндрическая модель с гофрированным дном и даны расчеты цилиндрических полостей.

Согласно [6], для достижения степени черноты $\varepsilon_{\text{пол}} = 0,995$ в небольших телесных углах вдоль оси цилиндра с гладким дном достаточно иметь отношение глубины цилиндра l к его диаметру d равным 3,0 при степени черноты краски, покрывающей внутреннюю поверхность полости, равной 0,85. Для менее точных измерений вполне допустимо зна-

чение $\varepsilon_{\text{пол}} = 0,99$, для этой цели достаточно иметь $\frac{l}{d} = 2,0$.

Применение гофрированного дна с углом раскрытия гофров 20° повышает степень черноты полости при $\frac{l}{d}$ = 2,0 с 0,99 до 0,997.

Эти примеры дают представление о требованиях к геометрическим параметрам полости для получения достаточной степени черноты экрана.

3. Требования к температуре экрана

Излучение черного тела, как известно, подчиняется закону Стефана-Больцмана

$$B = \circ T^4$$
,

где B — поток излучения с 1 см² излучающей поверхности (в случае модели черного тела — с 1 см² сечения выходного отверстия полости), T — абсолютная температура излучающей поверхности, σ — постоянная Стефана — Больцмана. В табл. 1 даны величины излучения черного тела при некоторых низких температурах (в процентах от излучения черного тела при температуре 20° C).

Таблица 1

относительные величины излучения аосолютно черного тела (в процентах от излучения при температуре 20°С)											
<i>t</i> ° C	•	. —196	—190	—180	-170	160	—150				
<i>Т</i> ^о К	•	. 77	83	93	103	113	123				
Излучение.		. 0,47	0,65	1,0	1,5	2,2	3,0				

Распределение энергии в спектре излучения черного тела меняется с изменением температуры, подчиняясь известным законам Планка и Вина: при понижении температуры максимум излучения перемещается в более длинноволновую область спектра. Если приемник радиации, с которым производят измерения, закрыт фильтром KRS-5 (иодистобромистый таллий), пропускающим радиацию от 0,6 до 40 мкм [7], то излучение, приходящее на приемник от экрана, будет еще меньше, чем указано в табл. 1, поскольку значительная его часть будет находиться за пределами 40 мкм. Табл. 2 показывает, какая доля излучения радиационного экрана может пройти через указанный фильтр, т. е. имеет длину волны меньше 40 мкм [8].

Таблица 2

Доля δ излучения абсолютно черного тела, имеющего $\lambda \leqslant 40$ мкм

<i>t</i> ° C	•						 —190	—170	-150
λ _{макс} мкм				•			35,0	28,2	23,5
δ	•	•	•		•	•	 0,35	0,50	0,62

Таким образом, зная температуру экрана, можно определить долю излучения, посылаемого экраном на приемник с указанным фильтром (в процентах от излучения при температуре 20°С), перемножив соответствующие числа таблиц 1 и 2. Например, при температуре экрана —170°С на приемник от экрана поступит 0,75% излучения черного тела при температуре 20°С (не учитывая поглощения в среде).

Из приведенных данных видно, что для снижения излучения радиационного экрана до величины порядка 1% от излучения при температуре 20°С следует его охладить до температур порядка — 150÷—170°С. Наиболее удобным охладителем, обеспечивающим при надлежащей конструкции такие температуры, является жидкий азот, температура которого при испарении равна — 196°С.

4. Мешающие явления и борьба с ними

Если металлическую излучающую полость поместить в контейнер, наполненный жидким азотом, то благодаря сублимации водяного пара и углекислого газа, поступающих с наружным воздухом через выходное отверстие полости, внутренняя излучающая поверхность ее за короткое время покроется значительным слоем инея.

Поскольку иней является хорошим теплоизолятором, в слое инея возникает значительный градиент температуры и наружная (излучающая) поверхность инея будет существенно теплее жидкого азота; следовательно, экран начнет много излучать. Кроме того, он будет также отражать коротковолновую радиацию, так как иней обладает большим коэффициентом отражения в видимой области спектра.

Другим мешающим фактором является возникающее снаружи облако из сконденсированного водяного пара в результате вытекания из полости сильно охлажденного воздуха. Это облако мешает наведению измерительной аппаратуры на рабочее отверстие экрана, а также может дополнительно отражать коротковолновую радиацию. Эти два мешающих фактора могут быть устранены с помощью следующего приема.

При погружении металлической полости в контейнер с жидким азотом в нем возникает очень интенсивное испарение. Образующийся при этом поток сухого азота может быть использован для непрерывного продувания полости, если его направить из контейнера в полость при помощи соответствующего трубопровода. Вытекая из выходного отверстия полости, этот «азотный ветер» препятствует поступлению наружного воздуха внутрь полости и образованию инея. Для устранения конденсационного облака у выхода из полости азот необходимо прогреть на пути в полость. При этом необходимо установить снаружи дополнительную бленду для лучшего формирования выходящего потока азота.

Ввиду интенсивного испарения жидкого азота его необходимо непрерывно пополнять. Для уменьшения испарения нужно создать хорошую наружную теплоизоляцию контейнера. Необходимо также постоянно контролировать уровень азота в контейнере, чтобы быть уверенным, что во время измерений вся полость погружена в азот, чем обеспечивается ее равномерное охлаждение.

5. Конструкция

На основе изложенных выше соображений была разработана соответствующая конструкция радиационного экрана, показанная схематически на рис. 1. Излучающая полость 1 с выходным отверстием диаметром 80 мм выполнена из красной меди толщиной 1,5 мм на серебряной

пайке. Контейнер 2 для жидкого азота выполнен из латуни. В него впаяна излучающая полость, а также трубка 8 для наливания жидкого азота и трубка для выхода испаряющегося азота, в которую плотно



Рис. 1. Схема конструкции радиационного экрана. 1 — излучающая полость, 2 — контейнер из латуни, 8 — теплоизоляционный кожух, 4 — жидкий азот, 5 — бленда, 6 — выходящий поток подогретого сухого газообразного азота, 7 — трубопровод с подогревом для газообразного азота, 8 — входная трубка для наливания жидкого азота, 9 — переливной сифон для жидкого азота, 10 — сосуд Дьюара с жидким азотом.

вставляется один из концов трубопровода 7. Другой конец трубопровода выходит в пространство между рабочим отверстием полости 1 и блендой 5.



Рис. 2. Внешний вид радиационного экрана,

Контейнер заключен в теплоизоляционный кожух 3, выполненный из тонкого железного листа и заполненный мипорой. Кожух состоит из двух половин: нижней, представляющей собой ложе для контейнера, и верхней, служащей крыщкой и имеющей отверстия для трубопровода. Каждая половина запаяна для предотвращения увлажнения миноры при работе в полевых условиях.

Трубопровод, выполненный из латунной трубки диаметром 30 мм, секционирован. Каждая секция имеет цилиндрический нихромовый нагреватель с теплоизоляцией. Нагреватели питаются от переменного автотрансформатора, позволяющего подобрать необходимый режим прогрева потока сухого газообразного азота. Длина пути азота регулируется числом секций трубопровода.

Переливной сифон 9 свободно вставляется во входную трубку; жидкий азот подается из сосуда Дьюара 10 с помошью небольшого поддува сжатым воздухом (0,1—0,3 атм) до наполнения контейнера до уровня контрольной отметки на указателе уровня.

При понижении уровня до второй отметки азот опять доливается. Эта процедура повторяется до окончания измерений.

Экран с выходным отверстием 180 мм сконструирован иначе чем первый, описанный выше. Он не имеет разборного теплоизоляционного кожуха. Вместо этого сам контейнер склеен из пластин пенопласта и непосредственно в него вклеены излучающая полость, входная трубкауказатель уровня и трубка для выхода газообразного азота. Эта конструкция значительно легче и дешевле. Внешний вид малого экрана показан на рис. 2.

6. Режим работы экрана

Как указано выше, для устранения конденсационного облака у выхода излучающей полости необходимо нагревать испаряющийся азот прежде, чем он по трубопроводу попадет к выходной бленде. Часть этого азота попадает в полость, и, если азот нагреть слишком сильно, температура поверхности стенок начинает расти. Если же азот нагреть недостаточно, образуется конденсационное облако. Следовательно требуется подбирать соответствующий режим нагревателей, что осуществляется регулировкой питающего автотрансформатора ЛАТР-1.

С целью исследования режима был изготовлен специальный термоэлектрический зонд, проградуированный для низких температур. С помощью этого зонда были проведены измерения температуры различных участков дна полости (вклад дна, согласно [6], составляет более 90% всего излучения полости), а также некоторых других точек.

Исследование температурного режима экрана с отверстием 80 мм показало, что при минимальном нагреве азота, обеспечивающем отсутствие конденсационного облака, эффективная температура полости¹ оказалась равной —164°С, что обеспечивает величину остаточного излучения экрана менее 1% относительно излучения при температуре 20°С (учитывая пропускание окна приемника радиации, табл. 2). Это вполне удовлетворяет поставленной задаче.

ЛИТЕРАТУРА

1. Elsasser W. M. A heat radiation telescope and the measurement of the infra-red emission of atmosphere. Month. Weath. Rev. 69, No. 1, 1941.

2. Brooks F. A. Observations of atmospheric radiation. Papers in phys. oc. and met. VIII, No. 2, 1941.

¹ Под эффективной температурой полости здесь подразумевается та температура, которой отвечает полное излучение экрана. Она определялась путем осреднения поверхностных температур с весами, соответствующими вкладам излучения отдельных участков поверхности в полное излучение полости.

- Вроунштейн А. М. Экспериментальное исследование интегральной функции пропускания. 1. Постановка задачи и основы метода измерений. Труды ВНМС, т. VI, Гидрометеоиздат, Л., 1963.
 Бериташвили Б. Щ., Броунштейн А. М., Казакова К. В. О зависи-
- мости интегральной функции пропускания атмосферы от температуры источника радиации. Труды ГГО, вып. 184, 1966.
 Брамсон М. А. Инфракрасное излучение нагретых тел. Изд. «Наука», М., 1964.
 Броунштейн А. М. Черный излучатель с большим отверстием. Труды ГГО,
- вып. 100, 1960. 7. Круз П., Макглоулин Л., Макквистан Р. Основы инфракрасной техники. Воениздат, 1964
- Апанасевич П. А., Айзенштадт В. С. Таблицы распределения энергии и фотонов в спектре равновесного излучения. Изд. АН БССР, Минск, 1961.

Г. П. ГУЩИН, К. И. ЛИСОВСКАЯ, А. М. ШАЛАМЯНСКИИ, О. Н. ЧЕМЯКИНА

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ АТМОСФЕРНОГО ОЗОНА В СССР В ПЕРИОД МГСС (1964—1965 гг.)

В период МГСС на территории СССР работали 33 озонометрические станции, расположенные в различных зонах (табл. 1). Количество этих станций значительно превосходит число станций, работавших в период МГГ (1957—1959 гг.). Тогда в СССР работало только 10 озонометрических станций [6]. Это увеличение числа станций позволило получить в период МГСС более полные сведения о горизонтальном распределении озона над территорией СССР.

Отметим, что количество озонометрических станций в других странах за последние годы изменилось сравнительно мало и в 1965 г. было равно 46 (без СССР), по данным [12].

В качестве озонометрического прибора на станциях СССР использовался универсальный озонометр М-83 [2, 3]. В Ленинграде для измерений по прямому солнечному свету применялся спектрофотометр Добсона старой модели с измененной фотоэлектрической системой [2]. Наблюдения по спектрофотометру Добсона велись на паре длин волн С (311,4 и 332,3 нм). В отличие от периода МГГ в 1964—1965 гг. на всех озонометрических станциях СССР регулярные наблюдения за озоном были дополнены наблюдениями по зениту ясного и облачного неба, что значительно увеличило объем наблюдений.

Все озонометры М-83, применявшиеся в период МГСС в наблюдениях, были проградуированы по спектрофотометру Добсона, находящемуся в ГГО и использовавшемуся в качестве эталонного прибора. Перед началом МГСС и в период МГСС спектрофотометр Добсона несколько раз тщательно градуировался. В 1964 г. на базе Главной геофизической обсерватории им. А. И. Воейкова (ГГО) в Карадаге (близ Феодосии) был организован второй центр для калибровки озонометрических приборов, что позволило производить градуировки более регулярно.

