

СОГЛАСОВАНО

Первый заместитель генерального
директора - заместитель по научной
работе ФГУП «ВНИИФТРИ»



_____ А.Н. Щипунов

_____ 07 _____ 2023 г.

Государственная система обеспечения единства измерений
Ваттметры проходного типа волноводные термисторные М1-37

МЕТОДИКА ПОВЕРКИ

МП 111-23-007

р.п. Менделеево
2023 г.

СОДЕРЖАНИЕ

1	ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ	3
2	ПЕРЕЧЕНЬ ОПЕРАЦИЙ ПОВЕРКИ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ	4
3	ТРЕБОВАНИЯ К УСЛОВИЯМ ПРОВЕДЕНИЯ ПОВЕРКИ.....	4
4	ТРЕБОВАНИЯ К СПЕЦИАЛИСТАМ, ОСУЩЕСТВЛЯЮЩИМ ПОВЕРКУ	4
5	МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К СРЕДСТВАМ ПОВЕРКИ....	5
6	ТРЕБОВАНИЯ (УСЛОВИЯ) ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ПОВЕРКИ	6
7	ВНЕШНИЙ ОСМОТР СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ.....	6
8	ПОДГОТОВКА К ПОВЕРКЕ И ОПРОБОВАНИЕ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ	6
9	ПРОВЕРКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ	7
10	ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ.	7
11	ПОДТВЕРЖДЕНИЕ СООТВЕТСТВИЯ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ МЕТРОЛОГИЧЕСКИМ ТРЕБОВАНИЯМ	9
12	ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОВЕРКИ	10

1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1 Настоящая методика поверки распространяется на ваттметры проходного типа волноводные термисторные М1-37 (далее – ваттметры), изготавливаемые ФГУП «ВНИИФТРИ», Московская область, г. Солнечногорск, р.п. Менделеево, и устанавливает методы и средства их первичной и периодической поверок.

1.2 Первичной поверке подлежат ваттметры до ввода в эксплуатацию и после ремонта. Периодической поверке подлежат ваттметры, находящиеся в эксплуатации и на хранении.

1.3 При проведении поверки должна быть обеспечена прослеживаемость поверяемых ваттметров к государственному первичному эталону единицы мощности электромагнитных колебаний в волноводных и коаксиальных трактах в диапазоне частот от 0,03 до 37,5 ГГц (ГЭТ 26-2010) в соответствии с государственной поверочной схемой для средств измерений мощности электромагнитных колебаний в диапазоне частот от 9 кГц до 37,5 ГГц, утвержденной приказом Росстандарта от 30 декабря 2019 г. № 3461.

1.4 Поверка ваттметра может осуществляться только аккредитованным на проведение поверки в соответствии с законодательством Российской Федерации об аккредитации в национальной системе аккредитации лицом в соответствии с его областью аккредитации.

1.5 При проведении поверки необходимо руководствоваться настоящей методикой и эксплуатационной документацией на ваттметр и на используемое при поверке оборудование. Методика поверки реализуется посредством метода непосредственного сличения и метода прямых измерений.

1.6 Настоящая методика поверки применяется для поверки ваттметров проходного типа термисторных М1-37, применяемых в качестве рабочих эталонов 1-го разряда в соответствии с государственной поверочной схемой для средств измерений мощности электромагнитных колебаний в диапазоне частот от 9 кГц до 37,5 ГГц, утвержденной приказом Росстандарта от 30 декабря 2019 г. № 3461. В результате поверки должны быть подтверждены следующие метрологические требования, приведённые в таблице 1.

Таблица 1 – Метрологические требования

Наименование характеристики	Значение
Диапазон рабочих частот, ГГц: – М1-37 – М1-37/1 – М1-37/2	от 16,70 до 37,50 от 16,70 до 25,86 от 25,86 до 37,50
Диапазон измерений мощности непрерывных синусоидальных сигналов, мВт	от 0,1 до 10,0
Пределы допускаемой относительной погрешности измерения мощности, %	$\pm \left(1,5 + \frac{0,5 \text{ мВт}}{P_x^*} \right)$
Модуль эффективного коэффициента отражения выхода, не более	0,03
* – значение измеренной мощности, мВт	

2 ПЕРЕЧЕНЬ ОПЕРАЦИЙ ПОВЕРКИ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

2.1 При проведении поверки ваттметра должны быть выполнены операции, указанные в таблице 2.

