

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

СОГЛАСОВАНО

И.о. генерального директора
ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»
А.Н. Пронин
м.п. «12» февраля 2021 г.

ЗАМЕСТИТЕЛЬ
ГЕНЕРАЛЬНОГО ДИРЕКТОРА
КРМБ
ДОВЕРЕННОСТЬ
ОТ 17



Государственная система обеспечения единства измерений

Пиранометры ПЕЛЕНГ СФ-06-21

Методика поверки

МП 254-0102-2021

И.о. руководителя научно-исследовательского
отдела госэталонов в области
аэрогидрофизических параметров
А.Ю. Левин

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

П.К. Сергеев

г. Санкт-Петербург
2021 г.

1. Общие положения

Данная методика поверки распространяется на пиранометры ПЕЛЕНГ СФ-06-21 (далее – пиранометры), предназначенные для измерений энергетической освещенности, создаваемой солнечным излучением, и устанавливает методы и средства их первичной и периодической поверки.

Методикой поверки должна обеспечиваться прослеживаемость пиранометров к государственному первичному эталону единицы радиометрических и спектрорадиометрических величин в диапазоне длин волн от 0,2 до 25,0 мкм (ГЭТ 86-2017).

Метод, обеспечивающий реализацию методики поверки - непосредственное сличение.

Пиранометры подлежат первичной и периодической поверке. Методикой поверки не предусмотрена поверка на меньшем числе поддиапазонов измерений и отдельных автономных блоков.

2. Перечень операций поверки средства измерений

Таблица 1

Наименование операции	Номер пункта документа о поверке	Проведение операции при	
		Первичной поверке	Периодической поверке
Внешний осмотр	7	да	да
Опробование	8.4	да	да
Подтверждение соответствия программного обеспечения	9	да	да
Определение метрологических характеристик средства измерений	10	да	да

При отрицательных результатах одной из операций поверка прекращается.

3. Требования к условиям проведения поверки

При поверке должны быть соблюдены следующие условия:

- температура воздуха, °С от +15 до +25;
- относительная влажность воздуха, % от 30 до 90;
- атмосферное давление, гПа от 860 до 1060.

При проведении поверки в соответствии с п. 10.4 данной методики дополнительно должны быть соблюдены следующие условия:

- высота Солнца над горизонтом, не менее 20°.

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, допущенные к работе в качестве поверителей, изучившие настоящую методику и эксплуатационную документацию (далее ЭД), прилагаемую к пиранометрам.

5. Метрологические и технические требования к средствам поверки

Таблица 2

Номер пункта документа по поверке	Наименование и тип (условное обозначение) основного или вспомогательного средства поверки; обозначение нормативного документа, регламентирующего технические требования, метрологические и основные технические характеристики средства поверки
9	Персональный компьютер с ПО Peleng Meteo

Продолжение таблицы 2

10	<p>Рабочий эталон 2-го разряда (пиранометр) единицы энергетической освещенности солнечным излучением, в соответствии с ГОСТ 8.195-2013 «государственная поверочная схема для средств измерений спектральной плотности энергетической яркости, спектральной плотности силы излучения, спектральной плотности энергетической освещенности, силы излучения и энергетической освещенности в диапазоне длин волн от 0,2 до 25,0 мкм», диапазон измерений от 400 до 1600 Вт/м² в спектральном диапазоне 0,3-3,0 мкм</p> <p>Рабочий эталон 2-го разряда (актинометр) единицы энергетической освещенности солнечным излучением, в соответствии с ГОСТ 8.195-2013 «государственная поверочная схема для средств измерений спектральной плотности энергетической яркости, спектральной плотности силы излучения, спектральной плотности энергетической освещенности, силы излучения и энергетической освещенности в диапазоне длин волн от 0,2 до 25,0 мкм», диапазон измерений от 400 до 1100 Вт/м² в спектральном диапазоне 0,3-10,0 мкм</p> <p>Рабочий эталон 3-го разряда (вольтметр) единицы напряжения – вольт, в соответствии с приказом Росстандарта от 30.12.2019 г. № 3457 «об утверждении государственной поверочной схемы для средств измерений постоянного электрического напряжения и электродвижущей силы», диапазон измерений от 0 до 1 В</p> <p>Установка ПО-4 по ТУ 25-04-1570</p> <p>Труба ПО-11, угол зрения (центральный) 10°</p>
----	--

5.1 Средства поверки должны иметь действующие свидетельства о поверке, эталоны - действующие свидетельства об аттестации.

5.2 Допускается применение аналогичных средств поверки обеспечивающих определение метрологических характеристик поверяемых пиранометров с требуемой точностью.