Исследования по атмосферному озону в период МГСС в СССР производились в ГГО, МГУ, ЦАО, ЦИП (ГМЦ), ЛГУ, ААНИИ и других научно-исследовательских учреждениях. В настоящей работе рассматриваются некоторые результаты исследований, полученные в ГГО и

		Год		252 252 252 252 252 253 252 252 252 252
		IIX		251 251 292 292 292 292 292 292 292 292 292 29
		XI		243 245 245 246 246 247 247 247 247 256 256 256 256 256 256 256 256 256 256
сı		×		250 250 250 250 250 250 250 250 251 251 251 251 251 251 251 251 251 251
A MFC		IX		$\begin{array}{c} 280 \\$
периол		VIII		$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$
CCP 3a	1	VII		$\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$
иям С		I A		24 25 25 25 25 25 25 25 25 25 25 25 25 25
ю стані		>		$\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$
она (10 ⁻³ см) по		IV	1964 r.	303 346 346 3346 3346 3346 3346 3355 335 3355 335
		III		290 274 274 274 274 274 277 277 277 277 277
сания Оз		II		412 412 412 412 412 412 412 412
к содерж		I	5	2286 2287 2287 2288 2282 2289 2289 2282 2282
ичения общего	инаты	долгота (град., мин.)	- - - - - -	45 55 55 55 55 55 55 55 55 55
Средние зна	Коорд	широта (град., мин.)		44784888888888888888888888888888888888
		Станция		Абастумани Абастумани Алма-Ата Алма-Ата Алма-Ата Алма-Ата Алма-Ата Большая Елань Большая Елань Цушанбе Душанбе Душанбе Душанбе Караганда Караганда Караганда Киев Киев Киев Киев Киев Киев Караганда Камага Караганда Кака

6 Заказ № 678

81

Таблица I

	Год		262 287 287 287 287 288 276 276 289 276 289 276 289 276 276 276 276 276 276 276 276 276 276
	IIX		$\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$
	XI		$ \begin{bmatrix} 286 \\ 2328 $
	X		$\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$
	IX		$\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$
	VIII		$\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$
	ΝI		$\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$
	٧١		$\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$
	V		$\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$
	١٨		$\begin{array}{c} 317\\ 319\\ 319\\ 303\\ 303\\ 303\\ 303\\ 303\\ 303\\ 303\\ 30$
	111	1965	$\begin{array}{c} 313\\ 357\\ 357\\ 357\\ 357\\ 357\\ 357\\ 366\\ 387\\ 366\\ 387\\ 366\\ 387\\ 448\\ 366\\ 377\\ 448\\ 377\\ 408\\ 3390\\ 393\\ 399\\ 399\\ 399\\ 399\\ 399\\ 39$
	II		312 354 354 3554 3554 3551 3551 3551 3551 3
	Jamei		$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$
інаты	долгота (град., мин.)		42 45 45 45 45 45 45 45 45 45 45
Коорди	широта (град., мин.)		882585555 882585555 8825855555 8825855555 8825855555 8825855555 8825855555 88258555555 88258555555 88258555555 8825855555 8825855555 8825855555 8825855555 8825955555 8825955555 8825955555 8825955555 8825955555 8825955555 8825955555 8825955555 8825955555 8825955555 8825955555 8825955555 8825955555 8825955555 882595555 882595555 8825955555 882595555 8825955555 8825955555 8825955555 8825955555 8825955555 8825955555 8825955555 8825955555 8825955555 8825955555 88259555555 8825955555 8825955555 8825955555 8825955555 8825955555 8825955555 882595555 8825955555 882595555 882595555 882595555 88259555 88259555 88259555 88259555 88259555 8825955 8825955 88259555 88259555 88259555 8825955 8825955 8825955 88259555 88259555 8825955 8825955 8825955 8825955 8825955 8825955 8855555 8855555 885555 8855555 885555 8855555 8855555 8855555 8855555 8855555 8855555 8855555 8855555 8855555 8855555 8855555 8855555 8855555 88555555 8855555 8855555 88555555 8855555 88555555 8855555 88555555 8855555 88555555 88555555 88555555 88555555 88555555 88555555 88555555 88555555 88555555 8855555 8855555 8855555 88555555 88555555 8855555 88555555 8855555 88555555 88555555 8855555 88555555 8855555 88555555 88555555 8855555 8855555 88555555 88555555 88555555 88555555 8855555 88555555 88555555 88555555 8855555 88555555 88555555 88555555 88555555 88555555 88555555 88555555 88555555 88555555 885555555 8855555555
	Станция		Абастумани Алма-Ата Алма-Ата Большая Елань Владиносток Владиносток Владиносток Витим Душанбе о. Диксон Душанбе о. Диксон Мруутск Игарка Феодосия Караганда Феодосия Куйбышев Куйбышев Пениград Мурманск Мурманск Мурманск Мурманск Марково Печора Петропавловск-Камчат- ский Петропавловск-Камчат- ский Свердловск Семипалатинск Оленек Оленек

на сети озонометрических станций, научно-методическое руководство которыми осуществлялось ГГО.

Средние месячные и средние годовые значения общего содержания озона по станциям СССР за период МГСС приводятся в табл. 1. Для получения этих средних данных использовалось около 300 000 отдельных наблюдений.

В табл. 1 не вошли данные станций «Северный полюс-13», Оленек, Тикси и Львов, которые были открыты в 1965 г. Из табл. 1 видно, что на большинстве озонометрических станций наблюдался сезонный ход атмосферного озона с максимумом весной и минимумом осенью. Однако на ряде станций максимум озона наблюдался зимой. В 1964 г. максимум озона был отмечен в январе в Душанбе и Караганде, в феврале в Абастумани, Алма-Ате, Владивостоке, Феодосии, Нагаево, Петропавловске-Камчатском, на о. Хейса. В 1965 г. максимум озона был отмечен в январе в Ируктстке и Нагаево, в феврале в Омске. Из перечня этих станций следует, что ранний максимум озона в основном наблюдался на станциях, расположенных на азиатской части СССР.

Минимум общего содержания озона наблюдался иногда в конце лета. В 1964 г. минимум общего содержания озона наблюдался в августе в Ашхабаде, Большой Елани, Владивостоке, Душанбе, на о. Диксон, в Иркутске, Караганде, Нагаево, Якутске, а в 1965 г. — в Абастумани, Ашхабаде, Большой Елани, Владивостоке, Душанбе, Караганде, Нагаево, Якутске. Из этого списка станций следует, что ранний минимум озона наблюдался в основном на южных станциях азиатской части СССР.

Для большей наглядности средние данные общего содержания озона были нанесены на карты и были проведены изолинии озона (рис. 1 и 2). Цифры на изолиниях показывают среднее общее содержание озона в 10⁻³ см О₃; пунктиром проведены изолинии в районах, где данных об озоне было мало или они совсем отсутствовали.

На рис. 1 показано среднее за год горизонтальное распределение озона над территорией СССР за период МГСС. Максимальное среднее общее содержание озона наблюдалось в северо-восточной Сибири и составляло в среднем 0,360 см О₃. Минимальное среднее общее содержание озона наблюдалось в Средней Азии и Закавказье и составляло 0,260 см О₃.

В западной части СССР хорошо заметен широтный ход озона с максимумом на широте около 65°. В восточной части СССР наблюдался заметный долготный ход общего содержания озона.

Лондон [7] на основании анализа средних годовых колебаний озона на станциях Тромсе, Оксфорд и Ароза пришел к выводу, что среднее отклонение озона от года к году на этих станциях составляет около 0,020 см О₃. С этой точки зрения следует считать достаточно репрезентативным характер распределения озона, представленного на рис. 1, поскольку изолинии озона отстоят друг от друга на 0,020 см О₃.

Следует отметить, что характер среднего годового горизонтального распределения озона над территорией СССР в период МГСС в общем не противоречит данным, приведенным в работе Лондона [7] для всего северного полушария. Однако, учитывая то, что для проведения изолиний озона над территорией СССР Лондон мог в то время использовать данные только шести советских станций, следует считать, что распределение озона на рис. 1 значительно полнее и достовернее представляет действительное распределение озона.

На рис. 1 хорошо заметен долготный ход общего содержания озона над территорией СССР, причем общее содержание озона увеличивается

6*









A . No. of Street, or

المعاجب والمحافظ والمحا



с запада на восток в среднем за год на 0,040 см O_3 на широте 65—80° и на 0,060 см O_3 на широте 40—45°.

Максимальное среднее за год широтное изменение озона над территорией СССР достигает 0,080 см О₃, что лишь на немного превосходит долготное изменение.

Из рис. 1 следует, что над территорией СССР на широте $60-70^{\circ}$ наблюдается пояс максимального общего содержания озона со значениями 0,340—0,360 см О₃.

Особенности годового распределения озона над территорией СССР в основном сохраняются в весенний и осенний периоды (рис. 2 и 3). На рис. 2 показано среднее распределение общего содержания озона за март 1964 и 1965 г. Максимальное значение озона снова наблюдается над восточной Сибирью и Приморьем, но оно значительно больше среднего годового значения и составляет 0,450 см О₃ и выше. Изолиния



Рис. 4. Средние за месяц значения общего содержания озона в период МГСС. 1 — Владивосток (43° с. ш., 132° в. д.), 2 — Алма-Ата (43° с. ш., 77° в. д.), 3 — Абастумани (42° с. ш., 43° в. д.).

озона 0,500 см О₃ проведена по данным всего одной станции и поэтому не может считаться достаточно достоверной.

В марте амплитуда широтного и долготного хода озона превышает по абсолютной величине средние годовые величины и достигает над территорией СССР 0,100 см О₃.

На рис. 3 показано среднее распределение общего содержания озона над территорией СССР за сентябрь 1964 и 1965 г. В это время года значения общего содержания озона минимальны, но амплитуда широтного хода значительна и вдоль меридианов 60—70° в. д. равна 0,060 см O_3 . Осенью хорошо заметен пояс повышенного содержания озона на широте 50—60°.

Однако в отличие от весеннего периода, осенью не наблюдаются максимальные значения озона в восточной Сибири и Приморье. Для характеристики сезонного хода общего содержания озона над территорией СССР в период МГСС на рис. 4 показаны средние за месяц значения общего содержания озона на станциях Владивосток, Алма-Ата и Абастумани в 1964—1965 гг. Все три станции лежат примерно на одной широте, но значительно отстоят друг от друга по долготе. На рис. 4 хорошо заметно отличие сезонного хода озона на трех станциях. Осенью, зимой и весной на ст. Владивосток озона наблюдается значительно больше, чем на станциях Алма-Ата или Абастумани.

Цели и задачи программы наблюдений в период МГСС, как известно, заключались в возможности сравнения данных МГГ и МГСС, т. е. данных, полученных в периоды максимума и минимума солнечной активности. С этой точки зрения некоторый интерес представляют данные общего содержания озона, приведенные на рис. 5. Кривая 1 на рис. 5 представляет средние месячные значения общего содержания озона в Воейково в 1958—1959 гг., т. е. в период МГГ. Кривая 2 на этом рисунке соответствует аналогичным величинам за 1964—1965 гг. Заметим, что на ст. Воейково измерения озона как в период МГГ, так и в период МГСС производились по единственному в СССР спектрофотометру Добсона. Значения озона, показанные на рис. 5, были получены только из наблюдений по прямому солнечному свету. Как видно из рис. 5, общее содержание озона летом и частично осенью 1958— 1959 гг. было в Воейково заметно больше, чем в 1964—1965 гг. К такому же выводу можно придти, сравнивая средние данные (карты) о гори-



Рис. 5. Средние за месяц значения общего содержания озона в Воейково (Ленинград). 1 — 1958—1959 гг., 2 — 1964—1965 гг.

зонтальном распределении озона над северным полушарием, включая территорию СССР, за 1958—1959 гг., полученные Лондоном [7], с данными на рис. 2 и 3. Из сравнения указанных карт горизонтального распределения озона следует, что в период МГГ над территорией СССР наблюдалось в среднем несколько больше озона, чем в период МГСС.

Однако полученный вывод ввиду явной ограниченности материала далеко не устанавливает определенную периодическую связь колебаний озона с солнечной активностью. Отмеченное выше повышение общего содержания озона в период максимума солнечной активности могло быть просто случайным, которое, возможно, наблюдается над ограниченной территорией. Дальнейшие измерения озона и их сопоставления позволят выяснить этот вопрос как в пределах территории СССР, так и в пределах всего северного полушария. Здесь уместно упомянуть работу Лондона и Гаурвитца [8], в которой они критикуют попытку Виллета [13] установить определенную связь между атмосферным озоном и солнечной активностью. Виллет, используя все опубликованные данные по озону (в основном за период 1933—1959 гг.) пришел к выводу, что в среднем для земного шара имеется тенденция колебаний общего содержания озона с периодом около 10 лет и с амплитудой порядка 0,020 см О₃. Виллет также нашел, что коэффициент корреляции между числом солнечных пятен и озоном отрицателен и равен -0,68 для запаздывания от 1 до 2 лет (год с озоном раньше года с солнеч-

ными пятнами). Однако Лондон и Гаурвитц, проанализировав данные Виллета, показали, что полученная им корреляция не имеет статистического значения в основном потому, что тогда не было достаточного количества репрезентативных данных по озону, собранных за большой промежуток времени с территории всего полушария. Предположение Виллета о том, что излучение солнцем ультрафиолетовой радиации в виде узкого пучка вызывает уменьшение общего содержания озона, по мнению Лондона и Гаурвитца, далеко не очевидно. Однако они не отрицают того, что заметные изменения солнечной радиации могут вызвать колебания озона в атмосфере. Для обнаружения таких колебаний в ультрафиолетовой области спектра они предлагают использовать искусственные спутники Земли с соответствующей аппаратурой. Здесь имеются в виду исследования постоянства солнечной ультрафиолетовой радиации, эффективной для образования озона, т. е. поглощающейся в атмосфере на высотах 30—80 км.

Специальная оптическая аппаратура, установленная на спутниках Земли, позволит также измерить вертикальное распределение озона на высотах 30—80 км, что необходимо для отыскания связи между солнечной активностью и озоном. Измерение только общего содержания озона затрудняет выявление этой связи, поскольку большая часть озона находится в слое, защищенном от озонообразующей солнечной радиации и расположенном на высотах 0-30 км. Можно добавить, что предполагаемый ультрафиолетовый механизм связи озона с солнечной активностью далеко не единственный. Можно, например, предположить, что вследствие циклических колебаний корпускулярных потоков, движущихся от солнца, в какой то мере колеблется атмосферная циркуляция. Усиление атмосферной циркуляции в стратосфере вызывает усиление турбулентности разных масштабов, что приводит [4] к увеличению переноса озона из верхней стратосферы в нижнюю и, следовательно, к увеличению общего его содержания. Заметим также, что изменение атмосферной циркуляции в принципе возможно и под действием колебаний. ультрафиолетовой солнечной радиации (если они существуют), вследствие, например, влияния этой радиации на тепловой режим мезосферы и стратосферы.

Добавим, наконец, что второй из рассмотренных здесь гипотетических механизмов связи озона с солнечной активностью соответствует тем колебаниям озона, которые показаны на рис. 5, поскольку эти колебания характеризуются увеличением озона в период максимума солнечной активности.

Программа наблюдений за озоном в периоды МГГ и МГСС имела, как известно, глобальный характер. Поэтому большое значение имеет сравнимость данных, полученных на сети озонометрических станций СССР с данными мировой сети станций. При этом следует учитывать то обстоятельство, что в СССР и за границей применялись различные озонометрические приборы: в СССР озонометр М-83, за границей спектрофотометр Добсона. С целью исследования сравнимости данных содержания озона, полученные в СССР и в других странах, были составлены табл. 2 и 3. Для составления этих таблиц на территории СССР и соседних стран были выбраны пары близко расположенных озонометрических станций. Самыми близкими парами оказались станции Мурманск—Тромсе (Норвегия) и Владивосток—Саппоро (Япония).

