

СОГЛАСОВАНО

Проректор по научной работе
Учреждения образования
«Белорусский государственный
университет информатики и
радиоэлектроники»


В.Р. Стемпицкий
« 06 » 05 2025

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель директора
Республиканского унитарного
предприятия «Белорусский
государственный институт
метрологии»


Ю.В. Козак
« 13 » 05 2025



Извещение ГЛЮИ.06-2025 об изменении 1

МРБ МП.4032-2024

Система обеспечения единства измерений Республики Беларусь

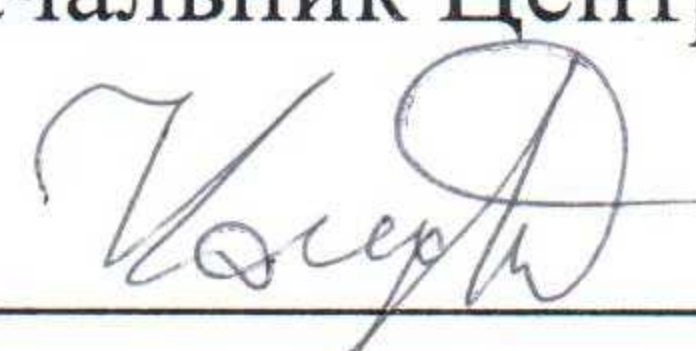
ПАНОРАМНЫЕ ИЗМЕРИТЕЛИ КСВН И ОСЛАБЛЕНИЯ

P2-MBM

Методика поверки

Разработчик:

Начальник Центра 1.9 НИЧ БГУИР


Д.А. Кондрашов
« 05 » 05 2025

Научный сотрудник

Центра 1.9 НИЧ БГУИР


М.М. Касперович
« 05 » 05 2025

Минск, 2025

Настоящая методика поверки (далее – МП) распространяются на панорамные измерители КСВН и ослабления Р2-МВМ (далее – измерители) производства учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», научно-исследовательская часть (БГУИР НИЧ), Республика Беларусь и устанавливает методы и средства поверки.

Обязательные метрологические требования к измерителям приведены в приложении А.

1 Операции поверки

При проведении поверки выполняют операции, указанные в таблице 1.

Таблица 1 – Операции поверки

Наименование операции	Номер пункта методики поверки	Проведение операции при	
		первичной поверке	последующей поверке
1 Внешний осмотр	6.1	Да	Да
2 Опробование	6.2	Да	Да
3 Определение метрологических характеристик	6.3	–	–
3.1 Проверка диапазона измерений и определение относительной погрешности при измерении коэффициента стоячей волны по напряжению	6.3.1	Да	Да
3.2 Проверка диапазона измерений и определение абсолютной погрешности при измерении модуля коэффициента передачи	6.3.2	Да	Да
3.3 Проверка диапазона рабочих частот, определение относительной погрешности установки частоты и нестабильности частоты выходного СВЧ сигнала	6.3.3	Да	Да
4 Оформление результатов поверки	7	Да	Да
Примечание – Если при проведении той или иной операции поверки получают отрицательный результат, дальнейшую поверку прекращают.			

2 Средства поверки

При проведении поверки применяют средства поверки, указанные в таблице 2.

