

**Федеральное государственное унитарное предприятие
«Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д.И. Менделеева»
ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»**



СОГЛАСОВАНО

Генеральный директор

ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»
А.Н. Пронин

м.п. 15 декабря 2023 г.

Государственная система обеспечения единства измерений

Пиранометры ПЕЛЕНГ СФ-06-21

Методика поверки

МП 254-0102-2023

Руководитель лаборатории испытаний
в целях утверждения типа средств измерений
аэрогидрофизических параметров
ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»
П.К. Сергеев

Инженер лаборатории испытаний в целях
утверждения типа средств измерений
аэрогидрофизических параметров
ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»
С.С. Чекалева

г. Санкт-Петербург
2023 г.

1. Общие положения

Данная методика поверки распространяется на пиранометры ПЕЛЕНГ СФ-06-21 (далее – пиранометры), предназначенные для измерений энергетической освещенности, создаваемой солнечным и (или) искусственным излучениями в диапазоне длин волн от 0,3 до 2,8 мкм (стеклянный колпак) и от 0,28 до 4,00 мкм (кварцевый колпак), и устанавливает методы и средства их первичной и периодической поверки.

Методикой поверки обеспечивается прослеживаемость пиранометров к ГЭТ 86-2017 в соответствии с Государственной поверочной схемой для средств измерений радиометрических величин некогерентного оптического излучения в ультрафиолетовой, видимой и инфракрасной области спектра, утверждённой приказом Росстандарта № 2414 от 21.11.2023 г.

Метод, обеспечивающий реализацию методики поверки - непосредственное сличение.

Пиранометры подлежат первичной и периодической поверке.

Методикой поверки предусмотрена поверка отдельных автономных блоков с обязательным занесением данной информации в сведения о поверке в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений.

2. Перечень операций поверки средства измерений

Таблица 1

Наименование операции	Номер пункта документа о поверке	Обязательность выполнения операций поверки при	
		Первичной поверке	Периодической поверке
Внешний осмотр	7	да	да
Контроль условий поверки (при подготовке к поверке и опробовании средства измерений)	8.1	да	да
Опробование	8.4	да	да
Подтверждение соответствия программного обеспечения	9	да	да
Определение метрологических характеристик и подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям	10	да	да
Проверка диапазона и определение абсолютной погрешности измерений напряжения постоянного тока блоком электронным на выходе головок пиранометра АСТ, АКТ	10.1	да*	да*
Проверка времени установления выходного сигнала	10.2	да	да
Определение коэффициента преобразования при нормальном падении радиации на головку пиранометра	10.3	да	да
Определение случайной погрешности результата измерения коэффициента преобразования	10.4	да	да
Определение относительной погрешности измерений энергетической освещенности	10.5	да	да
Определение поправочных множителей F_λ при различных значениях угла падения светового излучения (высоты солнца)	10.6	да	нет
Оформление результатов поверки	11	да	да

* Поверка выполняется только для пиранометров с исполнением головок АСТ и АКТ в составе с электронным блоком

При отрицательных результатах одной из операций поверка прекращается.

3. Требования к условиям проведения поверки

При проведении поверки должны быть соблюдены следующие условия:

- температура воздуха, °C от +15 до +35;
- относительная влажность воздуха, % от 30 до 90;
- атмосферное давление, кПа от 86 до 106.

При проведении поверки в естественных условиях по Солнцу, дополнительно должны быть соблюдены следующие условия:

- высота Солнца над горизонтом, не менее 15°.

Солнечное излучение должно быть устойчивым. На диске солнца и в пределах угла 5° в любом направлении от линии визирования на солнце не должно быть следов облаков. В воздухе не должно быть пыли, дыма, тумана или дымки.

4. Требования к специалистам, осуществляющим поверку

4.1 К проведению поверки допускаются лица, изучившие настоящую методику и эксплуатационную документацию (далее ЭД), прилагаемую к пиранометрам.