Расстояние по большому кругу между Мурманском и Тромсе равно около 570 км, а между Владивостоком и Саппоро — около 780 км. Для сравнения в Европе были выбраны две озонометрические станции Архус (Дания) и Эскаделемюр (Англия), расстояние между которыми равно Среднее месячное общее содержание озона (10⁻³ см О₃) по наблюдениям в Мурманске (68° 58' С, 33° 03' В), Тромсе (69° 39' С, 18° 57' В), Владивостоке (43° 07' С, 131° 54' В) и Саппоро (43° 03' С, 141° 20' В) в 1961—1963 гг. и отклонения от средних арифметических значений (в скобках дано число дней наблюдений)

Месяц	Мур- манск	Тромсе	Отклонение от среднего арифме- тического значе- ния (0/0)	Месяц	Влади- восток	Санпоро	Отклонение от среднего арифме- тического значе- ния (0/0)
	1962	r			19	62 г.	•
III IV VI VII VIII Среднее	431 (24) 379 (22) 400 (24) 338 (20) 303 (12) 286 (11) 357 (113)	421 (12) 381 (16) 366 (23) 322 (18) 282 (30) 291 (25) 343 (124)	$ \left \begin{array}{c} 1,2\\ -0,2\\ 4,4\\ 2,4\\ 3,8\\ -1,0\\ 2,0 \end{array}\right $	I II IV VV VI VII VII IX X XI XII	$\begin{array}{ccccc} 456 & (27) \\ 482 & (27) \\ 492 & (28) \\ 458 & (23) \\ 395 & (29) \\ 306 & (20) \\ 264 & (13) \\ 223 & (14) \\ 251 & (21) \\ 277 & (31) \\ 341 & (24) \\ 393 & (25) \end{array}$	429 (30) 449 (28) 455 (29) 390 (28) 389 (30) 340 (29) 312 (28) 287 (27) 290 (29) 296 (31) 322 (29) 368 (27)	$ \begin{array}{c} 3,2\\ 3,7\\ 4,0\\ 8,0\\ 0,8\\ -5,3\\ -8,3\\ -12,5\\ -7,2\\ -3,5\\ 3,0\\ 3,4 \end{array} $
IV V VII VIII	$\begin{array}{c} 430 \ (17) \\ 389 \ (15) \\ 283 \ (20) \\ 280 \ (17) \end{array}$	415 (26) 359 (29) 325 (30) 290 (31)	$ \begin{array}{c c} 1,9\\ 4,0\\ -6,9\\ -1,7 \end{array} $	Среднее	362 (282) 19	360 (345) 63 г.	0,3
I X Среднее	250 (14) 326 (83)	280 (24) 334 (140)	5,7 1,2	I II III IV	492 (27) 410 (28) 403 (31) 378 (25)	$\begin{array}{c} 452 & (31) \\ 440 & (25) \\ 439 & (29) \\ 400 & (28) \\ 201 & (20) \end{array}$	4,2 -3,5 -4,3 -2,8
	19	061 r.		V VI VII	370 (10) 304 (10) 284 (14)	391 (30) 350 (30) 332 (31)	-2,1 -7,0 -7,8
X XI XII	270 (26) 316 (24) 393 (24)	288 (30) 325 (30) 391 (31)	$-3,2 \\ -1,4 \\ 0,3$	VIII IX X XI	253 (16) 281 (25) 301 (28) 325 (23)	314 (30) 330 (29) 296 (29) 324 (28)	$\begin{array}{c c} -11,0 \\8,2 \\ 1,0 \\ 0,3 \end{array}$
Среднее	326 (74)	335 (91)	—1,5	Х11 Среднее	360 (28) 348 (271)	364 (27) 369 (347)	-0,6 -2,9

около 850 км. Все три пары озонометрических станций выбирались с таким расчетом, чтобы каждые две станции лежали примерно на одной и той же широте. Для сравнений были использованы данные по озону этих шести станций за 1961—1963 гг. (заграничные данные за 1964— 1965 гг. к моменту написания этой статьи не были еще получены в СССР). Данные СССР по озону за 1961—1962 гг. были опубликованы в 1964 г. [4], а данные за 1963—1965 гг. в [1]. Данные по станциям Тромсе, Саппоро, Архус и Эскаделемюр за 1961—1963 гг. были опубликованы в Канаде в 1964 и 1965 г. [9, 10, 11]. В этих же работах помещены данные по озону, полученные в СССР. В табл. 2 и 3 приведены средние месячные значения общего содержания озона по рассматриваемым шести станциям за 1961—1963 гг. Для сравнений выбирались только те месяцы, число дней наблюдений в которых было не меньше десяти.

Таблица З

Среднее месячное общее содержание озона (10-3 см О₃) по наблюдениям в Архусе (56° 08' С, 10° 2' В) и Эскаделемюре (55° 19' С, 03° 12' В) в 1961—1963 гг. и отклонения от средних арифметических значений

			the second se		
Месяц	Архус	Эскаделемюр	Отклонения (%) от среднего арифмети- ческого значения пары станций		
	· .	1961 г.			
II III IV V VI VII VIII IX X	384 (21) 390 (22) 395 (28) 412 (30) 379 (29) 375 (27) 349 (31) 303 (28) 306 (28) 366 (244)	362 (17) 353 (24) 396 (27) 365 (21) 356 (22) 343 (16) 319 (21) 305 (15) 296 (11) 344 (174)	$3,0 \\ 5,0 \\ -0,1 \\ 6,0 \\ 3,1 \\ 2,7 \\ 4,5 \\ -0,3 \\ 1,7 \\ 3,1$		
Среднее	300 (244)	344 (174)	3,1		
	•	1962 г.	•		
III IV VII X XI	444 (24) 413 (22) 377 (29) 297 (17) 302 (19)	405 (20) 388 (15) 340 (13) 265 (10) 263 (14)	4,6 3,1 5,2 5,7 6,9		
Среднее	366 (111)	332 (73)	4,9		
. !		1963 г.			
V VI VII VIII	429 (27) 400 (28) 365 (31) 353 (28)	426 (20) 391 (25) 376 (27) 365 (16)	$0,4 \\ 1,1 \\ -1,5 \\ -1,7 \\ 0$		
Спелнее	387 (114)	1 390 (88)	0 4		

(в скобках дано число дней наблюдений)

Из средних месячных (годовых) значений озона для рассматриваемой пары станций вычислялось отклонение от среднего арифметического значения (в процентах).

Отклонения, полученные за сравнительно большие периоды времени, могут характеризовать сравнимость данных близлежащих станций или качество градуировки озонометрических приборов на этих станциях. Это положение будет в основном тем вернее, чем больше период времени, выбранный для сравнения (для года оно более верно, чем для месяца). Объясняется это тем, что различия в характере атмосферной циркуляции над рассматриваемыми близлежащими станциями тем меньше, чем больше период сравнений.

Струйные течения, циклоны и антициклоны, влияющие на горизонтальное распределение озона, в каждом отдельном случае могут вызывать заметные различия в содержании озона на близлежащих станциях, но в среднем за год различие может быть небольшим.

Как видно из табл. 2, отклонение от среднего арифметического значения для станций Мурманск-Тромсе за ряд месяцев 1962 г., в каждом из которых число дней наблюдений превышало 10, было равно 2,0%, а за ряд месяцев 1963 г. составляло — 1,2%.

Для пары станций Владивосток—Саппоро это отклонение в 1961 г. было равно —1,5%, в 1962 г. 0,3%, в 1963 г. —2,9%.

Соответствующие отклонения для станций Архус — Эскаделемюр (табл. 3) были равны в 1961 г. —3,1%, в 1962 г. —4,9%, в 1963 г. —0,4%. Это означает, что отклонение средних значений озона для близлежащих заграничных станций имели в 1961—1963 гг. такую же величину, что и для близлежащих станций СССР и Норвегии, СССР и Японии.

Кроме того, табл. 2 и 3 указывают, что озонометры М-83, применяемые в СССР для измерений озона, позволяют получить значения озона, сравнимые со значениями озона, получаемыми по более сложному и дорогостоящему спектрофотометру Добсона. Такой же вывод получен в [5] при сравнении озонометров М-83 и спектрофотометра Добсона во время международных сравнений озонометрических приборов СССР и ГДР в Ташкенте в 1963 г.

Из изложенного выше можно сделать следующие основные выводы.

1. На средних картах изолиний атмосферного озона, построенных за период МГСС (1964—1965 гг.) по данным 32 озонометрических станций СССР, максимум общего содержания озона располагается в северо-восточной части Сибири (0,360 см О₃), а минимум — в Средней Азии и Закавказье (0,260 см O₃). Между 55—65° с. ш. над европейской частью СССР отмечается пояс повышенного содержания озона (0,340 см О₃).

2. Среднее горизонтальное распределение озона над территорией СССР в марте 1964 и 1965 гг. характеризуется максимумом общего содержания озона в Восточной Сибири (0,450—0,500 см О₃) и минимумом в Средней Азии и Закавказье (0,300 см O₃).

3. Среднее горизонтальное распределение озона над территорией СССР в сентябре 1964 и 1965 гг. характеризуется поясом повышенного содержания озона между 50—65° с. ш. (0,250—0,280 см О₃).

4. В период максимума солнечной активности (1958-1959 гг.) над Ленинградом летом и осенью (за исключением ноября) наблюдалось больше озона (на 0,020-0,070 см O₃), чем в период минимума солнечной активности (1964—1965 гг.).

5. Средние значения общего содержания озона, измеренные на близлежащих станциях СССР и Норвегии (Мурманск и Тромсе), а также СССР и Японии (Владивосток и Саппоро) в 1961-1963 гг., отличаются незначительно друг от друга. Эти отличия не превышают отклонений среднего общего содержания озона, измеренного на близлежащих станциях Архус (Дания) и Эскаделемюр (Англия).

ЛИТЕРАТУРА

1. Атмосферный озон. Материалы III Междуведомственного совещания по атмосфер-ному озону 21—23 мая 1963 г. Под ред. Г. П. Гущина. Гидрометеоиздат, Л., 1965.

2. Гущин Г. П. Исследование атмосферного озона. Гидрометеоиздат Л., 1963. 3. Гущин Г. П. Озонометр. Авт. свид. № 160 877. Бюлл. изобр. № 5, 1964. 4. Гущин Г. П. Озон и аэросиноптические условия в атмосфере. Гидрометеоиздат, Л., 1964.

5. Гущин Г. П. Международные сравнения озонометрических приборов СССР и ГДР в Ташкенте. Труды ГГО, вып. 184, 1966.

- 6. Данные по химическому составу атмосферных осадков и общему содержанию озона в атмосфере в различных пунктах СССР. (материалы МГГ и МГС за 1957— 1959 гг.). Под ред. Е. С. Селезневой и Г. П. Гущина. Гидрометеоиздат. Л., 1961.
- Zondon J. The distribution of total ozone in the Northern Hemisphere. Beiträge zur Physik der Atmosphäre, 36, ³/₄, 1963.
 London J., Haurwitz M. W. Ozone and sunspots. J. Geophys. Res., v. 68, No., 3
- 1963.
- 9. Ozone data for the world 1961. Toronto, 1965. 10. Ozone data for the world 1962. Toronto, 1965. 11. Ozone data for the world 1963. Toronto, 1964.

- Ozone data for the world January—February 1965, v. 6, No. 1, Toronto, 1965.
 Willett H. C. The relationship of total atmospheric ozone to the sunspot cycle. J. Geophys. Res., v. 67, 1962.

К. И. ЛИСОВСКАЯ

К ВОПРОСУ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ОБЩЕГО СОДЕРЖАНИЯ ОЗОНА ПО ЗЕНИТУ НЕБА НА ОЗОНОМЕТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЯХ СССР

На озонометрических станциях СССР измерения общего содержания озона проводятся с помощью универсального озонометра [1] по прямому свету солнца, луны и зениту ясного и облачного неба. В озонометрической группе ГГО был предложен метод определения озона по измерению света от зенита неба [2]. Основой его явился метод определения озона по зенитным наблюдениям с помощью спектрофотометра Добсона, разработанный Добсоном и Норманом [3].

Начиная с 1963 г. озонометрические станции СССР приступили к градуировке зенитной установки универсальных озонометров, а с начала МГСС (1964 г.) проводятся регулярные наблюдения озона по зениту ясного и облачного неба. Результаты этих наблюдений наряду с данными озона по прямому солнечному свету периодически публикуются, а также включаются в международный обмен и, следовательно, могут использоваться в работах советских и зарубежных исследователей. Поэтому знание точности, с которой проводятся такие измерения озона, необходимо.

Наблюдения, проведенные на сети озонометрических станций СССР за период МГСС (1964—1965 гг.), позволяют сделать оценку точности измерений озона по зениту неба по сравнению с измерениями по солнцу. Сделать это можно по достаточно длинному ряду совместных наблюдений по солнцу и зениту. Поэтому для исследования выбирались данные таких станций, где имелось достаточное количество дней за период 1964—1965 гг. с наблюдениями озона по солнцу и зениту неба. Наиболее полными, т. е. с минимальным разрывом наблюдений в течение года и с достаточным числом облачных дней, когда возможно было проводить наблюдения по солнцу и зениту, оказались данные станций Рига, Свердловск, Куйбышев.

При этом по ст. Рига удалось составить ряд из пар единичных измерений озона по солнцу и зениту, отстоящих друг от друга не более чем на 5 мин., за это время общее содержание озона в атмосфере практически не изменяется. По станциям Свердловск и Куйбышев таких парных наблюдений набрать не удалось, поэтому ряды составлялись из средних дневных значений озона, измеренных по солнцу и зениту за данный день. При этом наблюдения по солнцу и зениту могли следовать друг за другом или перемежаться между собой, максимальный интервал между крайними измерениями по солнцу и зениту составлял 7 час. Так же как и в процессе градуировки [2], здесь предполагается, что за это время содержание озона остается неизменным.

Ряды парных наблюдений по всем станциям составлялись для наблюдений: по зениту ясного неба и по зениту неба, покрытого облаками верхнего, среднего и нижнего яруса (для краткости высокая, средняя и низкая облачность).

Для оценки точности наблюдений по зениту для каждой пары измерений озона по солнцу и зениту вычислялось относительное отклонение значения озона x_3 , измеренного по зениту неба, от значения озона x_c , измеренного по солнцу, т. е. величина

$$\delta = \frac{x_{\rm a} - x_{\rm c}}{x_{\rm c}} 100 \ 0/_{\rm 0}.$$

Будем в дальнейшем для простоты величину δ называть отклонением. Затем для каждого вида наблюдений вычислялась повторяемость в процентах от общего числа парных наблюдений N каждого ряда величины δ через 5% до максимально наблюдаемой величины δ . Результаты вычислений представлены в табл. 1. В нижней строке таблицы указано число N.