Таблица 2 – Средства поверки

Номер пункта методики поверки	Наименование и тип (условное обозначение) эталонов и вспомогательных средств поверки, их метрологические и основные технические характеристики
6.2; 6.3	Термогигрометр UNITESS THB 1, диапазон измерений температуры от 0 °С до плюс 50 °С; пределы абсолютной погрешности измерения температуры $\pm 0,3$ °С; диапазон измерений относительной влажности от 10 % до 90 %; пределы абсолютной погрешности измерения относительной влажности $\pm 3,0$ %
6.3	Аттенюатор поляризационный волноводный ДЗ-36А, диапазон частот от 25,86 до 37,5 ГГц; диапазон ослаблений от 0 до 55 дБ; погрешность измерения $\pm(0,01 + 0,005 \cdot A)$ дБ, где А – установленное значение ослабления, дБ
6.3	Аттенюатор поляризационный волноводный ДЗ-37, диапазон частот от 37,5 до 53,57 ГГц; диапазон ослаблений от 0 до 55 дБ; погрешность измерения $\pm 0,018 \cdot A$ дБ, где А – установленное значение ослабления, дБ
6.3	Аттенюатор поляризационный волноводный ДЗ-38, диапазон частот от 53,57 до 78,33 ГГц; диапазон ослаблений от 0 до 55 дБ; погрешность измерения $\pm 0,018 \cdot A$ дБ, где А – установленное значение ослабления, дБ
6.3	Аттенюатор поляризационный волноводный АП-19, диапазон частот от 118,1 до 178,6 ГГц; диапазон ослаблений от 0 до 55 дБ; погрешность измерения $\pm 0,05 \cdot A$ дБ, где А – установленное значение ослабления, дБ
6.3	Набор мер КСВН МКСВН-МВМ, диапазон частот от 25,95 до 178,4 ГГц; коэффициент стоячей волны по напряжению: не более 1,1; 1,4; 2,0; 5,0; допускаемая погрешность $\pm 0,015$ мм
6.3	Частотомер электронно-счетный ЧЗ-66, диапазон частот 10 Гц – 37,5 ГГц; пределы допускаемой основной относительной погрешности: $\pm[\delta_0 + 1/(f_x \cdot t_{сч})]$, где δ_0 – относительная погрешность по частоте опорного генератора $\pm 5 \cdot 10^{-7}$ за 12 мес; $t_{сч}$ – время счета, с

Продолжение таблицы 2

Номер пункта методики поверки	Наименование и тип (условное обозначение) эталонов и вспомогательных средств поверки, их метрологические и основные технические характеристики
6.3	Частотомер электронно-счетный РЧЗ-72(3), диапазон частот 37,5 – 178,4 ГГц; пределы допускаемой основной относительной погрешности измерения частоты непрерывно-гармонического (НГ) сигнала ($\delta_{\text{нг}}$): $\delta_{\text{нг}} = \delta_{\text{пр}} + K \cdot \delta_{\text{част}},$ где $\delta_{\text{пр}} = \pm(\delta_0 + \delta_{\text{фапч}})$ – погрешность преобразования, где δ_0 – относительная погрешность по частоте опорного генератора, $\delta_{\text{фапч}} = 5 \cdot 10^{-10}$ – относительная погрешность, вносимая системой ФАПЧ; $K = f_{\text{пр}} / f_x$ – коэффициент преобразования, где $f_{\text{пр}}$ – преобразованная частота, измеряемая частотомером, Гц, f_x – входная частота, Гц; $\delta_{\text{част}}$ – погрешность частотомера в режиме измерения преобразованной частоты $\delta_{\text{част}} = \pm(\delta_0 + \Delta f_{\text{разр}} / f_{\text{пр}}),$ где $\Delta f_{\text{разр}} = \pm 2 / t_{\text{сч}}$ – аппаратная разрешающая способность – случайная составляющая погрешности, обусловленная несовпадением фаз входного и опорного сигналов, Гц, $t_{\text{сч}}$ – время счета частотомера, с
Примечания 1 Допускается применять другие средства поверки, обеспечивающие определение метрологических характеристик поверяемых средств измерений с требуемой точностью. 2 Все эталоны должны иметь действующие знаки поверки и (или) свидетельства о поверке (калибровке).	

3 Требования к квалификации поверителей

К проведению измерений при поверке и (или) обработке результатов измерений допускают лиц, имеющих необходимую квалификацию в области обеспечения единства измерений.

4 Условия поверки

При проведении поверки должны соблюдаться следующие условия, указанные в таблице 3.

Таблица 3 – Условия поверки

Наименование характеристики, единица измерения	Допускаемые значения
Температура окружающего воздуха, °С	от 15 до 25
Относительная влажность воздуха, %	от 30 до 80

5 Подготовка к поверке

Перед проведением поверки выполняют следующие подготовительные работы:

- проверить выполнение требований условий поверки;
- подготовить к работе эталоны, применяемые при поверке, в соответствии с руководством по эксплуатации на них;
- осуществить предварительный прогрев эталонов для установления их рабочего режима.

6 Проведение поверки

6.1 Внешний осмотр

При проведении внешнего осмотра устанавливают соответствие измерителя следующим требованиям:

- отсутствие видимых повреждений;
- целостность корпуса измерителя, соединительных проводов и кабелей, четкость маркировки;
- клеммы и разъемы должны быть чистыми.

Проверяют комплектность и маркировку измерителя в соответствии с эксплуатационной документацией.