6. Требования (условия) по обеспечению безопасности проведения поверки

6.1 При поверке должны необходимо соблюдать требования:

- требования безопасности по ГОСТ 12.3.019;
- 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 описанию 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 Проверить пиранометр.

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 по соответствующим фиксируются на блоке электронном или в программном обеспечении Peleng Meteo.

9. Проверка программного обеспечения средства измерений

9.1 Запустить автономную программу Peleng Meteo 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.

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	Peleng Meteo
Номер версии (идентификационный номер) ПО	не ниже 2.6.2.0

10 Определение метрологических характеристик средства измерений
Определение коэффициента преобразования при нормальном падении радиации

10.1.1 Определение коэффициента преобразования при нормальном падении радиации производить в следующем порядке:

10.1.1.1 Включить лампу установки ПО-4, установить на ней напряжение, обеспечивающее в плоскости измерений энергетическую освещенность не ниже 0,4 кВт/м² и выдерживать не менее 20 мин для прогрева лампы. До конца проверки напряжение на лампе поддерживать постоянным с погрешностью не более ±0,2 В.

10.1.1.2 Установить эталонный пиранометр при помощи штатива на поворотный столик перпендикулярно к направлению светового потока. Подключить к вольтметру и выдерживать освещенным не менее 2 мин, затем затенить экраном и через 2 мин снять показания вольтметра p_0 при затененном пиранометре.

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

10.1.1.4 Измерить значение p_0 после снятия показаний в соответствии с п. 10.1.1.2 и вычислить среднее значение \bar{p}_0 .

10.1.1.5 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.

10.1.1.6 Подключить к вольтметру и выдержать головку освещенной не менее 2 мин, затем затенить и через 2 мин снять показания вольтметра p_n при затененной головке.

10.1.1.7 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 .

10.1.1.8 Измерить значение p_n после снятия показаний в соответствии с п. 10.1.1.6 и вычислить среднее значение \bar{p}_n .

10.1.1.9 Снять проверяемую головку пиранометра и установить эталонный пиранометр. Повторить п. 10.1.1.2 – 10.1.1.4.

10.1.1.10 Вычислить значение коэффициента преобразования K , мВ·м²/кВт, головки по формуле:

$$K = K_0 (\bar{U}_m - \bar{p}_n) / (\bar{U}_o - \bar{p}_0), \quad (1)$$

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

10.1.1.10 Результаты считать положительными, если значение полученного коэффициента преобразования не менее $8 \text{ мВ} \cdot \text{м}^2 / \text{кВт}$ и отличается от указанного в паспорте (предыдущим свидетельстве о поверке) не более, чем на $\pm 3 \%$.

10.2 Определение среднего квадратического отклонения и относительной погрешности измерений энергетической освещенности

10.2.1 Подключить пиранометр к блоку электронному согласно ЭД.

10.2.2 Подключить к ПК с помощью ПО Peleng Meteo.

10.2.3 В настройках ПО выбратьверяемый прибор и установить коэффициент преобразования, вычисленный по формуле (1).

10.2.4 Установить на лампе мощность, соответствующую энергетической освещенности не ниже 400 Вт/м^2 .

10.2.5 Установить эталонный пиранометр при помощи штатива на поворотный столик перпендикулярно к направлению светового потока. Подключить к вольтметру и выдерживать освещенным не менее 2 мин.

10.2.6 Снять 10 значений напряжения U_{0i} и рассчитать энергетическую освещенность $I_{\text{Эт}i}$, из которых вычислить среднее значение $\bar{I}_{\text{Эт}}$.

10.2.7 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.

10.2.8 Установитьверяемый пиранометр. Выдержать его освещенным не менее 2 мин. Снять 10 измерений $I_{\text{Изм}i}$, из которых вычислить среднее значение $\bar{I}_{\text{Изм}}$.

10.2.9 Вычислить относительную погрешность измерений энергетической освещенности по формуле:

$$\delta I = \frac{\bar{I}_{\text{Изм}} - \bar{I}_{\text{Эт}}}{\bar{I}_{\text{Эт}}} \cdot 100 \%, \quad (2)$$

10.2.10 Вычислить СКО по формуле:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} \left(\frac{I_{\text{Изм}i}}{\bar{I}_{\text{Изм}}} - \frac{I_{\text{Эт}i}}{\bar{I}_{\text{Эт}}} \right)^2}{m(m-1)}}} \cdot 100\% \quad (3)$$

10.2.11 Результаты считать положительными, если выполняются условия:

$$\delta I \leq \pm 10 \%, \text{ СКО} \leq 0,3 \%$$

10.3 Определение поправочных множителей F_h при различных значениях угла падения излучения (высоты солнца) и азимута

10.3.1 На установке ПО-4 определение поправочных множителей F_h при различных значениях угла падения излучения (высоты солнца) и азимута производить в следующем порядке:

10.3.1.1 Установить головку, закрепленную с суппортом АЛ6.200.048, на установку ПО-4 перпендикулярно направлению излучения лампы. Совместив середину ее приемной поверхности с осью вращения суппорта. Не меняя положения головки, установить на шкале суппорта 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 винтом.