Таблица 1

				(Состоя	яние н	еба в	зени	ге			
Отклонение б	ясно	высокая облачность	средняя облачность	низкая облачность	ЯСНО	высокая облачность	средняя облачность	низкая облачиость	ясно	высокая облачность	средняя облачность	низкая облачность
		Ри	ra			Сверд	іловск			Куйбь	ишев	
Более 20 % от 20 % до 15 % 15 % л 10 % 5 % л 10 % 5 % л 0 % 0 % л 5 % 0 % л 0 % 10 % л 5 % 0 % л 0 % 10 % л -5 % 10 % л -10 % 10 % л -15 % 10 % л -20 % Более -20 %	3,9 7,1 12,3 20,6 30,3 15,5 8,4 1,3 0,6 0	2,5 8,5 12,0 12,0 25,0 15,5 17,0 7,0 0,5	7,9 10,6 10,6 14,2 6,2 12,4 15,0 7,9 8,8 6,2	$\begin{array}{c} 6,7\\7,7\\4,3\\9,2\\13,9\\14,9\\12,0\\12,0\\11,1\\8,2\\\end{array}$	8,2 2,0 12,2 16,3 16,3 14,3 18,3 2,0 6,1 8,2	7,4 6,6 12,4 18,2 19,0 12,4 18,2 0,8 3,3 1,7	14,8 10,9 13,9 9,9 17,8 15,8 10,9 2,0 2,0 2,0	$10,9 \\ 13,1 \\ 13,7 \\ 20,6 \\ 18,9 \\ 12,6 \\ 5,7 \\ 3,8 \\ 0,6 \\ 0,6 \\ 175$	9,7 6,4 25,8 25,8 19,5 6,4 0 0	$\begin{array}{c} 4,0\\0\\20,0\\8,0\\20,0\\4,0\\20,0\\16,0\\0\\8,0\end{array}$	9,6 6,8 9,6 16,5 13,7 17,8 13,7 4,2 6,9 1,4	6,3 7,2 9,9 19,8 12,5 19,8 13,5 2,7 5,4 2,7
N	155	200	133	208	49	121	101	175	31	25	73	111

Как видно из таблицы, наибольшую повторяемость имеют отклонения в пределах от 0 до $\pm 10\%$, далее повторяемость уменьшается и только незначительная часть наблюдений по зениту имеет отклонение более $\pm 20\%$. Однако симметричность повторяемости отклонений относительно 0% нарушается: положительные отклонения наблюдаются чаще отрицательных. Анализ материалов градуировки и наблюдений показал, что этот факт, вероятно, может быть объяснен тем, что при градуировке установок при наблюдениях по зениту на станциях, если даже она проводится в течение нескольких (до года) месяцев, больший вес имеют дни с ярко выраженной облачностью данного вида, дальностью видимости не менее 10 км, хорошей прозрачностью атмосферы. При регулярных измерениях озона по зениту неба наблюдается

95:

Повторяемость (%) относительных отклонений б

большее разнообразие погодных условий. Причем ухудшение видимости, увеличение толщины облачности приводят к завышению измеряемого содержания озона по зениту неба. Этим также можно объяснить большую повторяемость отклонений, превышающих +20%, по сравнению с отклонениями, превышающими —20%.

Из таблицы также видно, что изменение повторяемости отклонений по градациям мало зависит от того, сравниваются ли величины озона, измеренные в отдельные сроки, или средние дневные значения озона, измеренные по солнцу и зениту неба.



Рис. 1. Средние месячные значения озона по наблюдениям по солнцу (1) и по зениту неба (2) за период 1964—1965 гг. *а* — Рига, *б* — Свердловск, *в* — Куйбышев.

Из-за недостаточности материала не удалось проанализировать изменение отклонений по сезонам. Вместо этого проведено сравнение средних месячных значений озона, измеренных по солнцу и зениту за период 1964—1965 гг. (рис. 1). В этом случае среднее месячное значение озона вычислялось по всем видам наблюдений по зениту. При анализе рис. 1 следует учитывать, по какому числу дней наблюдений вычисляются средние месячные значения озона, так как зимой и особенно весной наблюдается большая изменчивость озона ото дня ко дню и поэтому разница в числе дней наблюдений по солнцу и зениту может сказаться на величине средних месячных значений.

Наибольшая часть средних месячных значений, по которым построен рис. 1, вычислена по достаточному числу дней наблюдений. Оговорим только несколько случаев. На ст. Куйбышев в апреле 1964 г. наблюдения по солнцу проводились 20 дней, по зениту 10 дней, в ноябре 1964 г. — 3 и 14 дней в апреле 1965 г. — 23 и 8 дней и в декабре 1965 г. — 2 и 12 дней соответственно. На ст. Рига в декабре 1964 г. наблюдения вообще не проводились, а в январе 1965 г. наблюдения по солнцу проводились 3 дня, по зениту 10 дней.

Как видно из рис. 1, наибольшие расхождения средних месячных значений озона, измеренных по солнцу и зениту, наблюдаются в Риге с января по апрель, а в Куйбышеве — весной и осенью, причем в указанные периоды наблюдения по зениту дают завышенные по сравнению с наблюдениями по солнцу значения озона.

Как уже отмечалось, ухудшение метеорологических условий, особенно зимой, ранней весной и осенью, когда чаще, чем летом, в течение нескольких дней может наблюдаться сплошная облачность с прерывающимися осадками, может быть причиной такого завышения содержания озона, измеряемого по зениту.

На ст. Свердловск, как видно из табл. 1 и рис. 1, в течение всего периода 1964—1965 гг. независимо от сезона отмечается завышение значений озона, измеренных по зениту, причем завышение достаточно равномерное в течение обоих лет, но в 1965 г. более значительное.

В заключение можно отметить следующее.

Проведенная оценка точности измерения общего содержания озона по зениту неба показала, что в 75% случаев зенитных наблюдений точность их по сравнению с наблюдениями по солнцу колеблется от 0 до ± 15 %, а максимальные отклонения составляют ± 25 %. При использовании данных, полученных по зениту, в исследованиях этот факт должен учитываться. Следует также отметить, что каких-либо оценок точности измерений озона по зениту на зарубежных станциях в литературе нет, а анализ публикуемых данных озона по ним показывает, что точность наблюдений по зениту озона также намного ниже точности наблюдений по солнцу.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гущин Г. П. Исследование атмосферного озона. Гидрометеоиздат, 1963.

 Ромашкина К. И. Методика градуировки зенитной и лунной установок универсального озонометра. Сб. «Атмосферный озон». Гидрометеоиздат, Л., 1965.
 Dobson G. M. B. and Normand C. Determination of constant used in the cal-

3. Dobson G. M. B. and Normand C. Determination of constant used in the calculation of the amount of ozone from spectrophotometer measurements and an analysis of the accuracy of the results. Annals of the IGY. Pergamon Press, 1958.

Т. Н. АРХИПОВА

ОЦЕНКА СЛУЧАЙНЫХ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗМЕРЕНИЯ ОБЩЕГО СОДЕРЖАНИЯ ОЗОНА УНИВЕРСАЛЬНЫМ (М-83) И САМОЛЕТНЫМ ОЗОНОМЕТРАМИ

1. Введение

В настоящей работе оцениваются величины случайных ногрешностей отдельного измерения общего содержания озона универсальным (M-83) и самолетным озонометрами [1, 2, 3]. Эти озонометры получили широкое распространение на сети озонометрических станций СССР.

В литературе не освещен вопрос о случайных погрешностях отдельных измерений общего содержания озона универсальным озонометром (УО) по зениту ясного и облачного неба, а также о сравнении их с погрешностями измерений универсальным и самолетным (СО) озонометрами по прямому солнечному свету. В марте-октябре 1965 г. на полевой экспериментальной базе ГГО в Воейково было проведено 30 серий измерений общего содержания озона УО и СО по прямому солнечному свету, а также по ясному и облачному зениту неба. Каждая серия содержит 15-20 отсчетов, производившихся через 1-2 мин. по прямому солнечному свету, по зениту ясного неба, по верхней, средней и нижней облачности в зените. Эти серии измерений проводились утром или во второй половине дня при меняющейся высоте солнца и в полдень при постоянной высоте солнца. 24 серии измерений по прямому солнечному свету, по зениту ясного и облачного неба были проделаны с помощью двух универсальных озонометров: УО № 5, изготовленного в мастерских ГГО, и УО № 24-Р, изготовленного Рижским опытным заводом гидрометприборов. Измерения проведены так, что на каждый вид измерений по прямому солнечному свету, по зениту ясного неба, по верхней, средней и нижней облачности для УО № 5 и УО № 24-Р приходится в основном по 3 серии. Исключение представляют серии измерений по зениту при средней облачности, которая наблюдалась только в двух случаях в течение 30-40 мин. для каждого из этих приборов. Кроме того, в работе использованы шесть серий измерений, выполненных в ЛГМИ Ван Гэнь-чэнем по прямому солнечному свету для УО № 23-Р и СО № 5.

Все измерения озона производились точно так же, как производятся регулярные наблюдения на сети озонометрических станций СССР.

Главным условием, обеспечивающим правильную оценку точности отдельных измерений, является предположение, что величина общего содержания озона существенно не изменяется в течение часа. Это предположение подтверждается многолетним опытом сетевых наблюдений за общим содержанием атмосферного озона [2]. Продолжительность же каждой серии измерений не превыщала 40 мин.

2. Обработка серий измерений

Как уже говорилось выше, для каждой серии было проведено по 15—20 отдельных измерений одинакового типа.

Для определения общего содержания озона серии измерений по прямому солнечному свету обрабатывались согласно Методическим указаниям по производству и обработке наблюдений за общим содержанием атмосферного озона [3].

Серии измерений по зениту ясного и облачного неба первоначально обрабатывались, так же как и по прямому солнечному свету, т. е. отношение отсчетов $\frac{I_1}{I_2}$ по двум светофильтрам умножалось на коэффициент градуировки прибора $K_{\rm T}$, зависящий от температуры. Затем полученное произведение $\frac{I_1}{I_2}$ $K_{\rm T}$ умножалось на K_3 — коэффициент градуировки по зениту ясного и облачного неба, по верхней, средней или нижней облачности соответственно виду измерений в зависимости от высоты солнца. Общее содержание озона по ясному и облачному зениту неба определялось, так же как и по прямому солнечному свету, по специальной номограмме, рассчитанной по формуле Бугера для прямого солнечного света с учетом спектральной чувствительности прибора [4].

Полученное в результате такой обработки общее содержание озона x представлено в таблицах 1, 2, 3, 4 и 5, которые приводятся в качестве примера по сериям для каждого вида измерений: по прямому солнечному свету, по ясному зениту, по верхней, средней и нижней облачности. Здесь же подсчитано среднее значение общего содержания озона в атмосфере. Кроме того, каждая таблица содержит вычисленные величины средней квадратической о, средней абсолютной η и средней относительной δ погрешностей.

Для вычисления случайных погрешностей отдельных измерений общего содержания озона были использованы обычные формулы (5).

Средняя квадратическая погрешность отдельного измерения определялась по следующей формуле:

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{\sum (x_i - \overline{x})^2}{n-1}},$$

где x_i — результат отдельного измерения, \overline{x} — среднее арифметическое значение, n — число случаев.

Кроме этого параметра точности, были вычислены еще средняя абсолютная погрешность отдельного измерения общего содержания озона

$$\eta = \pm \frac{\sum |x_i - \overline{x}|^2}{n}$$

и средняя относительная погрешность отдельного измерения

$$\delta = \pm \frac{\eta}{x} 100 \, \mathrm{o}/_{\mathrm{o}}.$$

99

7*

Таблица 1

Таблица 2

Таблица 4

14 Х 1965 г. По прямому солнечному свету УО № 24-Р

22 VI 1965 г. Ясный зенит УО № 24-Р

					-					
№ п/1	Время москов- ское (час., мин.)	Высота солнца (град.)	<i>х</i> см О ₃	(<i>x</i> — <i>x</i>) см О ₃	1	№ п/п	Время москов- ское (час., мин.)	Высота солнца (град.)	<i>х</i> см О ₃	(<i>x</i> x) см О ₃
$ \begin{array}{c} 1\\2\\3\\3\\4\\5\\6\\6\\7\\7\\8\\8\\9\\1\\1\\1\\1\\1\\1\\1\\1\\1\\1\\1\\1\\1\\1\\1\\1\\1$	$\begin{array}{c} 11 & 08 \\ 11 & 10 \\ 11 & 12 \\ 11 & 14 \\ 11 & 16 \\ 11 & 18 \\ 11 & 20 \\ 11 & 22 \\ 11 & 24 \\ 11 & 26 \\ 11 & 28 \\ 11 & 30 \\ 11 & 32 \\ 11 & 34 \\ 11 & 36 \\ 5 & 11 & 38 \\ 11 & 40 \\ 3 & 11 & 42 \\ 11 & 44 \\ 11 & 46 \\ \end{array}$	19,4 $19,5$ $19,6$ $19,7$ $19,8$ $19,9$ $20,0$ $20,1$ $20,2$ $20,3$ $20,4$ $20,5$ $20,6$ $20,7$ $20,8$ $20,9$ $21,0$ $21,0$	$\begin{matrix} 0,191\\ 0,180\\ 0,175\\ 0,180\\ 0,177\\ 0,191\\ 0,188\\ 0,198\\ 0,198\\ 0,193\\ 0,185\\ 0,188\\ 0,193\\ 0,185\\ 0,188\\ 0,180\\ 0,188\\ 0,180\\ 0,182\\ 0,180\\ 0,182\\ 0,180\\ 0,177\\ 0,17\\ 0,177\\$			$\begin{array}{c}1\\2\\3\\4\\5\\6\\7\\8\\9\\10\\11\\12\\13\\14\\15\\16\\17\\18\\19\\20\end{array}$	$\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{r} 43,2\\ 43,4\\ 43,6\\ 43,8\\ 44,0\\ 44,2\\ 44,4\\ 44,6\\ 44,9\\ 45,2\\ 45,4\\ 45,7\\ 45,8\\ 46,0\\ 46,2\\ 46,4\\ 46,6\\ 46,8\\ 47,0\\ \end{array}$	0,292 0,295 0,282 0,288 0,288 0,286 0,276 0,270 0,280 0,281 0,280 0,270 0,279 0,280 0,279 0,280 0,279 0,280 0,279 0,280 0,279 0,280 0,279 0,280 0,279 0,280 0,290 0	$\begin{array}{c} 0,004\\ 0,007\\ -0,006\\ 0,020\\ 0,010\\ -0,001\\ -0,002\\ -0,002\\ -0,002\\ -0,002\\ -0,010\\ -0,008\\ -0,007\\ 0,000\\ -0,012\\ -0,009\\ -0,008\\ 0,008\\ -0,005\\ 0,000\\ 0,015\\ 0,002\\ \end{array}$
	Ср	еднее	0,185	0,006			Ср	еднее	10,288	0,007
$\sigma =$	=0.007 см Оз;	$\eta = 0.00$	6 см Оз	; δ=3,2 °/	0	σ===	0,09 см О ₃ ;	$\eta = 0,007$	см Оз	; d=2,4%/0