Результат внешнего осмотра считается положительным, если выполняются указанные требования.

6.2 Опробование

Для проведения опробования необходимо включить измеритель, дождаться завершения процесса прогрева. После чего на дисплее измерителя отобразится информация с предустановленными значениями частоты и модуля коэффициента отражения или модуля коэффициента передачи. При помощи кнопок передней панели измерителя изменить параметры (частоту, вид графика и т.п.), убедиться, что изменяются соответствующие значения на дисплее.

Для проверки версии программного обеспечения (ПО) необходимо убедиться, что наименование ПО, указанное в заголовке окна программы, «VNAWindow.exe», а версия ПО не ниже 1.056.7.

Результаты опробования считаются положительными, если обеспечивается возможность управления параметрами измерителя, а версия ПО не ниже 1.056.7.

6.3 Определение метрологических характеристик

6.3.1 Проверка диапазона измерений и определение относительной погрешности при измерении коэффициента стоячей волны по напряжению

Проверка диапазона измерений и определение относительной погрешности при измерении коэффициента стоячей волны по напряжению (КСВН) проводят по схеме, приведенной на рисунке 1.

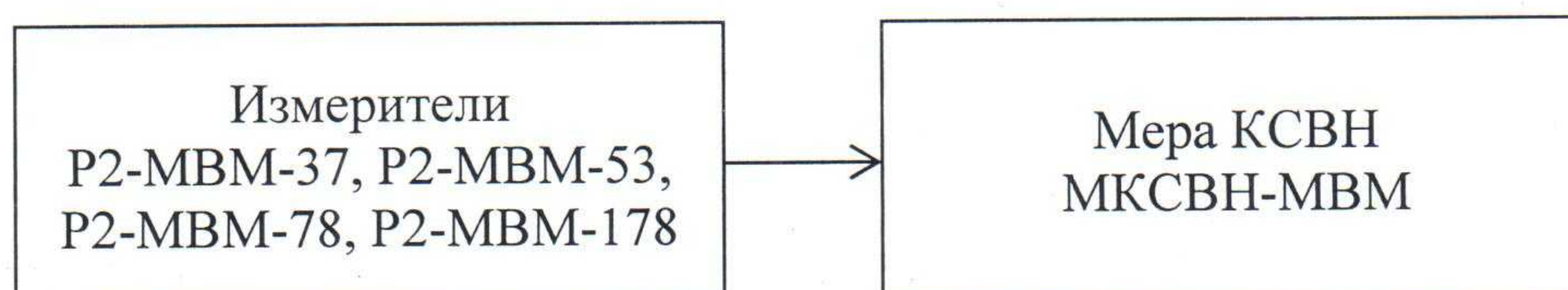


Рисунок 1

К измерителю на выход СВЧ последовательно подключают эталонные нагрузки волноводные из набора мер МКСВН-MBM с фиксированными номинальными значениями КСВН: 1,4; 2,0; 5,0 и согласованной нагрузки с КСВН не более 1,1 из комплекта измерителей. Для каждой нагрузки фиксируют результаты измерений КСВН на частотах, приведенных в таблице 4.

Таблица 4 – Таблица частот

Модификация измерителя	Частота, МГц				
	25 950	29 000	32 000	35 000	37 500
P2-MBM-37	25 950	29 000	32 000	35 000	37 500
P2-MBM-53	37 500	40 000	45 000	50 000	53 570
P2-MBM-78	53 570	60 000	70 000	75 000	78 330
P2-MBM-178	118 100	130 000	150 000	160 000	170 000

Рассчитывают относительную погрешность при измерении КСВН $\delta_{\text{КСВН}}$, %, по формуле

$$\delta_{\text{КСВН}} = \frac{\text{КСВН}_\text{и} - \text{КСВН}_\text{э}}{\text{КСВН}_\text{э}} \cdot 100, \quad (1)$$

где $\text{КСВН}_\text{и}$ – результат измерений, полученный с помощью измерителя;
 $\text{КСВН}_\text{э}$ – эталонное значение КСВН.

В случае отсутствия эталонных нагрузок допускается использование эталонных поляризационных аттенюаторов совместно с короткозамкнутой нагрузкой из комплекта измерителя в соответствии со схемой, приведенной на рисунке 2.