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

10.3.1.3 Отрегулировать напряжение на лампе так, чтобы показания вольтметра стабилизировались. Это напряжение поддерживать постоянным в течение поверки пиранометра.

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

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

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

10.3.1.7 Повернуть суппорт 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° ;

10.3.1.8 Установить угол h равный 90° , азимутальное направление головки, соответствующее 0° и повторить измерения при затененной и освещенной головке аналогично указаниям в 4.2.1.4.

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

- из трёх измерений, выполненных по 10.3.1.4, 10.3.1.6 и 10.3.1.8 при значении h , равном 90° , вычислить среднее значение U_{90} и вычесть из него значение места нуля n , в результате чего получить среднее, исправленное значения \dot{U}_{90} , мВ.

- по результатам измерений, выполненных по 10.3.1.4 и 10.3.1.5 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:

$$F_h = U_{90} \cdot \sin h / U_h, \quad (4)$$

Значения поправочных множителей пиранометра при разных h должны быть в пределах, указанных в таблице 2.

Таблица 4 – Значения поправочных множителей

h , градус	10	15	20	30	40	50	70
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

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

$$F_A = U_{90} \cdot \sin 20^\circ / U_A, \quad (5)$$

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

10.3.1.11 Результаты считать положительными, если значение полученных множителей находятся в пределах, указанных в таблице 4.

10.4 Определение коэффициента преобразования в естественных условиях

10.4.1 Определение коэффициента преобразования в естественных условиях производить в следующем порядке:

10.4.1.1 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.

10.4.1.2 Подключить головку и эталонный актинометр к вольтметру. Затенить и через 2 мин снять показания n_0 эталонного актинометра и n_h головки.

10.4.1.3 Нацелить на Солнце эталонный актинометр и трубу ПО-11 и через 2 мин снять 10 пар синхронных показаний вольтметра U_{mi} головки и U_{oi} эталонного актинометра, из которых вычислить среднее арифметическое значение \bar{U}_m и \bar{U}_o .

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

$$K = K_o (\bar{U}_m - \bar{n}_n) / (\bar{U}_o - \bar{n}_o), \quad (6)$$

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

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

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

10.4.1.5 Результаты считать положительными, если значение полученного коэффициента преобразования не менее $8 \text{ мВ} \cdot \text{м}^2 / \text{кВт}$ и отличается от указанного в паспорте (предыдущим свидетельстве о поверке), не более, чем на $\pm 3 \%$.

10.4.1.6 Подключить головку к блоку электронному согласно ЭД.

10.4.1.7 Подключить к ПК с помощью ПО Peleng Meteo.

10.4.1.8 В настройках ПО выбрать поверяемый прибор и установить коэффициент преобразования, вычисленный по формуле (6).

10.4.1.9 Нацелить на Солнце эталонный актинометр, подключенный к вольтметру, и трубу ПО-11 и через 2 мин снять 10 пар синхронных показаний напряжения U_{oi} эталонного актинометра и энергетической освещенности $I_{измi}$, из которых вычислить среднее значение \bar{U}_o и $\bar{I}_{изм}$.

10.4.1.10 Рассчитать среднюю энергетическую освещенность эталонного актинометра $\bar{I}_{эт}$.

10.4.1.11 Вычислить относительную погрешность измерений энергетической освещенности по формуле:

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

10.4.1.12 Вычислить СКО по формуле:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} \left(\frac{I_{измi} - I_{этi}}{\bar{I}_{изм} - \bar{I}_{эт}} \right)^2}{m(m-1)}} \cdot 100\% \quad (8)$$

10.4.1.13 Результаты считать положительными, если выполняются условия:

$$\delta I \leq \pm 10 \%, \text{ СКО} \leq 0,3 \%.$$

11 Подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям

В результате анализа характеристик, полученных в результате поверки, делается вывод о пригодности дальнейшего использования средства измерений. Критериями пригодности являются соответствие погрешностей средства измерений п. 10.1.1.10, 10.2.12, 10.3.1.10 и 10.4.1.13 настоящей методики поверки.

12 Оформление результатов поверки

12.1 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.

12.2 Протокол оформляется по запросу.

12.3 В процессе поверки пломбировка не нарушается.