Таблица З

1	2	V	1965 г.	Верхняя	облачность
O	N	6 5	1		

№ п/п	Время москов- ское (час., мин.)	Высота солнца (град.)	хсм О ₃	(<i>x</i> — x) см О ₃
$\begin{array}{c}1\\2\\3\\4\\5\\6\\7\\8\\9\\10\\11\\12\\13\\14\\15\\16\\17\\18\\19\\20\end{array}$	$\begin{array}{c} 11 & 22 \\ 11 & 24 \\ 11 & 26 \\ 11 & 28 \\ 11 & 30 \\ 11 & 32 \\ 11 & 34 \\ 11 & 36 \\ 11 & 38 \\ 11 & 36 \\ 11 & 38 \\ 11 & 40 \\ 11 & 42 \\ 11 & 44 \\ 11 & 46 \\ 11 & 48 \\ 11 & 50 \\ 11 & 52 \\ 11 & 54 \\ 11 & 56 \\ 11 & 58 \\ 12 & 00 \\ \end{array}$	$\begin{array}{c} 49,7\\ 49,8\\ 49,9\\ 50,0\\ 50,2\\ 50,3\\ 50,4\\ 50,5\\ 50,7\\ 50,8\\ 50,9\\ 51,0\\ 51,1\\ 51,2\\ 51,3\\ 51,4\\ 51,5\\ 51,6\\ 51,8\\ 51,9\\ \end{array}$	0,212 0,213 0,226 0,228 0,227 0,223 0,235 0,218 0,228 0,226 0,214 0,229 0,220 0,221 0,223 0,223 0,223 0,223 0,220 0,223 0,223 0,223 0,220 0,223 0,223 0,220 0,223 0,223 0,223 0,224 0,225 0,224 0,225 0,225 0,225 0,226 0,227 0,228 0,288 0,289 0,289 0,280 0,290 0	$\begin{array}{c} -0,013\\ -0,012\\ 0,001\\ -0,007\\ 0,002\\ -0,002\\ 0,010\\ -0,007\\ 0,008\\ 0,001\\ -0,011\\ 0,004\\ -0,005\\ 0,002\\ 0,023\\ -0,002\\ 0,003\\ -0,003\\ 0,003\\ 0,003\\ 0,003\\ 0,003\\ 0,003\end{array}$
	Ср	еднее	J 0,225	0,006

$$\sigma = 0,008$$
 см O₃; $\eta = 0,006$ см O₃; $\delta = 2,70/0$

17 VI 1965 г. Средняя облачность УО № 5

№ п/п	Время москов- ское (час., мин.)	Высота солнца (град.)	<i>х</i> см О ₃	(<i>x—</i> x́) см О ₃						
$\begin{array}{c}1\\2\\3\\4\\5\\6\\7\\8\\9\\10\\11\\12\\13\\14\\15\\16\\17\\18\\19\\20\end{array}$	$\begin{array}{c} 11 \ 00 \\ 11 \ 02 \\ 11 \ 04 \\ 11 \ 06 \\ 11 \ 08 \\ 11 \ 10 \\ 11 \ 12 \\ 11 \ 14 \\ 11 \ 16 \\ 11 \ 12 \\ 11 \ 14 \\ 11 \ 16 \\ 11 \ 18 \\ 11 \ 20 \\ 11 \ 22 \\ 11 \ 24 \\ 11 \ 26 \\ 11 \ 32 \\ 11 \ 30 \\ 11 \ 32 \\ 11 \ 34 \\ 11 \ 36 \\ 11 \ 38 \end{array}$	$\begin{array}{r} 48,1\\ 48,2\\ 48,4\\ 48,6\\ 48,8\\ 48,9\\ 49,0\\ 49,2\\ 49,3\\ 49,7\\ 49,3\\ 50,0\\ 50,1\\ 50,2\\ 50,3\\ 50,4\\ 50,6\\ 50,8\\ 50,9\end{array}$	$\begin{array}{c} 0,307\\ 0,303\\ 0,300\\ 0,285\\ 0,277\\ 0,274\\ 0,288\\ 0,273\\ 0,288\\ 0,273\\ 0,281\\ 0,273\\ 0,267\\ 0,277\\ 0,270\\ 0,281\\ 0,282\\ 0,282\\ 0,282\\ 0,281\\ 0,243\\ \end{array}$	$\begin{array}{c} 0,029\\ 0,025\\ 0,022\\ 0,007\\ -0,001\\ -0,004\\ 0,010\\ -0,005\\ 0,010\\ -0,003\\ -0,005\\ -0,011\\ -0,003\\ -0,005\\ -0,011\\ -0,003\\ -0,003\\ -0,010\\ 0,004\\ 0,010\\ -0,027\\ -0,035\\ \end{array}$						
	Среднее 0,278 0,012									

σ=0,016 см О3; η=0,012 см О3; δ=4,30/0

Таблица 5

	•			УО №	24-P			· · · ·	ang
№ п/п	Время москов- ское (час., мин.)	Высота солнца (град.)	<i>х</i> см О ₃	(<i>x</i> — x) см О ₃	№ п/п	Время москов- ское (час., мин.)	Высота солнца (град.)	<i>х</i> см О ₃	$(x-\overline{x})$ c O ₃
$ \begin{array}{c} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \\ 7 \\ 8 \\ 9 \\ 10 \\ \end{array} $	9 28 9 30 9 32 9 34 9 36 9 38 9 40 9 42 9 44 9 46	38,3 38,5 38,7 39,0 39,3 39,6 39,8 40,0 40,2 40,4	0,364 0,308 0,275 0,295 0,309 0,329 0,301 0,273 0,280 0,324	$\begin{array}{c} 0,055\\ -0,001\\ -0,034\\ -0,014\\ 0,000\\ 0,020\\ -0,008\\ -0,036\\ -0,029\\ 0,015\end{array}$	$11 \\ 12 \\ 13 \\ 14 \\ 15 \\ 16 \\ 17 \\ 18 \\ 19 \\ 20$	9 48 9 50 9 52 9 54 9 56 9 58 10 00 10 02 10 04 10 06	40,7 40,9 41,0 41,3 41,5 41,8 42,0 42,2 42,2 42,4 42,6 eguee	0,324 0,316 0,326 0,300 0,297 0,300 0,318 0,323 0,298 0,313 0,309	$\begin{array}{c} 0,015\\ 0,007\\ 0,017\\ -0,009\\ -0,012\\ -0,009\\ 0,014\\ -0,011\\ 0,004\\ 0,016\end{array}$
		· · ·			<u>.</u> .				

21 VI 1965 г. Нижняя облачность

σ=0,021 см О₃; η=0,016 см О₃; δ=5,2%

3. Результаты определения погрешностей отдельного измерения общего содержания озона

Проделанная работа позволяет убедиться в том, что случайные погрещности при измерениях озона по зениту неба не намного отличаются от аналогичных погрешностей при измерении по прямому солнечному свету.

Из рассмотрения средней квадратической, средней абсолютной и средней относительной погрешностей отдельного измерения общего содержания озона по всем четырем озонометрам для разных видов измерений (табл. 6—10) видно постепенное увеличение этих погрешностей,

Т	а	б	л	И	Ц	а	5	6

Случайные ошибки измерений общего содержания озона по прямому солнечному свету. 1965 г.

Название и № прибора	Дата	n	<i>х</i> см О ₃	σ см О ₃	η см О ₃	δ 0/0
УО № 23-Р	15 IV 11 III 13 IV	20 15 15	0,367 0,381 0,345	0,014 0,006 0,004	0,011 0,005 0,004	3,1 1,4* 1,1*
УО № 24-Р	14 X утро 14 X пол-	20 15	0,185 0,206	0,007 0,010	0,006 0,008	3,2 3,7*
	19 X	19	0,276	0,010	0,009	3,3
CO № 5	15 IV 11 III 13 IV	20 15 15	0,358 0,358 0,364	0,004 0,002 0,002	0,003 0,002 0,002	0,7 0,5* 0,5*
Среднее	.	• • • • •		0,007	0,005	1,9
				1		

Примечание. В этой табл. и табл. 7, 8, 10 звездочка (*) означает, что наблюдения производились в полдень.

Название и № прибора	Дата	n	<i>х</i> см О ₃	σ см О ₃	η см O ₃	δ º/o
УО № 5	5 VI	20	0,332	0,015	0,013	3,9
	8 VI	20	0,295	0,010	0,008	2,7
	25 V	20	0,314	0,009	0,006	1,9*
УО № 24-Р	22 VI	20	0,288	0,009	0,007	2,4
	12 VII	19	0,294	0,009	0,007	2,4
	13 VII	20	0,307	0,005	0,012	3,9
Среднее	• • • • • •	••••	••••	0,010	0,009	2,9

Таблица 8

Таблица

7

Случайные погрешности измерений общего содержания озона по верхней облачности

Название и № прибора	Дата	n	<i>х</i> см О ₃	с см О ₃	η см O ₃	δº/o
УО № 5	12 VI	20	0,225	0,008	0,006	2,7
	16 VI	20	0,325	0,026	0,016	4,9
	27 V	20	0,318	0,010	0,007	2,2*
УО № 24-Р	18 VI	19	0,250	0,022	0,017	6,8
	21 VI	15	0,182	0,016	0,010	5,5
Среднее	•••••	• • • • • •	• • • • • •	0,016	0,011	4,4

Таблица 9

Случайные погрешности измерений общего содержания озона по средней облачности в зените

Название и № прибора	Дата	n	<i>х</i> см О ₃	σ см О ₃	η см О ₃	δ º/o
УО № 5	17 VI 9 VII	20 15	0,278 0,267	0,016 0,015	0,012 0,012	4,3 4,5
УО № 24-Р	9 VII 9 VII	$\begin{array}{c} 15\\ 20 \end{array}$	$\substack{\textbf{0,313}\\\textbf{0,324}}$	0,015 0,030	0,011 0,022	3,5 6,8
Среднее	•••••	• • • • •	•••••	0,019	0,014	4,8

Таблица 10

Случайные погрешности измерений общего содержания озона по нижней облачности в зените

Название и № прибора	Дата	n	<i>х</i> см О ₃	σ см О ₃	η см О ₃	δ º/o
УО № 5	31 V	20	0,374	0,008	0,006	1,6
	9 VI	20	0,358	0,027	0,022	6,2
	31 V	20	0,392	0,013	0,009	2,3*
УО № 24-Р	21 VI	20	0,309	0,021	0,016	5,2
	6 VII	20	0,321	0,088	0,021	6,6
	25 VI	15	0,262	0,026	0,020	7,6
Среднее			• • • • • •	0,030	0,016	4,9

начиная с погрешностей при измерении общего содержания озона по грямому солнечному свету и кончая погрешностями отдельного измезения общего содержания озона по нижней облачности. Средние велиины погрешностей отдельного измерения общего содержания озона /ниверсальным и самолетным озонометрами по прямому солнечному звету равны: средняя квадратическая погрешность 0,007 см O₃, средияя абсолютная погрешность 0,005 см О₃ и средняя относительная югрешность 1,9% (табл. 6). При измерении по ясному зениту средние зеличины погрешностей возрастают приблизительно в 2 раза по сравнению с погрешностями при измерениях по прямому солнечному свету. Средняя квадратическая погрешность равна 0,010 см O₃, средняя абсолютная погрешность 0,009 см O₃ и средняя относительная 2,9% (табл. 7). Из таблиц 8, 9 и 10 видно, что средние величины погрешнотей отдельных измерений по зениту облачного неба довольно близки. Например, средняя относительная погрешность отдельного измерения ющего содержания озона по верхней облачности равна 4,4%, по средней облачности 4,8% и по нижней облачности 4,9%. Для серий измеэений, проведенных в наилучших условиях, т. е. при мало меняющейся юлачности за время наблюдений, величины погрешностей наименьшие. Гак, например, при наблюдении УО № 5 (табл. 8) по верхней облачюсти в зените, представлявшей 12 июня однородную массу, величина редней относительной погрешности составляла 2,7%. При быстро меіяющейся нижней облачности (табл. 10) величины средней квадратиеской, средней абсолютной и средней относительной погрешностей озрастают. Наибольшие величины средней квадратической (0,088 см О₃), редней абсолютной (0,021 см O₃) и средней относительной (7,6%) порешностей получены 6 июля и 25 июня 1965 г. для УО № 24-Р табл. 10). В последнем случае толщина облачности нижнего яруса ыла настолько неустойчивой, что пришлось ограничиться в этой серии олько 15 отсчетами.

Средняя квадратическая, средняя абсолютная и средняя относиельная погрешности, вычисленные для самолетного озонометра № 5, казались очень малыми при мало меняющейся и сравнительно быстро иеняющейся высоте солнца (табл. 6).

Средняя относительная погрешность при мало меняющейся высоте олнца составляет 0,5%, а при быстро меняющейся высоте солнца ,7%, в то время как для универсального озонометра они больше.

4. Выводы

1. Оценены величины случайных погрешностей: средней квадратиеской, средней абсолютной и средней относительной отдельного изтерения общего содержания озона универсальным и самолетным озоометрами по прямому солнечному свету, по зениту ясного и облачного еба. В указанную погрешность не входит систематическая погрешость, вызываемая, в частности, погрешностью градуировки прибора. Лучайные погрешности отдельных измерений озона в основном вызыались колебаниями температуры отдельных частей прибора, неточной аводкой на движущийся диск солнца, движением облаков и слоев ымки.

2. Выводы работы основываются на материалах, состоящих из 30 ерий измерений атмосферного озона по 15—20 отсчетов в каждой ерии.