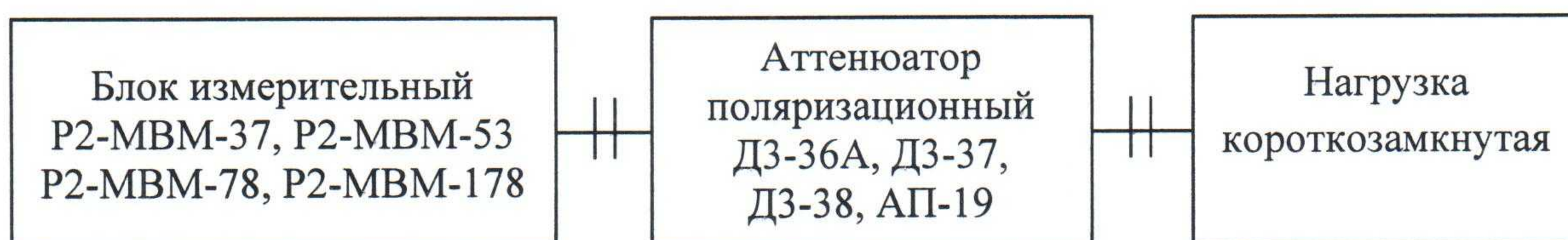


Рисунок 2

На шкале поляризационного аттенюатора устанавливают значение ослабления 0 дБ и производят калибровку в режиме измерения S_{11} в соответствии с РЭ измерителя. Далее устанавливают на аттенюаторе ослабления 7,78, 4,77, 1,76 дБ таким образом задается эталонное значение КО равное минус 15,56 дБ (КСВН = 1,4), минус 9,54 дБ (КСВН = 2,0) и минус 1,76 дБ (КСВН = 5,0) соответственно.

Результаты поверки считают удовлетворительными, если полученные значения относительной погрешности при измерении КСВН на каждой из заданных частот находятся в пределах, указанных в приложении А.

6.3.2 Проверка диапазона измерений и определение абсолютной погрешности при измерении модуля коэффициента передачи

Проверка диапазона и определение абсолютной погрешности при измерении модуля коэффициента передачи измерителей проводят в соответствии со схемой, приведенной на рисунке 3.

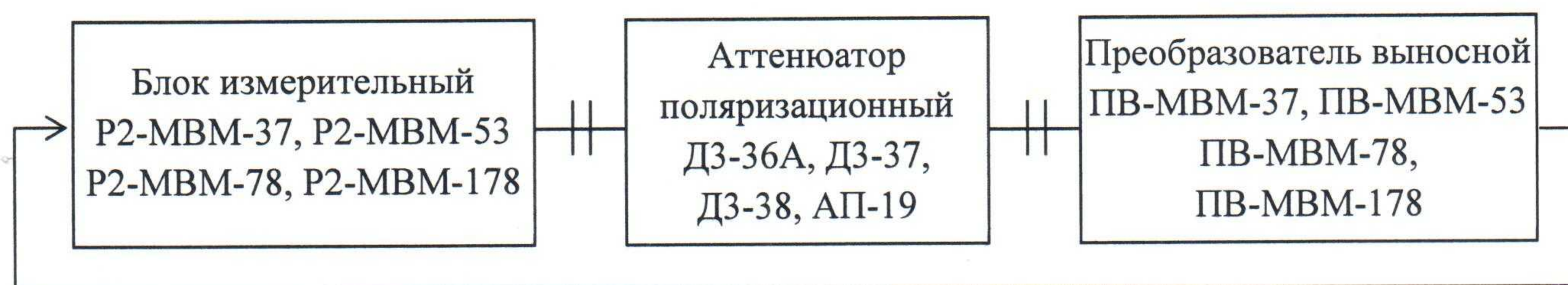


Рисунок 3

На шкале поляризационного аттенюатора устанавливают значение ослабления 0 дБ и проводят измерения в режиме измерения коэффициента передачи (КП) S_{21} . Путем установки на аттенюаторе эталонных ослаблений $|S_{21}|_э$ 0; 10; 20; 30; 40; 50 дБ фиксируют результаты измерений модуля КП $|S_{21}|_и$ в частотных точках, приведенных в таблице 4 п.6.3.1.

Рассчитывают абсолютную погрешность при измерении модуля КП $\Delta|S_{21}|$, дБ, по формуле

$$\Delta|S_{21}| = |S_{21}|_и - |S_{21}|_э, \quad (2)$$

где $|S_{21}|_и$ – результат измерения, полученный с помощью измерителя, дБ;
 $|S_{21}|_э$ – эталонное значение модуля КП $|S_{21}|$, дБ.