Таблица 2 - Операции поверки

Наименование операции поверки	Обязательность выполнения операций поверки при		Номер раздела (пункта) методики поверки, в соответствии с которым выполняется операция поверки
	первичной поверке	периодической поверке	
Внешний осмотр	да	да	7
Подготовка к поверке и опробование средства измерений	да	да	8
Проверка программного обеспечения (далее – ПО)	да	да	9
Определение диапазона рабочих частот	да	да	10.1
Определение модуля эффективного коэффициента отражения выхода	да	да	10.2
Определение относительной погрешности измерений мощности и диапазона измерений мощности непрерывных синусоидальных сигналов	да	да	10.3
Подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям	да	да	11

2.2 При получении отрицательных результатов по любому пункту. таблицы 2 поверяемый ваттметр бракуется и направляется в ремонт.

2.3 Допускается проводить периодическую поверку отдельных измерительных блоков из состава средства измерений, отдельно каждой модификации в диапазоне ее рабочих частот, или для меньшего числа измеряемых величин, которые используются при эксплуатации по соответствующим пунктам настоящей методики поверки. Данные ограничения должны быть зафиксированы при оформлении результатов поверки.

3 ТРЕБОВАНИЯ К УСЛОВИЯМ ПРОВЕДЕНИЯ ПОВЕРКИ

3.1 При проведении поверки должны соблюдаться следующие климатические условия (если не оговорено иное):

- температура окружающего воздуха от плюс 15 до плюс 25°C;
- относительная влажность окружающего воздуха не более 80 %;
- напряжение питающей сети переменного тока от 198 до 242 В;
- частота питающей сети от 49 до 51 Гц.

4 ТРЕБОВАНИЯ К СПЕЦИАЛИСТАМ, ОСУЩЕСТВЛЯЮЩИМ ПОВЕРКУ

4.1 Поверка должна осуществляться лицами со средним или высшим техническим образованием, аттестованными в качестве поверителей в области радиотехнических измерений в установленном порядке и имеющим квалификационную группу электробезопасности не ниже второй.

4.2 Перед проведением поверки поверитель должен предварительно ознакомиться с документами МФРН.411734.025 РЭ «Ваттметр проходного типа волноводный термисторный М1-37. Руководство по эксплуатации» (далее – МФРН.411734.025 РЭ), МФРН.411734.025 ФО «Ваттметр проходного типа волноводный термисторный М1-37. Формуляр» (далее – МФРН.411734.025 ФО).

4.3 Поверка осуществляется одним специалистом.

5 МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К СРЕДСТВАМ ПОВЕРКИ

5.1 Рекомендуемые средства поверки, в том числе рабочие эталоны и средства измерений, приведены в таблице 3.