5. Метрологические и технические требования к средствам поверки

Таблица 2

Операции поверки, требующие применение средств поверки	Метрологические и технические требования к средствам поверки, необходимые для проведения поверки	Перечень рекомендуемых средств поверки
п. 8.1 Контроль условий поверки	Средства измерений температуры окружающей среды в диапазоне измерений от +10 °C до +35 °C с абсолютной погрешностью не более ±1 °C; Средства измерений относительной влажности воздуха в диапазоне от 30 % до 90 %, с погрешностью не более ±10%; Средства измерений атмосферного давления в диапазоне от 86 до 106 кПа, с абсолютной погрешностью не более ±0,25 кПа;	Термогигрометр автономный ИВА-6, рег. № №82393-21
п. 10.1 Проверка диапазона и определение абсолютной погрешности измерений напряжения постоянного тока блоком электронным на выходе головок пиранометра АСТ, АКТ	Средства воспроизведения напряжения постоянного тока в диапазоне от -50 до +50 мВ, абсолютная погрешность не более ±(0,0003*U+0.003) мВ	Калибратор электрических сигналов СА150, рег. № 53468-13
п. 10.2 Проверка времени установления выходного сигнала	Средства измерений интервалов времени, длительность интервала 1800 с, абсолютная погрешность не более ±4,8 с Вспомогательное оборудование: Установка ПО-4 по ТУ 25-04-1570	Секундомер механический СОПпр, рег. № 11519-11; Установка ПО-4 по ТУ 25-04-1570

Продолжение таблицы 2

Операции поверки, требующие применение средств поверки	Метрологические и технические требования к средствам поверки, необходимые для проведения поверки	Перечень рекомендуемых средств поверки
п. 10.3 Определение коэффициента преобразования при нормальном падении радиации на головку пиранометра	Эталоны единицы энергетической освещенности, соответствующие требованиям, предъявляемым к эталонам не ниже 2 разряда по Государственной поверочной схеме для средств измерений радиометрических величин некогерентного оптического излучения в ультрафиолетовой, видимой и инфракрасной области спектра, утвержденной приказом Росстандарта № 2414 от 21.11.2023 г. (часть 2)	Пиранометр СМР6, рег. № 48281-11; Пиргелиометр СНР 1, рег. № 48282-11;
п. 10.4 Определение случайной погрешности результата измерения коэффициента преобразования	Средства измерений напряжения постоянного тока в диапазоне измерений от -50 до +50 мВ, абсолютная погрешность не более $\pm(0,001*U + 0,01)$ мВ	Калибратор электрических сигналов СА150, рег. № 53468-13; Секундомер механический СОПр, рег. № 11519-11;
п. 10.5 Определение относительной погрешности измерений энергетической освещенности	Средства измерений интервалов времени, длительность интервала 1800 с, абсолютная погрешность не более $\pm 4,8$ с	Установка ПО-4 по ТУ 25-04-1570 Труба поверочная ПО-11, угол зрения (центральный) 10°
п. 10.6 Определение поправочных множителей F_h при различных значениях угла падения светового излучения (высоты солнца)	Вспомогательное оборудование: Установка ПО-4 по ТУ 25-04-1570; Труба поверочная ПО-11, угол зрения (центральный) 10°.	Калибратор электрических сигналов СА150, рег. № 53468-13; Установка ПО-4 по ТУ 25-04-1570
Примечание – Допускается использовать при поверке другие утвержденные и аттестованные эталоны единиц величин, и поверенные средства измерений утвержденного типа, удовлетворяющие метрологическим требованиям, указанным в таблице.		

6. Требования (условия) по обеспечению безопасности проведения поверки

6.1 При поверке необходимо соблюдать требования:

- требования безопасности по ГОСТ 12.3.019-80;
- требования безопасности, изложенные в эксплуатационной документации;
- «Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей»;
- «Правила ТБ при эксплуатации электроустановок потребителей»;
- в целях обеспечения безопасности работ и возможности выполнения процедур поверки достаточно одного специалиста.