Результаты поверки считают удовлетворительными, если максимальные значения абсолютной погрешности при измерении модуля КП не превышают значений, указанных в приложении А.

6.3.3 Проверка диапазона рабочих частот, определение относительной погрешности установки частоты и нестабильности частоты выходного СВЧ сигнала

Проверка диапазона рабочих частот и определение относительной погрешности установки частоты выходного СВЧ сигнала по истечении времени установления рабочего режима проводят по схеме, приведенной на рисунке 4а для измерителей Р2-МВМ-37, по схеме, приведенной на рисунке 4б для измерителей Р2-МВМ-178, Р2-МВМ-53, Р2-МВМ-78.



Рисунок 4

На измерителе в режиме непрерывной генерации последовательно устанавливают фиксированные частоты, приведенные в таблице 4 п.6.3.1, заменив 170 ГГц на 178,4 ГГц. При необходимости при помощи аттенюатора подбирают уровень сигнала, подводимого на вход частотомера, обеспечивающий его нормальную работу и фиксируют результаты измерений частоты выходного сигнала измерителя с помощью частотомера.

Относительную погрешность установки частоты δ_f вычисляют для каждой из установленных частот по формуле

$$\delta_f = \frac{f_{\text{ном}} - f_{\text{и}}}{f_{\text{и}}}, \quad (1)$$

где $f_{\text{ном}}$ – номинальное значение частоты, установленное на измерителе, Гц;
 $f_{\text{и}}$ – значение частоты, измеренное частотомером, Гц.

Определение нестабильности частоты выходного СВЧ сигнала по истечении времени установления рабочего режима проводят по схеме рисунка 4 на частотах 31,0 ГГц; 45,5 ГГц; 65,5 ГГц и 149 ГГц (для измерителей Р2-МВМ-37, Р2-МВМ-53, Р2-МВМ-78 и Р2-МВМ-178 соответственно) в следующей последовательности:

- устанавливают на измерителе фиксированное значение частоты в режиме непрерывной генерации;
- в течение промежутка времени $t = 15$ мин каждую 1 мин фиксируют частоту сигнала измерителя;
- из полученных результатов выбирают максимальное и минимальное значение частоты сигнала;
- вычисляют нестабильность частоты δ_n за промежуток времени t по формуле

$$\delta_n = \frac{f_{\max} - f_{\min}}{f_{\text{ном}}}, \quad (2)$$

где $f_{\max}$ – максимальное значение частоты сигнала измерителя за время измерения, Гц,

$f_{\min}$ – минимальное значение частоты сигнала измерителя за время измерения, Гц;

$f_{\text{ном}}$ – номинальное значение частоты, установленное на измерителе, Гц.

Результаты поверки считают удовлетворительными, если максимальные значения относительной погрешности установки частоты и значения нестабильности частоты не превышают значений, указанных в приложении А.

7 Оформление результатов поверки

7.1 Результаты поверки заносят в протокол, форма которого приведена в приложении Б.

7.2 При положительных результатах поверки измерителя на него наносят знак поверки и (или) выдают свидетельство о поверке:

- для измерителя, применяемого при измерениях в сфере законодательной метрологии, по форме, установленной [1];
- для измерителя, применяемого при измерениях вне сферы законодательной метрологии, по форме, установленной в ТКП 8.007-2023.

7.3 При отрицательных результатах первичной поверки измерителя выдают заключение о непригодности:

- для измерителя, применяемого при измерениях в сфере законодательной метрологии, по форме, установленной [1];
- для измерителя, применяемого при измерениях вне сферы законодательной метрологии, по форме, установленной в ТКП 8.007-2023.

При отрицательных результатах последующей поверки измерителя выдают заключение о непригодности:

- для измерителя, применяемого при измерениях в сфере законодательной метрологии, по форме, установленной [1];
- для измерителя, применяемого при измерениях вне сферы законодательной метрологии, по форме, установленной в ТКП 8.007-2023.

Ранее нанесенный знак поверки подлежит уничтожению путем приведения его в состояние, непригодное для дальнейшего применения, предыдущее свидетельство о поверке прекращает свое действие.

Приложение А (обязательное)

Обязательные метрологические требования к измерителям

Обязательные метрологические требования к измерителям приведены в таблице А.1.