Таблица 3 - Перечень средств поверки

Операции поверки, требующие применение средств поверки	Метрологические и технические требования к средствам поверки, необходимые для проведения поверки	Перечень рекомендуемых средств поверки
10.1 Определение диапазона рабочих частот	Индикатор мощности рассогласованный из состава комплекта транспортируемого системы К6-19 (рег. № 73235-18): границы допускаемой погрешности (при доверительной вероятности 0,95) $\pm 0,01$ при измерении $ Гэ $ от 0,01 до 0,05, $\pm 0,05$ при измерении $ Гэ $ от 0,05 до 0,10. Генератор сигналов с диапазоном рабочих частот от 10 МГц до 40 ГГц, с пределом допускаемой относительной погрешности установки частоты $\pm 1 \cdot 10^{-6}$, с диапазоном выходной мощности от минус 20 до плюс 10 дБ (1 мВт), с пределом допускаемой относительной погрешности установки мощности в режиме непрерывной генерации в диапазоне ± 1 дБ (1 мВт).	Индикатор мощности рассогласованный из состава комплекта транспортируемого системы К6-19, рег. № 73235-18 Генератор сигналов E8257D, рег. № 53941-13
10.2 Определение модуля эффективного коэффициента отражения выхода		
10.3 Определение относительной погрешности измерений мощности и диапазона измерений мощности непрерывных синусоидальных сигналов	Генератор сигналов с диапазоном рабочих частот от 10 МГц до 40 ГГц, с пределом допускаемой относительной погрешности установки частоты $\pm 1 \cdot 10^{-6}$, с диапазоном выходной мощности от минус 20 до плюс 10 дБ (1 мВт), с пределом допускаемой относительной погрешности установки мощности в режиме непрерывной генерации в диапазоне ± 1 дБ (1 мВт). Эталонный волноводный ваттметр проходного типа с диапазоном измерения мощности от 0,1 до 10 мВт, с диапазоном частот от 16,70 до 25,86 и от 25,86 до 37,50 ГГц, с модулем эффективного коэффициента отражения $ Гэ $ выхода преобразователя не более 0,03, с доверительными границами относительной погрешности результатов измерений при доверительной вероятности 0,95 не более 0,8 %.	Генератор сигналов E8257D, рег. № 53941-13 Государственный первичный эталон единицы мощности электромагнитных колебаний в волноводных и коаксиальных трактах в диапазоне частот от 0,03 до 37,50 ГГц, рег. № ГЭТ26-2010.
10.1-10.3	Измеритель влажности и температуры в диапазоне температур от 10°C до 35°C, с диапазоном измерений относительной влажности, от 0 до 99 %, с диапазоном измерений абсолютного давления от 840 до 1060 гПа	Измеритель влажности и температуры ИВТМ-7, рег. № 15500-07
Примечание – Допускается использовать при поверке другие утвержденные и аттестованные эталоны единиц величин, средства измерений утвержденного типа и поверенные, удовлетворяющие метрологическим требованиям, указанным в таблице.		

6 ТРЕБОВАНИЯ (УСЛОВИЯ) ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ПОВЕРКИ

6.1 При проведении поверки необходимо соблюдать требования безопасности, регламентируемые правилами по охране труда при эксплуатации электроустановок, утвержденными приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 15.12.2020 № 903, а также требования безопасности, приведённые в эксплуатационной документации на измеритель и средства поверки.

6.2 Средства поверки должны быть надежно заземлены в соответствии с эксплуатационной документацией.

6.3 Размещение и подключение измерительных приборов разрешается производить только при выключенном питании.

7 ВНЕШНИЙ ОСМОТР СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

7.1 Внешний осмотр ваттметра провести визуально без вскрытия, при этом необходимо проверить:

– комплектность, маркировку и пломбировку (наклейку) на соответствие документам РЭ и ФО;

– целостность и чистоту разъемов;

– целостность пломбировки;

– исправность кабеля;

– отсутствие видимых повреждений, влияющих на работоспособность измерителя.

7.2 Результаты внешнего осмотра считать положительными, если:

– комплект поставки соответствует документам РЭ и ФО;

– маркировка соответствует документу РЭ;

– пломбировка (наклейка) цела;

– разъемы целы и чисты;

– отсутствуют видимые повреждения, влияющие на работоспособность измерителя.

В противном случае результаты внешнего осмотра считать отрицательными и последующие операции поверки не проводить.

8 ПОДГОТОВКА К ПОВЕРКЕ И ОПРОБОВАНИЕ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

8.1 Перед проведением поверки необходимо произвести подготовительные работы, оговоренные в РЭ ваттметров и применяемых средств поверки.

8.2 Проверку работоспособности ваттметров выполнить в следующей последовательности.

8.2.1 Разместить ваттметр на рабочем месте, обеспечив удобство работы и условия естественной вентиляции.

8.2.2 Подключить составные части ваттметра комплектными кабелями в соответствии с РЭ на ваттметр.

8.2.3 Соединить ваттметр с кабелем питания 220 В. Подключить кабель питания к сети переменного тока (220 В, 50 Гц).

8.2.4 Выключатель «0/1» на задней панели ваттметра установить в положение ВКЛ.

8.2.5 Наблюдать автоматический запуск программного обеспечения (далее – ПО) ваттметра.

8.2.6 По окончании запуска ПО контролировать появление на сенсорном экране окна, приведенного на рисунке 1.