7. Внешний осмотр средства измерений

При проведении внешнего осмотра должно быть установлено соответствие пиранометра следующим требованиям:

- соответствие внешнему виду СИ описания типа СИ;
- наличие знака утверждения типа в месте, указанном в описании типа СИ;
- комплектность должна соответствовать эксплуатационной документации на пиранометр;
- пиранометры не должны иметь дефектов, способных оказать влияние на безопасность проведения поверки и на результаты поверки.

8. Подготовка к поверке и опробование средства измерений

8.1 Контроль условий проведения поверки.

8.1.1 При поверке должны быть проверены условия проведения поверки, указанные в п. 3 настоящей методики поверки.

8.1.2 Для контроля условий поверки используются средства поверки, приведенные в таблице 2.

8.2 Проверить электропитание пиранометра.

8.3 Подготовить к работе и включить пиранометр согласно ЭД.

8.4 Опробование

8.4.1 Опробование пиранометра должно осуществляться в следующем порядке:

8.4.1.1 Включить пиранометр.

8.4.1.2 Убедиться, что измерительная информация поступает и отображается на устройствах отображения, сообщения об ошибках – отсутствуют.

8.4.1.3 При поверке, измеренные значения фиксируются либо на блоке электронном, либо в программном обеспечении Peleng Meteo Actinometry, либо на средстве измерений напряжения постоянного тока, указанном в табл. 2.

9. Проверка программного обеспечения средства измерений

9.1 Запустить автономную программу Peleng Meteo Actinometry. В пункте меню “Справка”, подменю “Вызов справки” содержит пункты для вызова справочной информации (помощи) по работе с программой. Подменю “О программе” содержит сведения о версии программы и ее разработчике. Сведения версии программного обеспечения ActinometryService отображаются при включении в рабочем поле программы.

9.2 Пиранометр считается прошедшим проверку по данному пункту с положительными результатами, если проверяемые параметры ПО соответствуют данным, представленным в таблице 3.

Таблица 3

Идентификационные данные (признаки)	Значение	
Идентификационное наименование ПО	ActinometryService	Peleng Meteo Actinometry
Номер версии (идентификационный номер) ПО	1.x.x.*	v.1.x.x.*

*1- метрологически значимая часть ПО; x.x.x – метрологически незначимая часть ПО

10 Определение метрологических характеристик средства измерений и подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям

10.1 Проверка диапазона и определение абсолютной погрешности измерений напряжения постоянного тока блоком электронным на выходе головок пиранометра АСТ, АКТ выполняются в следующем порядке:

10.1.1 Подготовьте к работе калибратор электрических сигналов СА150 и блок электронный согласно их ЭД.

10.1.2 Подключите калибратор электрических сигналов СА150 к блоку электронному.

10.1.3 Задавайте калибратором электрических сигналов СА150 значения постоянного напряжения, $U_{\text{эт}}$, не менее чем в пяти точках равномерно распределенных по диапазону измерений.

10.1.4 На каждом заданном значении фиксируйте значения, $U_{\text{изм}}$, измеренные блоком электронным.

10.1.5 Вычислите абсолютную погрешность измерений напряжения постоянного тока блоком электронным по формуле:

$$\Delta U = U_{\text{изм}} - U_{\text{эт}} \quad (1)$$

10.1.6 Результаты считать положительными, если абсолютная погрешность измерений напряжения постоянного тока блоком электронным на выходе головок пиранометра АСТ, АКТ во всех выбранных точках не превышает $\pm(0,001 \cdot U_{\text{изм}} + 0,01)$ мВ.

10.2 Проверка времени установления выходного сигнала

10.2.1 Определение времени установления выходного сигнала проводят на установке актинометрической ПО-4 или по Солнцу в естественных условиях. При определении времени установления выходного сигнала энергетическая освещенность в плоскости измерений должна быть не менее $0,4 \text{ кВт/м}^2$.