Таблица А.1

Наименование	Значение
Диапазон рабочих частот, ГГц – для измерителей Р2-МВМ-37 – для измерителей Р2-МВМ-53 – для измерителей Р2-МВМ-78 – для измерителей Р2-МВМ-178	от 25,95 до 37,50 от 37,50 до 53,57 от 53,57 до 78,33 от 118,1 до 178,4
Пределы допускаемой относительной погрешности установки частоты выходного СВЧ сигнала, по истечении времени установления рабочего режима	$\pm 2 \cdot 10^{-6}$
Нестабильность частоты выходного СВЧ сигнала за любой 15-минутный интервал, по истечении времени установления рабочего режима	$\pm 5 \cdot 10^{-7}$
Диапазон измерения КСВН	от 1,1 до 5,0
Пределы допускаемой относительной погрешности при измерении КСВН, %: – для измерителей Р2-МВМ-37, Р2-МВМ-53, Р2-МВМ-78 – для измерителей Р2-МВМ-178: – в диапазоне частот от 118,1 до 170,0 ГГц – в диапазоне частот от 170,0 до 178,4 ГГц	$\pm(6 + 5 \cdot \text{КСВН})$ $\pm(6 + 7 \cdot \text{КСВН})$ не нормируются
Диапазон измерения модуля коэффициента передачи, дБ	от 0 до минус 50
Пределы допускаемой абсолютной погрешности при измерении модуля коэффициента передачи, дБ: – для измерителей Р2-МВМ-37 – для измерителей Р2-МВМ-53 – для измерителей Р2-МВМ-78 – для измерителей Р2-МВМ-178: – в диапазоне частот от 118,1 до 170,0 ГГц – в диапазоне частот от 170,0 до 178,4 ГГц	$\pm(0,30 + 0,03 \cdot S_{21})$ $\pm(0,30 + 0,04 \cdot S_{21})$ $\pm(0,30 + 0,05 \cdot S_{21})$ $\pm(0,50 + 0,06 \cdot S_{21})$ не нормируются
Примечания: 1 КСВН – измеренное значение коэффициента стоячей волны по напряжению. 2 $ S_{21} $ – измеренное значение модуля коэффициента передачи, дБ.	

Приложение Б
(рекомендуемое)
Форма протокола поверки

ПРОТОКОЛ № _____

поверки _____

наименование средства измерений

тип _____ № _____

принадлежащего _____

наименование организации

Изготовитель _____

наименование изготовителя

Дата проведения поверки _____

с ... по ...

Поверка проводится по _____

обозначение документа, по которому проводят поверку

Средства поверки

Таблица Б.1

Наименование средства измерений, тип	Заводской номер

Условия поверки

Таблица Б.2

Наименование характеристики, единица измерения	Измеренное значение
Температура окружающего воздуха, °С	
Относительная влажность воздуха, %	

Результаты поверки

1 Внешний осмотр _____

соответствует/не соответствует

2 Опробование _____

соответствует/не соответствует

3.1 Проверка диапазона измерений и определение относительной погрешности при измерении коэффициента стоячей волны по напряжению

Частота, МГц	Эталонное значение КСВН КСВН _э	Относительная погрешность при измерениях КСВН $\delta_{\text{КСВН}}$, %	Пределы допускаемой относительной погрешности при измерениях КСВН, %

Частота, МГц	Эталонное значение модуля коэффициента передачи $ S_{21} _э$, дБ	Абсолютная погрешность при измерении модуля коэффициента передачи $\Delta S_{21} $, дБ	Пределы допускаемой абсолютной погрешности при измерении модуля коэффициента передачи $ S_{21} $, дБ

Установленное значение частоты $f_{\text{ном}}$, МГц	Измеренное значение частоты $f_{\text{и}}$, Гц	Относительная погрешность установки частоты δ_f	Пределы допускаемой относительной погрешности установки частоты

12

Библиография

- [1] Правила осуществления метрологической оценки в виде работ по государственной поверке средств измерений
Утверждены постановлением Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь от 21 апреля 2021 г. № 40

Лист регистрации изменений

Изменение	Номера листов (страниц)				Всего листов (страниц) в докум.	№ документа	Входящий № сопрово- дительного документа и дата	Подпись	Дата
	Измененных	Замененных	Новых	Аннулированных					