Рисунок 1 – Общий вид окна готовности ваттметра к использованию

8.2.7 Выбрать «канал (E)» и кнопкой «вкл./откл.» включить измерительный канал E.

8.2.8 Перейти в подменю «Промежуточные измерения» и убедиться, что на всех четырёх термисторных мостах мощность подогрева находится в пределах от 2 до 100 мВт.

8.2.9 Убедиться в том, что все сенсорные кнопки и органы управления функционируют.

8.2.10 Выключить ваттметр, переведя переключатель «0/I» в положение «0».

8.2.11 Результаты опробования считать положительными, если ваттметр включился, по окончании запуска ПО на экране дисплея наблюдалось окно, отображенное на рисунке 1, мощность подогрева на термисторных мостах находится в пределах от 2 до 100 мВт, сенсорные кнопки и органы управления функционируют.

8.2.12 В противном случае результаты опробования считать отрицательными. Ваттметр подлежит браковке, последующие операции не проводить.

9 ПРОВЕРКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

9.1 Осуществить проверку соответствия следующих идентификационных данных ПО:

- идентификационное наименование ПО;
- номер версии (идентификационный номер) ПО.

9.2 Результаты проверки считать положительными, если идентификационные данные ПО соответствуют сведениям, приведенным в таблице 4.

Таблица 4 - Идентификационные данные ПО

Идентификационные данные (признаки)	Значение
Идентификационное наименование ПО	Измеритель мощности МЗ-121
Номер версии (идентификационный номер) ПО	V1.0 и выше

10 ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

10.1 Определение диапазона рабочих частот

10.1.1 Определение диапазона рабочих частот проводить одновременно с определением модуля эффективного коэффициента отражения выхода $|Гэ|$ (п. 10.2).

10.1.2 Результаты поверки считать положительными, если в диапазоне рабочих частот значения модуля эффективного коэффициента отражения выхода $|Гэ|$ не превышают 0,03.

10.2 Определение модуля эффективного коэффициент отражения выхода

10.2.1 Определение модуля эффективного коэффициента отражения выхода $|\Gamma_{\Sigma}|$ проводить с применением индикатора мощности рассогласованного из состава комплекта транспортируемого системы К6-19.

Измерения проводить на частотах, приведенных в таблице 5.

Таблица 5 - Рабочие частоты

Наименование преобразователя	Частота, ГГц
ПТП-26	16,70; 17,00; 17,44; 17,50; 17,85; 18,00; 20,00; 22,00; 24,00; 25,86
ПТП-37	25,86; 26,00; 28,00; 30,00; 32,00; 34,00; 36,00; 37,50

10.2.2 Собрать схему измерений, приведенную на рисунке 2. Включить поверяемый ваттметр, генератор сигналов и индикатор мощности рассогласованный с ЭД на них.

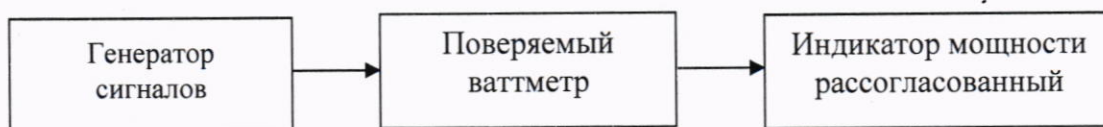


Рисунок 2 – Схема измерений $|\Gamma_{\Sigma}|$

10.2.3 Установить подвижный элемент индикатора мощности рассогласованного в нулевое положение отсчетного устройства и установить на генераторе сигналов выходную мощность «10 дБм» на начальной частоте в соответствии с таблицей 5. Включить мощность СВЧ.

10.2.4 Одновременно отсчитать показания ваттметра и индикатора мощности рассогласованного.

10.2.5 Выключить мощность СВЧ и установить следующее положение подвижного элемента индикатора мощности рассогласованного.

10.2.6 Повторить п.п. 10.2.3 – 10.2.6 для всех положений подвижного элемента преобразователя рассогласованного.

10.2.7 Рассчитать модуль эффективного коэффициента отражения $|\Gamma_{\Sigma}|$ выхода ваттметра в соответствии с п. 11.1.