3. Для измерений по прямому солнечному свету с помощью УО и О средняя квадратическая погрешность составляет 0,007 см О₃, средяя абсолютная 0,005 см О₃ и средняя относительная 0,9% (табл. 6).

4. При измерениях по зениту ясного неба величины случайных погрешностей возрастают. Средняя квадратическая погрешность составляет 0,010 см O₃, средняя абсолютная 0,009 см O₃ и средняя относительная 2,9% (табл. 7). При измерениях по верхней облачности погрешности соответственно равны 0,016, 0,011 см О3 и 4,4% (табл. 8), при измерениях по средней облачности 0,019, 0,014 см О3 и 4,8% (табл. 9) и при измерениях по нижней облачности 0,030, 0,016 см О₃ и 4,9% (табл. 10).

Величины средних относительных погрешностей при измерениях по средней и нижней облачности приблизительно в 2,4 раза больше, чем при измерениях по прямому солнечному свету (табл. 6, 9, 10).

5. Погрешности измерений общего содержания озона при мало меняющейся высоте солнца (в полдень) меньше, чем при быстро меняюшейся высоте солнца (утром и вечером) (табл. 6—10).

ЛИТЕРАТУРА

1. Гущин Г. П. Озонометр. Авт. свид. № 160 877. Бюлл. изобр. № 5, 1964.

2. Гущин Г. П. Исследование атмосферного озона. Гидрометеоиздат, Л., 1963.

- 3. Гущин Г. П. Методические указания по производству и обработке наблюдений
- за общим содержанием атмосферного озона. Гидрометеоиздат, Л., 1961. 4. Ромашкина К. И. Методика градуировки зенитной и лунной установок уни-версального озонометра. Сб. «Атмосферный озон». Под ред. Г. П. Гущина. Гидрометеоиздат, Л., 1965.

5. Яковлев К. П. Математическая обработка результатов измерений. Гостехиздат, M., 1953.

З. И. ПИВОВАРОВА

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПРОЗРАЧНОСТИ АТМОСФЕРЫ (ДЛЯ ИНТЕГРАЛЬНОГО ПОТОКА) ПО ТЕРРИТОРИИ СССР

Прозрачность атмосферы для интегрального потока солнечной радиации является одним из важнейших показателей радиационного режима. Наряду с высотой солнца и облачностью она определяет приток лучистой энергии к земной поверхности. Прозрачность атмосферы тесно связана с физическими процессами, происходящими в атмосфере и вызывающими изменение погоды. Поэтому она может быть использована для анализа физического состояния атмосферы. Расширяется круг и прикладных задач, где могут быть использованы характеристики прозрачности атмосферы. Достаточно упомянуть необходимость интегральных коэффициентов прозрачности для оценки возможных сумм солнечной радиации в том или ином районе страны (что, в частности, нужно учитывать при проектировании строительства), для расчета ультрафиолетового климата [4], для расчета визуальной (фотометрической) прозрачности, используя тесную корреляционную связь между ними [3], и для оценки наклонной видимости [13].

В последние годы появилось много работ посвященных как теорерасчета ослабления солнечной тическому обоснованию радиации в идеальной и реальной атмосфере (В. Г. Кастров, М. С. Аверкиев, К. С. Шифрин, О. Авасте, Л. Г. Махоткин), так и расчетам характеристик прозрачности атмосферы и выявлению их закономерностей в конкретных географических пунктах. Последние были начаты в нашей стране в 20-х годах Н. Н. Калитиным, А. И. Батыгиной, И. Н. Ярославцевым, К. Г. Трофимовым, С. И. Сивковым. Из более шей поздних работ по исследованию прозрачности атмосферы в отдельных районах и пунктах следует упомянуть работы А. С. Каледкиной, а позднее С. В. Зверевой по Арктике, Н. И. Гойсы и В. И. Гришко по Украине, К. А. Каушила и Б. М. Каваляускас по Прибалтике, И. А. Савиковского и Л. И. Писарчик по Минску, М. П. Чижевской по Воей-ково, Г. В. Борисовой по Владивостоку, Е. П. Барашковой по Кара-дагу, Я. А. Цуцкиридзе по Тбилиси, М. В. Лилеева по Свердловску.

Результаты прежних работ не всегда удается сопоставить для суждения о географическом распределении коэффициентов прозрачности или факторов мутности, так как, кроме использования различных величин солнечной постоянной (1,94; 1,95; 1,88; 1,90; 1,91; 1,98) и приведения коэффициентов прозрачности к разному числу оптических масс

(массы 1 и 2, реже 3, иногда вовсе не указано, к какой массе сделано приведение), принимались различные значения радиации в идеальной атмосфере, полученные тем или иным исследователем с разной степенью точности.

Для выявления закономерностей пространственного распределения прозрачности атмосферы необходимо использовать прежде всего единую методику приведения и по возможности однородный материал наблюдений по определенному числу станций, расположенных в различных климатических районах.

В отношении единой методики приведения еще в 1951 г. М. С. Аверкиев в работе [1] выразил пожелание, чтобы наиболее авторитетное метеорологическое учреждение — Главная геофизическая обсерватория — после тщательной проверки и составления таблиц приведения рекомендовало для общего пользования способ приведения и окончательно установленный вариант таблицы.

Такой метод в настоящее время разработан и обоснован С. И. Сивковым, и ГГО рекомендовала применять его на сети актинометрических станций [10]. Вычисление характеристик прозрачности атмосферы коэффициента прозрачности и фактора мутности Линке — по ежедневным данным включено с 1966 г. в программу работы выборочной сети станций. Что же касается второго условия — однородности данных, то к настоящему времени накоплен большой материал наблюдений за солнечной радиацией на актинометрических станциях, относящийся к одному и тому же периоду времени; станции проводят измерения стандартными приборами (термоэлектрическим актинометром) и по единой методике наблюдений [11].

Автор использовал методику С. И. Сивкова для приведения интенсивности прямой радиации к одной и той же высоте солнца (или массе атмосферы). Этот метод позволяет вычислить коэффициент прозрачности атмосферы и фактор мутности по измерениям радиации в актинометрические сроки (6 час. 30 мин., 9 час. 30 мин., 12 час. 30 мин., 15 час. 30 мин., 18 час. 30 мин.).

Для вычисления прозрачности атмосферы использовались только измерения прямой солнечной радиации, во время которых солнечный диск и околосолнечная зона в радиусе 5° не закрывались облаками. Для исключения зависимости интенсивности радиации от высоты солнца значения интенсивности радиации, измеренные при различных высотах солнца, приводились к одной и той же определенной высоте солнца 30° (т. е. число относительных оптических масс равно 2). При высоте солнца менее 7° приведение не производилось по причине низкой точности получаемых величин. Коэффициент прозрачности вычисляется по формуле Бугера:

$$S_{\rho} = S_0 P^m, \tag{1}$$

где S_{ρ} — интенсивность радиации, приведенная к среднему расстоянию между Землей и Солнцем, S_0 — солнечная постоянная, P — коэффициент прозрачности атмосферы, m — число масс атмосферы, при которых измерена прямая солнечная радиация S. Из формулы (1) при m=2 (или $h_{\odot}=30^{\circ}$) получается

$$P_2 = \sqrt{\frac{S_{p, 30}}{S_0}}.$$
 (2)

Для величины солнечной постоянной S_0 в соответствии с новым определением внеземной интенсивности солнечной радиации и согласно международным рекомендациям, принято значение 1,98 кал/см² мин.

Для фактора мутности Линке

$$T = \frac{\lg P}{\lg P_{\scriptscriptstyle \rm H}} = \frac{\lg S_0 - \lg S}{\lg S_0 - \lg S_{\scriptscriptstyle \rm H}}$$
(3)

(представляющего отношение коэффициентов ослабления реальной *Р* и идеальной *Р*и атмосферы). С. И. Сивков дает простое выражение

$$T = 11,5 \lg \frac{S_0}{S_{p,30}},\tag{4}$$

которое получается при подстановке в формулу (3) значения интенсивности радиации в идеальной атмосфере $S_{\rm H}$, равного при массе 2 1,62 кал/см² мин. Эта величина $S_{\rm H}$ получена на основании новых данных о внеземном распределении солнечной радиации по спектру [12].

По описанной методике нами вычислены характеристики прозрачности атмосферы для всех станций актинометрической сети (свыше 200 станций). Использованы средние месячные многолетние интенсивности солнечной радиации, относящиеся в основном к периоду 1954—1963 гг.¹

Для построения карт отбирались станции, расположенные на высоте не свыше 500 м над уровнем моря (175 станций), что позволило не делать приведение к абсолютной массе 2. Также учитывалась характерность условий в отношении прозрачности атмосферы. Характерными считались условия, при которых естественная прозрачность атмосферы не подвергается влиянию чисто местного помутнения и не искажается им. Так, станции, расположенные в крупных индустриальных пунктах, не принимались во внимание при проведении изолиний. Это, однако, не помешало выявить на картах целые районы с пониженной прозрачностью атмосферы за счет большого влияния промышленного замутнения.

Не имея возможности в рамках настоящей статьи рассмотреть распределение прозрачности атмосферы во все месяцы года, выберем наиболее характерные из них, на которые приходятся экстремальные знакоэффициентов прозрачности. /Известно, что годовой ход чения коэффициента прозрачности определяется годовым ходом абсолютной влажности, поэтому максимум его наблюдается в зимние месяцы (январь-декабрь), а минимум — в летние месяцы (июнь-июль). Кроме распределения прозрачности атмосферы в зимние и летние месяцы (январь и июнь), рассмотрим распределение прозрачности атмосферы в переходные месяцы весны и осени (март и сентябрь). На приведенных ниже картах дается среднее многолетнее значение коэффициента прозрачности, характерного для полуденных часов (по данным наблюдений в срок 12 час. 30 мин.). В теплое время года в утренние и вечерние часы на большинстве континентальных станций коэффициент прозрачности больше, чем в полуденные часы на 4-2%.

Изолинии, проведенные в горных районах, относятся к долинам, высота которых не превышает 500 м над уровнем моря. Точность определения коэффициента прозрачности составляет 0,01.

Я нварь (рис. 1). В данном месяце можно рассматривать коэффициент прозрачности атмосферы на территории, расположенной к югу от 61° с. ш. (к северу от этой границы высоты солнца в полдень меньше 7°, а на крайнем севере полярная ночь).

¹ Трудоемкая работа по вычислению коэффициентов прозрачности произведена инженером Северо-Западного УГМС З. А. Шеффер.


Коэффициент прозрачности изменяется по территории в сравнительно небольших пределах: от 0,82 до 0,76. На большинстве станций в этом месяце, как уже упоминалось выше, наблюдаются максимальные значения коэффициента прозрачности в связи с минимальным содержанием водяного пара в атмосфере. Наряду с водяным паром (влажность, мутность) на прозрачность атмосферы оказывают сильное влияние аэрозоли (остаточная мутность), т. е. все взвешенные в атмосфере вещества — пыль (сухая мутность) и мельчайшие капельки воды и кристаллики льда (конденсационная мутность). Факторы, ослабляющие радиацию — водяной пар и аэрозоли, в различных районах комбинируются по-разному / В Хабаровском крае, в примыкающих к нему южных районах Восточной Сибири и на Байкале коэффициент прозрачности достигает наиболее высоких значений (0,82) благодаря исключительно низкой абсолютной влажности (0,5 мб и менее). В центральных районах Восточной Сибири, несмотря на такое же малое содержание водяного пара в атмосфере, прозрачность понижена в связи с увеличенной конденсационной мутностью.

В Приморье, на Сахалине и Камчатке коэффициент прозрачности также ниже (0,80) вследствие увеличения содержания водяного пара в атмосфере по сравнению с континентальными районами.

Вторая область с максимальной прозрачностью в январе (0,82) наблюдается в Средней Азии между Аральским морем и озером Балхаш. Сравнительно невысокая абсолютная влажность (2—3 мб) и небольшая остаточная мутность способствуют высокой прозрачности атмосферы, сравнимой с дальневосточным максимумом.

Минимальные коэффициенты прозрачности атмосферы (0,76) отмечаются на юго-западе ЕТС (Украина и Молдавия) и в равнинных районах Азербайджана, где наряду со сравнительно большой влажной мутностью, велика и остаточная мутность. На Черноморском побережье Кавказа и Южном берегу Крыма прозрачность атмосферы увеличивается (0,80) в связи с уменьшением остаточной мутности.

Март (рис. 2). Для полярных станций тот месяц является еще зимним. Несмотря на небольшое содержание водяного пара прозрачность не столь велика (0,80) по причине влияния конденсационной мутности. Конденсационная мутность играет главную роль в ослаблении солнечной радиации зимой в Арктике. По данным С. В. Зверевой (6, 7), остаточная мутность (а в Арктике ее можно всецело отнести за счет конденсационной) превосходит влажную мутность в 2—3 раза и более,

На остальной территории Советского Союза распределение прозрачности аналогично распределению абсолютной влажности и во многом сходно с январским, хотя повсюду коэффициент прозрачности уменьшен примерно на одну градацию (0,02). Так же как и в январе, наблюдаются области с повышенной прозрачностью на юге Казахстана и в Хабаровском крае. Причем последняя значительно увеличилась по территории, захватив и северо-восток Сибири; максимальные значения коэффициента прозрачности отмечаются в районе Оймякона (0,82). Как и на январской карте, в марте минимальные коэффициенты прозрачности характерны для юго-западных районов ЕТС и Западного побережья Каспийского моря (0,74). Здесь большой вклад в замутнение реальной атмосферы вносит по-прежнему остаточная мутность (около 50%).

Июнь (рис. 3)./Эта карта характеризует наихудшие условия прозрачности на территории нашей страны, так как на большинстве станций в июне—июле наблюдается минимум коэффициента прозрачности.





Рис. З. Коэффициент прозрачности атмосферы $P_2 \cdot 10^2$. Июнь.