10.2.2. Определение времени установления выходного сигнала на установке актинометрической ПО-4 проводят в следующем порядке:

10.2.2.1 Подготовьте установку ПО-4 к измерениям в соответствии с её эксплуатационной документацией. Установите пиранометр нормально к направлению светового потока и подключите к средству измерений напряжения постоянного тока. Не менее чем через 2 мин затените пиранометр затеняющим экраном и через 2 мин снимите отсчет n , мВ. Уберите затеняющий экран и выждите, когда выходной сигнал освещенного пиранометра достигнет установленного значения, снимают отсчет U , мВ.

10.2.2.2 Вычислите значение пороговой величины выходного сигнала, U_p , мВ, по формуле:

$$U_p = (U - n) \cdot 0,05 + n, \quad (2)$$

где U , n - отсчеты при освещенном и затененном пиранометре, мВ.

10.2.2.3 Затените пиранометр с одновременным включением секундомера. Остановите секундомер в момент достижения пиранометром значения U_p и зафиксируйте по нему отсчет, t_y , в секундах. Измерение величины, t_{yi} , выполняют три раза и вычисляют среднее арифметическое \bar{t}_y , с, которое принимают в качестве значения времени установления выходного сигнала, по формуле:

$$\bar{t}_y = \frac{\sum_{i=1}^3 t_{yi}}{3} \quad (3)$$

10.2.3 Определение времени установления выходного сигнала в естественных условиях по Солнцу проводят аналогично тому, как указано в п. 10.2.2, установив поверяемый пиранометр в поверочную трубу ПО-11.

10.2.4 Результаты считать положительными, если время установления выходного сигнала, \bar{t}_y не более 20 с.

10.3 Определение коэффициента преобразования при нормальном падении радиации на головку пиранометра

10.3.1 Коэффициент преобразования при нормальном падении радиации определяется либо в лабораторных условиях на установке ПО-4, либо в естественных условиях по Солнцу.

10.3.2 Определение коэффициента преобразования при нормальном падении радиации на установке ПО-4 производить в следующем порядке:

10.3.2.1 Подготовьте установку ПО-4 к измерениям в соответствии с её эксплуатационной документацией. Установить на лампе установки напряжение, обеспечивающее в плоскости измерений энергетическую освещенность не ниже $0,4 \text{ кВт}/\text{м}^2$ и выдерживать не менее 30 мин для прогрева лампы. До конца проверки напряжение на лампе поддерживать постоянным с погрешностью не более $\pm 0,2 \text{ В}$.

10.3.2.2 Установить эталонный пиранометр при помощи штатива на поворотный столик перпендикулярно к направлению светового потока. Подключить к калибратору электрических сигналов СА150 (далее – калибратор) и выдерживать освещенным не менее 2 мин, затенить затеняющим экраном и через 2 мин снять показания калибратора n_0 при затененном пиранометре.

10.3.2.3 Убрать экран и не менее, чем через 2 мин, снять десять значений напряжения U_{oi} , из которых вычислить среднее значение \bar{U} сигнала эталонного пиранометра.

10.3.2.4 Измерить значение n_0 после снятия показаний в соответствии с п. 10.3.2.2 и вычислить среднее значение, \bar{n}_0 .

10.3.2.5 Снять эталонный пиранометр и установить проверяемую головку пиранометра (далее – головка) перпендикулярно оптической оси установки таким образом, чтобы центр ее приемной поверхности расположился в той же точке пространства, что и эталонного пиранометра.

10.3.2.6 Подключить к калибратору и выдержать головку освещенной не менее 2 мин, затенить и через 2 мин снять показания калибратора n_n при затененной головке.

10.3.2.7 Убрать затеняющий экран и не менее, чем через 2 мин, снять 10 значений напряжения U_{mi} , из которых вычислить среднее арифметическое значение, \bar{U}_m .

10.3.2.8 Измерить значение n_n после снятия показаний в соответствии с п. 10.3.2.6 и вычислить среднее значение, \bar{n}_n .