10.2.8 Выполнить п.п. 10.2.4 – 10.2.8 для всех частот (см. таблицу 5), соответствующих подсоединенному преобразователю мощности.

10.2.9 Выполнить п.п. 10.2.4 – 10.2.9 для всех преобразователей мощности, входящих в комплект ваттметра.

10.2.10 Результаты поверки считать положительными, если значения модуля эффективного коэффициента отражения выхода $|\Gamma_{\Sigma}|$ не более 0,03 во всём диапазоне рабочих частот.

10.3 Определение относительной погрешности измерений мощности и диапазона измерений мощности непрерывных синусоидальных сигналов

10.3.1 Определение относительной погрешности измерений мощности на уровне мощности 10,0 мВт выполнять в следующей последовательности.

10.3.2 Собрать схему измерений, представленную на рисунке 3.

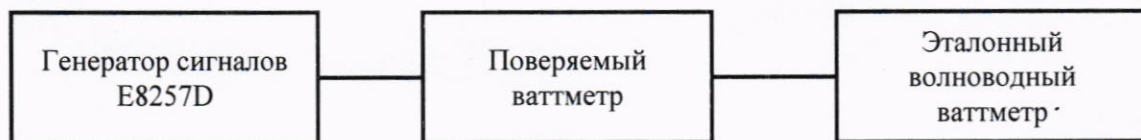


Рисунок 3 – Схема измерений для определения относительной погрешности измерений мощности

10.3.3 Подготовить к работе эталонный волноводный ваттметр из состава ГЭТ 26-2010 и генератор сигналов в соответствии с их ЭД.

10.3.4 Установить на генераторе сигналов начальную частоту в соответствии с таблицей 5 и включить мощность СВЧ. Установить такой уровень мощности, чтобы показания поверяемого ваттметра находились в интервале от 9 до 10 мВт.

10.3.5 Выключить мощность СВЧ. Установить нулевые показания поверяемого ваттметра.

10.3.6 Включить мощность СВЧ. Одновременно отсчитать показания эталонного волноводного ваттметра $P_{\text{э}}$ и поверяемого ваттметра $P_{\text{изм}}$.

10.3.7 Выключить мощность СВЧ.

10.3.8 Результаты измерений занести в протокол.

10.3.9 Выполнить операции п.п. 10.3.4 – 10.3.8 на частотах, указанных в таблице 5.

10.3.10 Отсоединить эталонный ваттметр и присоединить его с поворотом на 180° . Выполнить измерения п.п. 10.3.6 – 10.3.9.

10.3.11 Установить на генераторе сигналов начальную частоту в соответствии с таблицей 5 и включить мощность СВЧ. Установить такой уровень мощности, чтобы показания поверяемого ваттметра находились в интервале от 0,9 до 1,1 мВт.

10.3.12 Выполнить операции п.п. 10.3.5 - 10.3.9.

10.3.13 Установить на генераторе сигналов начальную частоту в соответствии с таблицей 5 и включить мощность СВЧ. Установить такой уровень мощности, чтобы показания поверяемого ваттметра находились в интервале от 0,09 до 0,11 мВт.

10.3.14 Выполнить операции п.п. 10.3.5 - 10.3.9.

10.3.15 Рассчитать относительную погрешность измерений мощности в соответствии с п. 11.2.

10.3.16 Результаты поверки считать положительными, если значения относительной погрешности измерений мощности в диапазоне мощности от 0,1 до 10 мВт находятся в пределах $\pm \left(1,5 + \frac{0,5 \text{ мВт}}{P_x} \right) \%$.

11 ПОДТВЕРЖДЕНИЕ СООТВЕТСТВИЯ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ МЕТРОЛОГИЧЕСКИМ ТРЕБОВАНИЯМ

11.1 Определение модуля эффективного коэффициент отражения выхода $|\Gamma_{\text{э}}|$ ваттметра проходящей мощности.