Коэффициент прозрачности уменьшается с севера на юг от 0,80 (в Западной и Центральной Арктике) до 0,70—0,72 (на юге ЕТС и Средней Азии). Распределение прозрачности в июне ближе к широтному по сравнению с предыдущими месяцами, что нужно отнести за счет абсолютной влажности (содержание водяного пара во всей толще атмосферы), которая создает фон для прозрачности и в большинстве районов страны является главным фактором ослабления радиации в атмосфере. Снижение прозрачности в летний месяц по сравнению с зимним и весенним особенно заметно в южных районах страны (на 8—10%) и значительно меньше на севере (на 2—4%). Объясняется это как различной амплитудой годового хода содержания водяного пара во всей толще атмосферы (на севере она меньше), так и разным вкладом в течение года в общее помутнение атмосферы остаточной мутности. На севере конденсационная мутность в зимние месяцы, как было отмечено выше, сильно уменьшает прозрачность, тем самым снижая амплитуду ее годового хода. В южных районах остаточная мутность (в основном сухая) большее влияние оказывает летом и вместе с абсолютной влажностью увеличивает амплитуду колебания коэффициента прозрачности.

Сентябрь (рис. 4). К сентябрю прозрачность атмосферы повсеместно увеличивается, но распределение ее аналогично июньскому и, пожалуй, лучше, чем в любой из рассмотренных месяцев, согласуется с распределением абсолютной влажности воздуха. Максимальный коэффициент прозрачности наблюдается в Арктике (0,82). Его значение выше, чем в марте, несмотря на бо́льшую абсолютную влажность (в сентябре в Арктике роль конденсационной мутности меньше, чем в марте). То же самое можно сказать и о Дальнем Востоке и примыкающих к нему районах Восточной Сибири, где коэффициент прозрачности в весенний и осенний месяцы близок по величине. На остальной территории Сибири, в Средней Азии и на ЕТС прозрачность в сентябре (в соответствии с большей влажностью) ниже, чем в марте (на 3—5%).

Для характеристики прозрачности в другие месяцы года проводится таблица годового хода коэффициента прозрачности в пунктах, расположенных в различных климатических районах (табл. 1). Приведенные в этой таблице коэффициенты получены по наблюдениям прямой солнечной радиации во все сроки.

Таблица 1

Станция	Ι	II	III	IV	v	VI	VII	VIII	IX	x	XI	XII
		Er	вропей	ская	террит	ория	СССР					
Бухта Тихая Воейково Рига Минск Куйбышев Киев Берегово Эдесса Болград	80 80 76 79 75 76 76 77	78 79 77 76 76 76 76 78 76	82 78 79 78 77 75 75 74 74 74	80 76 77 73 75 73 72 74 72	80 76 72 72 72 72 70 72 70 72 71	81 74 75 71 69 68 71 67	81 74 76 71 71 70 69 71 68	80 75 76 71 71 70 70 70 71 69	82 77 78 75 75 75 75 72	79 79 75 78 75 74 74 72	81 81 78 79 77 75 76 79	83 80 76 80 78 77 76 79

Годовой ход коэффициента прозрачности атмосферы P2.102

8 Заказ № 678 .

Станция	I	II	III	IV	. V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Азиатская территория СССР													
м. Челюскин м. Шмидта Якутск Высокая Дубрава Петропавловск- Камчатский Иркутск Байкальское Южно-Сахалинск Сад-Город Ташкент		79 81 76 78 80 78 81 79 78 79	78 80 78 78 79 77 79 76 76 76 78	80 80 77 75 77 76 78 76 73 75	78 80 74 73 75 73 77 74 72 71	79 79 74 74 75 74 75 74 77 74 73 72	78 79 73 74 76 74 76 73 72 71	80 80 75 74 75 75 75 78 76 75 72	80 81 80 76 78 77 80 77 77 74	82 83 78 80 79 81 79 79 79 76	82 80 79 82 80 82 79 81 80	80 81 77 82 80 80 80	

Чтобы показать количественно соотношение составляющих помутнения в общем ослаблении радиации, был произведен расчет поглощения солнечной радиации водяным паром. Использовалась формула Мёллера

$$\Delta S_{\rm B} = 0,172 \,(\omega m)^{0,303},\tag{5}$$

где $\Delta S_{\rm B}$ — прямая радиация, поглощенная водяным паром (кал/см² мин.), m — масса атмосферы, ω — содержание водяного пара в атмосфере, выраженного слоем осажденной воды в см.

Для, расчета $\Delta S_{\rm B}$, значение ω взято из материалов аэрологических наблюдений, положенных в основу карт влагосодержания (5).

Общее ослабление солнечной радиации в реальной атмосфере ΔS вычислялось как разность интенсивности солнечной радиации в идеальной атмосфере при m=2 и интенсивности радиации измеренной у поверхности земли, т. е. $\Delta S = 1,62 - S_{\rho,30}$. Аэрозольное ослабление солнечной радиации ΔS_a получалось как остаточный член из уравнения $\Delta S_a = \Delta S - \Delta S_B$.

В табл. 2 приведены значения составляющих ослабления солнечной радиации для m=2. При принятых значениях солнечной постоянной (1,98) и интенсивности прямой радиации в идеальной атмосфере ($S_n=1,62$) ослабление радиации в идеальной атмосфере при массе 2 равняется 0,36 кал/см² мин. (В табл. 2 ввиду округления общая сумма может отличаться от 1,62 на $\pm 0,01$.)

Средние величины ослабления радиации (поглощения) водяным паром при m=2 на территории нашей страны колеблются в пределах 0,13—0,26 кал/см² мин. зимой и 0,22—0,32 кал/см² мин. летом (увеличиваясь с севера на юг и от зимы к лету).

Наибольшее ослабление отмечается летом на побережье Черного и Каспийского морей и в Приморском крае, зимой — на юге ЕТС, на Кавказе и в оазисах Средней Азии. Наименьшие величины наблюдаются зимой на севере и в восточной Сибири, летом — на севере страны. Средние месячные величины аэрозольного ослабления (т. е. остаточная мутность) имеют бо́льший диапазон колебаний по территории, особенно летом: от 0,10 кал/см² мин. на севере до 0,30—0,35 кал/см² мин. на юго-западе и юге ЕТС, в южных районах Средней Азии. Для годового хода остаточной мутности характерна асимметрия — осенью она меньше, чем в весенние месяцы (за исключением Средней Азии). Максимум аэрозольного ослабления на большей части территории приходится на июнь—июль. В полярных широтах он отмечается в марте—

ίN
g
Ħ
И
Г
6
, ed
Ľ

Ослабление солнечной радиации в реальной атмосфере, кал/см² мин. (при m=2)

оябрь	$\Delta S_{\rm B}$ $\Delta S_{\rm a}$
Н	S _{P, 30}
- q	ΔS_{a}
Сентябр	$\Delta S_{\rm B}$
	S _p , 30
	ΔSa
Июль	ΔS _B
	S _P , 30
	ΔS_{a}
Май	ΔS _B
	S _P , 30
·····	ΔS _a
Март	· ΔS _B
	S _P , 30
ţ	Станция

апреле (за счет конденсационной мутности, как указывалось выше), а в Приморском крае максимум приходится на апрель—май.

В зависимости от сочетания годового хода ослабления радиации водяным паром и аэрозолями меняется их процентное соотношение. В холодную часть года (с сентября на Крайнем Севере и с ноября на остальной территории) бо́льшую роль в ослаблении радиации играет водяной пар. В январе—феврале такое соотношение сохраняется, но не повсеместно. В Центрально-черноземных областях, на Украине, а также в крупных индустриальных центрах больше 50% от общего ослабления радиации в реальной атмосфере приходится на долю остаточной мутности. На Дальнем Востоке (Амурская область) и в Заполярье аэрозольное ослабление преобладает и в марте, а на некоторых полярных станциях даже в апреле.

В теплую часть года на юге ЕТС и Средней Азии бо́льшая доля в ослаблении радиации (но не более 60%) принадлежит аэрозольной мутности. На остальной территории преобладающую роль в помутнении атмосферы играет водяной пар.

В качестве иллюстрации на рис. 5 приведено распределение величины аэрозольного ослабления радиации в одном из летних месяцев. Различной штриховкой выделены зоны относительной величины аэрозольного ослабления с градацией 10%. Дополнение до 100% соответствует вкладу водяного пара в ослабление солнечной радиации. Одновременно границами областей являются указанные в условных обозначениях абсолютные значения ослабления (в кал/см² мин.).

Область, где доля аэрозольного ослабления минимальна (<30%), занимает сравнительно небольшую площадь в северном и центральном районах Восточной Сибири. Граница этой зоны совпадает с изолинией аэрозольного ослабления 0,10 кал/см² мин. На обширной территории, включающей северные области ЕТС и Западной Сибири, большую часть Восточной Сибири и почти весь Дальний Восток (исключая юг Приморского края), остаточная мутность составляет 30-40% (соответственно на влажную мутность приходится 70-60%). Южнее 60° с. ш. (до меридиана 110° в. д.) располагается зона, в которой аэрозольное помутнение составляет не менее 40%. Северная граница ее изолинии аэрозольного ослабления примерно следует по 0,20кал/см² мин. В районах же, где отмечалась низкая прозрачность атмосферы (см. рис. 3) — юго-запад и юг ЕТС, побережье Каспийского моря, Заволжье, степные районы Западной Сибири — вклад остаточной мутности более 50%. Интересно заметить, что северная граница этой зоны близка к границам лесостепи и степи.

Значительная остаточная мутность на ЕТС, особенно в южных и центральных областях, отражает не только влияние естественного фактора — подстилаюшей поверхности (увеличение почвенной пыли), но и загрязнение атмосферы от промышленных предприятий и большой населенности указанных районов. На фоне этой зоны выделяется относительно высокой чистотой атмосферы (меньше аэрозолей) территория между Аральским морем и озером Балхаш. Меньшие величины остаточной мутности, по-видимому, можно объяснить тем, что солончаковые почвы не дают такого большого количества пыли в атмосферу, как песчаные пустыни. Возможно, здесь сказываются особенности циркуляции атмосферы.

На рис. 5 наряду с остаточной мутностью даны изолинии фактора мутности Линке *Т*. Следует отметить хорошую согласованность географического распределения этих характеристик.

Фактор мутности возрастает с севера на юг от 2,2-2,3 (на побережье



I — фактор мутности; аэрозольное ослабление: 2 — <30% (или <0,10 кал/см² мин.), 3 — 30—40% (или 0,10—0,20 кал/см² мин.), 4 — 40—50% (или >0,28 кал/см² мин.), 6 — >50% (или >0,28 кал/см² мин.), 6 — торные районы. Рис. 5. Ослабление солнечной радиации за счет аэрозолей и фактор мутности атмосферы. Июнь.

.

Северного Ледовитого океана) до 3,3 (Украина, юг Средней Азии) и даже до 3,5 (Западная Украина). В Восточной Сибири и на Дальнем Востоке пределы изменения его значительно меньше (от 2,3 до 2,9). Фактор мутности определен по интенсивности прямой солнечной радиации, приведенной к m=2 и осредненной за все дневные сроки. Это нужно иметь в виду при сравнении рис. 5 с рис. 3, на котором дано полуденное значение коэффициента прозрачности атмосферы.

Выше было отмечено, что при построении карты учитывалась характерность условий станции в отношении прозрачности атмосферы и что станции, расположенные в крупных городах, не принимались во внимание при проведении изолиний. Однако для многих целей представляет интерес иметь данные о влиянии городских условий на прозрачность атмосферы. В табл. 3 приведены коэффициенты прозрачности в нескольких крупных индустриальных городах и для сравнения указаны станции, расположенные в пригороде (в 30—40 км). В Москве, кроме того, прозрачность измерялась на ст. Москва (Котельническая), находящейся в центре города на высотном здании (высота площадки наблюдений 137 м). Из табл. 3 следует, что снижение коэффициента

Таблица З

	Срок наблюдения (час., мин.)							
Станция	6 30	9 30	12_30	15 30	18 30			
Ленинград	69 75 74 73 75 73 74	73 73 72 70 73 72 74	73 73 70 70 74 69 73	73 75 71 70 72 71 74	$ \begin{array}{c} 65\\ 74\\ 71\\ 70\\ 73\\ 74\\ 75\\ \end{array} $			

Коэффициент прозрачности атмосферы P2.10² в городе и пригороде. Июнь

прозрачности в городе по сравнению с пригородом в июне в среднем составляет 0,02—0,04, или 3—5%. Такое понижение является существенным, если учесть вообще небольшой диапазон изменений коэффициента прозрачности. Оно соизмеримо с изменением прозрачности в июне на 5—10° широты или с изменением прозрачности от весны к лету или от лета к осени на одной и той же станции на ETC.

Говоря о влиянии города на прозрачность атмосферы, уместно привести и табл. 4 характеризующую изменение коэффициента прозрачности со временем. Заметное снижение коэффициента прозрачности

Таблица 4

Коэффициент прозрачности атмосферы P2.10² в различные периоды наблюдений

Годы	·I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Высокая Дубрава												
1941—1952 1953—1962	80 80	80 78	80 78	77 75	76 73	77 74	76 74	75 74	78 76	79 78	82 79	81 80
Куйбышев												
1943—1952 1953—1962	80 79	78 76	78 77	75 75	75 72	74 71	75 71	74 71	76 75	79 78	80 79	81 80

во второй период в Куйбышеве и в Высокой Дубраве (находящейся в 40 км от Свердловска) следует отнести за счет увеличения остаточной мутности (как результат роста индустриализации). Исследование изменения прозрачности атмосферы в районе Свердловска подробно изложено в работе М. В. Лилеева [9], из которой заимствованы данные по Высокой Дубраве.

Коэффициент прозрачности при m=2 характеризует полную оптическую толщину атмосферы в наклонном направлении (при зенитном угле солнца 60°). Для перехода к коэффициенту прозрачности P_1 при m=1 (при условии сохранения той же прозрачности атмосферы) может быть использована табл. 5.

Таблира 5

Коэффициенты прозрачно	ости реальной атмосферы P_2 и P_1
------------------------	---------------------------------------

$P_2 \cdot \cdot \cdot$. 0,82	0,80	0,78	0,76	0,74	0,72	0,70	0,68	0,66
$P_1 \ldots$. 0,77	0,75	0,73	0,71	0,68	0,66	0,645	0,625	0,60

Значения *P*₁ получены по таблице С. И. Сивкова [10], дающей изменение интенсивности радиации при неизменной прозрачности атмосферы в зависимости от высоты солнца над горизонтом.