10.3.2.9 Снять проверяемую головку пиранометра и установить эталонный пиранометр. Повторить п. 10.3.2.2 – 10.3.2.4 и вычислить среднее значение сигнала эталонного пиранометра \bar{U}_0 по двум сериям (до проверяемого и после).

10.3.2.10 Вычислить значение коэффициента преобразования K , $\text{мВ}\cdot\text{м}^2/\text{kВт}$, головки по формуле:

$$K = K_0 (\bar{U}_m - \bar{n}_n) / (\bar{U}_0 - \bar{n}_0), \quad (4)$$

где K_0 – значение коэффициента преобразования эталонного пиранометра, $\text{мВ}\cdot\text{м}^2/\text{kВт}$;

\bar{U}_m ; \bar{U}_0 – среднее значение отсчета при освещении проверяемой головки и эталонного пиранометра соответственно, мВ;

\bar{n}_n ; \bar{n}_0 – отсчеты при затенении проверяемой головки и эталонного пиранометра соответственно, мВ.

10.3.3 Определение коэффициента преобразования в естественных условиях по Солнцу проводят в следующем порядке:

10.3.3.1 Установить головку в трубе ПО-11. Эталонный актинометр и трубу ПО-11 нацелить на Солнце, снять с них крышки и выдержать нацеленными не менее 2 мин.

10.3.3.2 Подключить головку и эталонный актинометр к калибратору электрических сигналов СА150 (далее – калибратор). Затенить и через 2 мин снять показания n_0 эталонного актинометра и n_n головки.

10.3.3.3 Растянуть и вновь нацелить на Солнце эталонный актинометр и трубу ПО-11 и через 2 мин снять 10 пар синхронных показаний калибратора U_{mi} головки и U_{oi} эталонного актинометра, из которых вычислить среднее арифметическое значение \bar{U}_m и \bar{U}_0 .

10.3.3.4 Вычислить значение коэффициента преобразования K , $\text{мВ}\cdot\text{м}^2/\text{kВт}$, головки по формуле:

$$K = K_0 (\bar{U}_m - \bar{n}_n) / (\bar{U}_0 - \bar{n}_0), \quad (5)$$

где K_0 – значение коэффициента преобразования эталонного пиранометра, $\text{мВ}\cdot\text{м}^2/\text{kВт}$;

\bar{U}_m ; \bar{U}_0 – среднее значение отсчета головки пиранометра и эталонного актинометра соответственно, мВ;

\bar{n}_n ; \bar{n}_0 - отсчеты при затенении головки и эталонного актинометра соответственно, мВ.

10.3.4 Результаты считать положительными, если значение полученного коэффициента преобразования не менее $8 \text{ мВ} \cdot \text{м}^2 / \text{kVt}$.

10.4 Определение случайной погрешности результата измерения коэффициента преобразования.

10.4.1. Случайная погрешность результата измерения коэффициента преобразования пиранометра ($S, \%$) определяется по измерениям, выполненным в п. 10.3.1 или п. 10.3.2 по формуле:

$$S = \frac{1}{\bar{U}_m} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (U_{mi} - \bar{U}_m)^2}{m(m-1)}} \cdot 100\% \quad (6)$$

где m – число измерений сигнала с поверяемого пиранометра ($m = 10$);

U_{mi} – значение сигнала с поверяемого пиранометра;

\bar{U}_m – среднее по 10 значениям значение сигнала с пиранометром;

10.4.2 Результаты считать положительными, если $S \leq 0,3 \%$.

10.5 Определение относительной погрешности измерений энергетической освещенности

10.5.1 Относительная погрешность измерений энергетической освещенности ($\delta E, \%$) определяется по измерениям, выполненным в п. 10.3.2 или п. 10.3.3 по формуле:

$$\delta E = \frac{\bar{E}_{изм} - \bar{E}_{эт}}{\bar{E}_{эт}} \cdot 100\%, \quad (7)$$

10.5.2 Результаты считать положительными, если выполняются условия:

$$|\delta E| \leq 10\%.$$

10.6. Определение поправочных множителей F_h при различных значениях угла падения светового излучения (высоты солнца) производится на установке ПО-4 в следующем порядке:

10.6.1 Подготовьте установку ПО-4 к измерениям в соответствии с её эксплуатационной документацией. Установите головку на установку ПО-4 перпендикулярно направлению излучения лампы, совместив середину ее приемной поверхности с осью вращения поворотного столика. Не меняя положения головки, установить на шкале поворотного столика угол h , равный 90° (угол высоты солнца). Центр приемной поверхности головки совместить с центром светового поля. Поворачивая головку в вертикальной плоскости, установить ее выводом кабеля вниз, при такой ориентации выполняется проверка для азимутального направления A , равного 0° . Закрепить головку в этом положении.

10.6.2 Выдержать головку освещенной не менее 2 мин, затенить ее экраном и через 2 мин снять отсчет места нуля n .

10.6.3 Убрать экран и через 2 мин снять отсчет U_{90} при угле $h=90^\circ$.

10.6.4 Повернуть поворотный столик на отметку угла h , равную 70° . Убрать экран и через 2 мин снять 3 отсчета U_{70} .

10.6.5 Аналогичным образом выполнить измерения при значениях угла h , равных 50° , 40° , 30° , 20° , 15° , 10° и закончить измерения при угле h , равном 90° (повторно).

10.6.6 Повернуть поворотный столик на угол h , равный 20° , развернуть головку в вертикальной плоскости, установив ее выводом кабеля вверх (азимутальное направление 90°). Затенить головку и через 2 мин снять отсчет места нуля n . Убрать экран и через 2 мин снять не менее трех отсчетов U'_A при освещенном пиранометре. Аналогичным образом выполнить измерения значений n и U'_A для азимутальных направлений, равных 180° и 270° ;

10.6.7 Установить угол h равный 90° , азимутальное направление головки,

соответствующее 0° и повторить измерения при затененной и освещенной головке аналогично указаниям в 10.6.3

10.6.8 По результатам измерений для азимутального направления 0° определить значения поправочных множителей F_h в следующем порядке:

- из трёх измерений, выполненных по 10.6.3, 10.6.5 и 10.6.7 при значении h , равном 90° , вычислить среднее значение U_{90} и вычесть из него значение места нуля n , в результате чего получить среднее исправленное значение \bar{U}_{90} , мВ;

- по результатам измерений, выполненных по 10.6.4 и 10.6.5 при каждом из остальных значений h , аналогичным образом вычислить исправленные значения U_h , мВ;

- для каждого значения h (кроме 90°) вычислить поправочный множитель F_h по формуле:

$$F_h = U_{90} \cdot \sin h / U_h, \quad (8)$$

Значения поправочных множителей пиранометра при разных h должны быть в пределах, указанных в таблице 4.

Таблица 4 – Значения поправочных множителей

Угол падения светового излучения (b)	80°	75°	70°	60°	50°	40°	20°
Высота Солнца (h)	10°	15°	20°	30°	40°	50°	70°
Поправочный множитель (F_h)	от 0,86 до 1,20	от 0,88 до 1,16	от 0,89 до 1,13	от 0,92 до 1,09	от 0,93 до 1,08	от 0,95 до 1,06	от 0,97 до 1,03

10.6.9 По результатам измерений, выполненных для каждого из азимутальных направлений 90° , 180° и 270° , определить значения поправочных множителей F_A по формуле:

$$F_A = U_{90} \cdot \sin 20^\circ / U_A, \quad (9)$$

где U_A - исправленное на место нуля показание головки по результатам измерений при данном азимутальном направлении A и $h=20^\circ$, мВ.

10.6.10 Результаты считать положительными, если значения полученных множителей находятся в пределах, указанных в таблице 4.

11 Оформление результатов поверки

11.1 Сведения о результатах поверки пиранометров передаются в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений в установленном порядке. Знак поверки при необходимости наносится на свидетельство о поверке.

11.2 Протокол оформляется по запросу.

11.3 В процессе поверки пломбировка не нарушается.