11.1.1 Рассчитать значение $|\Gamma_{\text{э}}|$ по формуле:

$$|\Gamma_{\text{э}}| = \frac{1}{2 \cdot |\Gamma_{\text{пр}}|} \cdot \frac{\left(\frac{P_{\text{пр}}}{P_{\text{М1-37}}} \right)_{\text{max}} - \left(\frac{P_{\text{пр}}}{P_{\text{М1-37}}} \right)_{\text{min}}}{\left(\frac{P_{\text{пр}}}{P_{\text{М1-37}}} \right)_{\text{max}} + \left(\frac{P_{\text{пр}}}{P_{\text{М1-37}}} \right)_{\text{min}}}, \quad (1)$$

где $|\Gamma_{\text{пр}}|$ – модуль коэффициента отражения преобразователя рассогласованного;

$$\left(\frac{P_{PP}}{P_{M1-37}}\right)_{\max} \text{ и } \left(\frac{P_{PP}}{P_{M1-37}}\right)_{\min} - \text{максимальное и минимальное отношение мощностей}$$

преобразователя рассогласованного и ваттметра.

11.1.2 Результаты поверки считать положительными, если значение модуля эффективного коэффициент отражения выхода $|\Gamma_{\text{э}}|$ ваттметра проходящей мощности не более 0,03.

11.2 Относительную погрешности измерения мощности определить на основе результатов измерений на уровнях мощности 0,1, 1,0 и 10,0 мВт.

11.2.1 Для каждой из частот для уровня мощности 10,0 мВт рассчитать относительную погрешность измерений мощности по формуле:

$$\delta_{10,0} = \left(\left(\frac{P_{\text{э}}}{P_{\text{изм}}} \right) - 1 \right) \cdot 100 \quad (2)$$

11.2.2 Выполнить п. 11.2.1 для уровней мощности 0,1 и 1,0 мВт и для всех преобразователей ваттметра.

11.2.3 Результаты поверки считать положительными, если относительная погрешность измерений мощности в диапазоне от 0,1 до 10,0 мВт находится в пределах $\pm \left(1,5 + \frac{0,5 \text{ мВт}}{P_x} \right) \%$;

11.3 При положительных результатах по п. 11.1 и п. 11.2 поверяемый ваттметр соответствует обязательным метрологическим требованиям, предъявляемым к средствам измерений применяемым в качестве рабочего эталона 1-го разряда, в соответствии с Государственной поверочной схемой для средств измерений мощности электромагнитных колебаний в диапазоне частот от 9 кГц до 37,5 ГГц, утвержденной приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 30 декабря 2019 г. № 3461.

12 ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОВЕРКИ

12.1 Ваттметр признается годным, если в ходе поверки все результаты поверки положительные.

12.2 Сведения о результатах поверки передаются в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений.

12.3 При положительных результатах поверки по заявлению владельца ваттметра или лица, предъявившего его на поверку, выдается свидетельство о поверке и (или) в формуляр ваттметра вносится запись о проведенной поверке, заверяемая подписью поверителя и знаком поверки, с указанием даты поверки.

12.4 Знак поверки в виде наклейки наносится на корпус измерителя мощности термисторного унифицированного МЗ-121 из состава ваттметра, и (или) выдается свидетельство о поверке на ваттметр, и (или) в документ «Ваттметр проходного типа волноводный термисторный М1-37. Формуляр» МФРН.411734.025 ФО вносится запись о проведенной поверке, заверяемая подписью поверителя и знаком поверки, с указанием даты поверки.

12.5 На основании письменного заявления владельца ваттметра допускается проводить периодическую поверку отдельных измерительных блоков из состава средства измерений, отдельно каждой модификации в диапазоне ее рабочих частот, или для меньшего числа измеряемых величин, которые используются при эксплуатации по соответствующим пунктам настоящей методики поверки. Данные ограничения должны быть зафиксированы при оформлении результатов поверки.

12.6 Ваттметр, имеющий отрицательные результаты поверки, в обращение не допускается. На него выдается извещение о непригодности к применению с указанием причин забракования по установленной форме.

Начальник НИО-1 ФГУП «ВНИИФТРИ»

Начальник отдела 11 НИО-1 ФГУП «ВНИИФТРИ»

Инженер лаборатории 111 НИО-1 ФГУП «ВНИИФТРИ»

Handwritten signatures in blue and red ink, corresponding to the names listed to the right. The signatures are stylized and overlapping.

О.В. Каминский

И.П. Чирков

А.И. Матвеев