Из многих характеристик оптических свойств атмосферы мы остановились на коэффициенте прозрачности, как наиболее распространенной характеристике, непосредственно определяющей радиационный режим территории или отдельного пункта (хотя он и изменяется не в очень больших пределах). В работе [2] предлагается в качестве характеристики, указывающей ослабление солнечной радиации в атмосфере, оптическая плотность атмосферного помутнения a_{wD} .

$$a_{wD} = \lg P_{u} - \lg P, \tag{7}$$

где P_{μ} — коэффициент прозрачности идеальной атмосферы, P — коэффициент прозрачности реальной атмосферы.

Эта характеристика удобна тем, что она имеет большой диапазон изменения.

В табл. 6 приводятся коэффициент прозрачности атмосферы P_2 и величина оптической плотности атмосферного помутнения по средним данным. (Значения коэффициента прозрачности в идеальной атмосфере взяты из работы [2]).

Из табл. 6 видно, что даже средние многолетние величины a_{wD} изменяются как во времени (годовой ход), так и по территории почти в 2 раза, а в некоторых пунктах и более чем в 2 раза (например, Екатерино-Никольское). В отдельные годы колебания a_{wD} могут достигать 600—800%. Наряду с большим диапазоном изменения эта характеристика, показывающая ослабление солнечной радиации атмосферными примесями, удобна для сравнения мутности в пунктах, расположенных на разных уровнях.

— Заканчивая рассмотрение распределения прозрачности, можно сделать некоторые выводы.

1. Обычно при исследованиях радиационного режима при безоблачном небе (солярный климат) коэффициент прозрачности атмосферы, а следовательно и солнечная радиация, принимаются зависящими только от широты места. Как видно из представленных карт, прозрачность заметно изменяется с долготой для одной и той же широты. Так, из-за различной степени замутнения атмосферы разница в годовых суммах прямой солнечной радиации на 60° с. ш. составляет 7 ккал/см², а на 45° с. ш. достигает 15—20 ккал/см².

	Год	•	$\begin{array}{c} 700\\ 720\\ 680\\ 810\\ 940\\ 930\\ 930\end{array}$		580 630 720	540		690 640 930 930
	XII		380 530 530 590 620 620		720	240		520 540 530 630
	XI		540 510 570 820 610 740	• *	510 670 590	340		500 570 540 760
	X		540 670 820 910 910		440 450 580	430		580 550 550 550 550 550 550 550 550 550
	IX		780 690 760 850 850		580 610 540 680	580	-	720 680 920 1220
	VIII		810 860 880 880 880 880 1120 1120 1120		630 710 640 810	720	-	850 750 1150 860 1100
.104	VII		820 110 840 1190 1190 1190 11000 1200		710 990 620 920	820	-	830 800 970 1240 1240
a w?	ΝI		750 900 11000 1140 1160 1090		690 700 780 780	800		880 800 1120 840 1220
	Ň		$\begin{array}{c} 740\\ 840\\ 810\\ 1050\\ 1120\\ 990\\ 1070\\ \end{array}$		670 640 650 780	820		850 760 1120 800 1050
	IV		700 670 810 920 920		590 670 630 680	700	-	660 780 940 930 930
	III		710 550 680 920 840 840		510 680 700 710	510	-	660 590 870 870 800 800
	II		670 560 690 680 790		440 590 690	350		580 580 580 510 730 730
	· - ·		700 550 640 550 700 700	CTOK	680	260		500 450 670 680 680
	Год	Ka3	78 77 78 78 73 73 73 73	tå Bo	80 79 78 78	80	БĤ	78 79 74 78 78
	XII	Каві	84 81 81 81 77 80 80 79	альнь	78	86	и Аз	81 82 80 81 79 79
	XI	IС и	80 81 80 77 77 77	вД	81 78 80	84	редня	81 82 80 81 77
	×	Щ	81 78 76 76 76 76 76 76	бирь	82 82 80 82 80 82 80	83	Ū	80 80 76 73 73
	IX		76 77 77 77 77 77 71 71 71	Си	80 80 78 78 78	80		77 78 74 77 70
	VIII		75 75 75 75 75 75 75 75 75 75 75 75		79 76 76 76	17		75 77 75 71
$2 \cdot 10^2$	VII		75 75 69 69 69		78 76 79 74	76		75 76 69 09
ď.	ΙΛ		7227272727272727272727272727272727272727		78 77 77 77	76	-	75 70 70 75 70
	>		73 73 73 73 73 73 73 73		77 77 77 77	76	_	75 70 72 72
	IV		76 76 77 71 71 72		78 79 78 79 78	78	_	76 73 74 77 74
	H		77 78 78 78 74 76 75		81 78 78 78 78	81		78 80 74 79 76
	II		77 77 77 77 77 77 78		³⁸ 888	84		80 81 77 81 81
·			77 779 779 779 779 779 779 779		78	86		81 82 82 82 82 82 82 82 82 82
	· · ·		рхангельск острома аунас олгоград ишинев ртем-Остров		реднеколымск уруханск	икольск		емипалатинск уйган . орт-Шевченко амды . шхабад

2. Распределение коэффициента прозрачности по территории определяется прежде всего содержанием водяного пара в атмосфере (т. е. влажной мутностью), но большую роль играет и остаточная мутность (аэрозоли).

3. Отмечаются две области с минимальными величинами коэффициентов прозрачности в течение всего года. Это юго-запад ЕТС (Украина, Молдавия) и западное побережье Каспийского моря (равнинные районы Азербайджана). В этих областях аэрозольное ослабление радиации в реальной атмосфере весной и летом может превышать ослабление водяным паром (рассматривалась интенсивность радиации при m=2).

4. В теплую часть года максимальные коэффициенты прозрачности наблюдаются на побережье Северного Ледовитого океана. Здесь аэрозольное помутнение наименьшее и составляет 40-30% и менее 30% (к ослаблению в реальной атмосфере, без учета ослабления радиации в идеальной атмосфере). В зимние месяцы максимум прозрачности перемещается на Дальний Восток (Хабаровский край) и примыкающие к нему районы Якутии.

5. Выделяются сравнительно высокой прозрачностью равнинные районы Средней Азии (территория между Аральским морем, Амударьей и озером Балхаш). В январе там отмечается второй максимум, сравнимый с дальневосточным. В этом районе остаточная мутность даже летом составляет менее 50% в общем помутнении атмосферы, в то время как в более южных (предгорных) районах на аэрозольную мутность приходится большая доля ослабления солнечной радиации по сравнению с влажной мутностью.

ЛИТЕРАТУРА

- 1. Аверкиев М. С. Об определении основных характеристик прозрачности атмосферы. Информационный сборник ГУГМС, № 1, 1951.
- А веркиев М. С. и Рязанова Л. А. Солнечная радиация в идеальной атмосфере и мутность атмосферы реальной. Вестник МГУ, № 5, серия V, геогр. 1963.
 Бартеньева О. Д., Довгялло Е. Н., Полякова Е. А. Экспериментальные
- исследования оптических свойств приземного слоя воздуха. Труды ГГО, вып. 220. Гидрометеоиздат, 1967.
- 4. Белинский В. А., Семенченко Б. А. Ультрафиолетовая радиация на разных высотах при безоблачной аэрозольной атмосфере. Труды ГГО, вып. 184, 1966.
- 5. Дроздов О. А. и Григорьева А. С. Влагооборот в атмосфере. Гидрометеоиздат, Л. 1963.
- 6. Зверева С. В. Прозрачность атмосферы в Арктике. Труды ААНИИ, т. 229, 1961. 7. Зверева С. В. Ослабление прямой солнечной радиации в Арктике. Труды ААНИИ т. 273, 1965. 8. Кастров В. Г. Измерение поглощения солнечной радиации в свободной атмо-
- сфере. Труды ЦАО, вып. 8, 1952. 9. Лилеев М. В. Прозрачность атмосферы в районе Свердловска. Труды ГГО,
- вып. 174, 1966.
- 10. Методические указания по определению характеристик прозрачности атмосферы для гидрометеорологических обсерваторий актинометрических отделов (групп) УГМС. Изд. ГГО, Л., 1965.
- 11. Руководство гидрометеорологическим станциям по актинометрическим наблюдениям. Гидрометеоиздат, Л., 1957.
- 12. Сивков С. И. Ослабление солнечной радиации в идеальной атмосфере. Труды ГГО, вып. 169, 1965.
- Шифрин К. С., Минин И. А. К теории негоризонтальной видимости. Труды ГГО, вып. 68, 1957.

СОДЕРЖАНИЕ

А. М. Броунштейн, Б. П. Козырев, К. Д. Лебедева, С. И. Сивков.	
Некоторые результаты исследования спектральных характеристик черных и	
белых покрытий, применяемых для приемных поверхностей актинометриче-	0
СКИХ ПРИООРОВ	ാ
рактеристик пиранометров и балансомеров	13
С. И. Сивков. Определение альбедо больших участков земной поверхности из	
измерений поляризации неба	17
Л. В. Луцько, Р. Ф. Вайсбанд. О соотношении прямой солнечной радиа-	01
ции с освещенностью	21
фотометрах и спектрофотометрах	25
В. И. Горышин. Амплитулные и фазовые характеристики некоторых типов	20
модуляторов света в двухлучевых фотометрах и спектрофотометрах	37
В. И. Горышин. Серийный образец автоматического фотометра для измерений	
и регистрации прозрачности атмосферы (РДВ-1)	48
D. И. І О рышин. пекоторые результаты лаоораторных и полевых испытании автоматического фотометра иля измерения и регистрации програциости атмо-	
сферы (РДВ-1)	59
А. М. Броунштейн. О зависимости чувствительности вакуумного радиацион-	
ного термоэлемента от его температуры	70
А. М. Броунштейн, К. В. Казакова. Об ограничении слоев воздуха для	74
Исследования их радиационных своиств.	74
кина. Некоторые результаты исследований атмосферного озона в СССР	
в период МГСС (1964—1965 гг.)	80
К. И. Лисовская. К вопросу точности измерения общего содержания озона	
по зениту неба на озонометрических станциях СССР.	94
1. П. Архипова, Оценка случанных погрешностей измерения общего содер-	98
3. И. Пивоварова. Распределение коэффициента прозрачности атмосферы	50
(для интегрального потока) по территории СССР	105

Труды ГГО, вып. 213

Актинометрия, атмосферная оптика и озонометрия

Редактор Л. К. Сурыгина. Техн. редактор Г. В. Ивкова Корректор Т. Н. Черненко

Сдано в набор 12/Х 1967 г. Подписано к печати 2/IV 1968 г. Бум. тип. № 1 70×108¹/₁₆. Бум. л. 4+1 вкл. Печ. л. 11,55 Уч.-изд. л. 10,14 Тираж 670 экз. М-21793 Индекс МЛ-22 Гидрометеорологическое издательство Заказ № 678 Денинград. В-53, 2-я линия, д. № 23. Цена 71 коп.

> Ленинградская типография № 8 Главполиграфпрома Комитета по печати при Совете Министров СССР Ленинград, Прачечный пер., д. 6.

УДК.551.521

Некоторые результаты исследования спектральных характеристик черных и белых покрытий, применяемых для приемных поверхностей актинометрических приборов. Броунштейн А.М., Козырев Б. П., Лебедева К. Д., Сивков С. И. Труды ГГО, 1968, вып. 213, стр. 3—12.

Для внесения уточнений в измерение основных характеристик радиационного режима, получаемых на сети актинометрических станций, необходимо знать поглощательные свойства черных и белых покрытий, приемных поверхностей приборов, предназначенных для измерений радиации. Обычно применяемые покрытия оказываются неодинаково чувствительными к радиации различных длин волн, а следовательно, и к радиационным потокам различного спектрального состава. Особенно большими могут быть ошибки за счет селективности приемных поверхностей при измерении радиационных потоков в спектральном диапазоне 0,3—50 мк, так как приборы, измеряющие длинноволновую радиацию (пиргеометры и балансомеры), градуируются обычно по коротковолновой радиации.

Для получения количественной оценки селективности были произведены спектральные измерения семи видов покрытий (21 образец), используемых при изготовлении и ремонте балансомеров и пиранометров. Измерение спектров диффузного отражения образцов покрытий были выполнены на приставке к инфракрасному спектрофотометру ИКС-11 в широком спектральном диапазоне (0,4—25 мк).

Все исследуемые образцы покрытий проходили также испытание на изменчивость спектральных характеристик со временем и устойчивость покрытий к атмосферным воздействиям.

Были исследованы спектральные характеристики приемных поверхностей некоторых типов пиранометров и балансомеров, применяемых на сети станций как в СССР, так и за рубежом.

В статье приводятся некоторые результаты исследований, полученные в течение 1965 г. Табл. 6. Илл. 3. Библ. 6.

УДК 551.508.2

Спектральные исследования угловых характеристик пиранометров и балансомеров. Козырев Б. П., Бученков В. А., Труды ГГО, 1968, вып. 213, стр. 13—16.

Описана методика измерений спектральных угловых характеристик приборов. Исследования производились в диапазоне длин волн $0,4 \div 6,5$ мкм. В качестве монохроматора был применен инфракрасный спектрометр ИКС-12, после выходной щели которого устанавливался испытуемый прибор. Точность установки прибора находится в пределах десятых долей градуса. Полученные результаты, представленные в виде формулы $F_h =$

 $=\frac{\sin h}{n_h/n_{90^\circ}}$ при $\lambda=$ const, указывают на малую зависимость спектральной

чувствительности пиранометров и балансомеров от угла падения лучей в исследуемом диапазоне волн. Илл. 4. Библ. 4.

УДК 551.521.14

Определение альбедо больших участков земной поверхности из измерений поляризации неба. Сивков С. И. Труды ГГО, 1968, вып. 213, стр. 17—20.

Для получения репрезентативных величин отраженной и поглощенной деятельной поверхностью радиации необходимо иметь обобщенные, эффективные величины альбедо, характерные для обширных участков земной поверхности и типичных ландшафтов. Непосредственное измерение альбедо больших территорий производится с достаточной высоты альбедометрами, установленными на самолетах или аэростатах. Но такие наблюдения могут быть выполнены лишь в редких случаях. Поэтому возможность более простого определения альбедо больших площадей с разнообразной подстилающей поверхностью представляет значительный интерес. В статье предлагается метод определения альбедо больших участков земной поверхности по измерениям поляризации при двух различных высотах солнца. Показывается удовлетворительное согласование полученных предложенным методом величин альбедо с его значениями, измеренными с самолетов в аналогичных условиях ландшафта. Табл. 2. Библ. 9.