

**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

(подпись)

М.п. «17» мая 2022 г.



**Государственная система по обеспечению единства измерений
Мера электрической емкости многозначная ПМЕ-1**

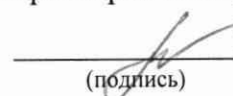
Методика поверки

МП 2202-0083-2022

**Руководитель лаборатории
государственных эталонов в области измерения
параметров электрических цепей**

**Ю.П. Семенов**
(подпись)

**Заместитель руководителя лаборатории
государственных эталонов в области измерений
параметров электрических цепей**

**Е.В. Кривицкая**
(подпись)

г. Санкт-Петербург

2022 г.

1 Общие положения

1.1 Область применения

Мера электрической емкости многозначная ПМЕ-1 (далее по тексту – мера ПМЕ-1), применяемая в качестве рабочего эталона единицы электрической емкости 1-го разряда. Результаты измерений, полученные при поверке, должны иметь прослеживаемость к Государственному первичному эталону единицы электрической емкости ГЭТ 25-79 в соответствии с ГОСТ 8.371-80 «ГСИ. Государственный первичный эталон и общесоюзная поверочная схема для средств измерений электрической емкости»

В результате поверки должны быть подтверждены следующие метрологические требования, приведенные в таблице 1.

Данная методика поверки устанавливает методику первичной и периодической поверок меры ПМЕ-1. Методикой поверки предусмотрена возможность проведения поверки в ограниченном диапазоне номинальных значений электрической емкости и частот.

Мера электрической емкости многозначная ПМЕ-1 предназначена для воспроизведения, хранения и передачи единицы электрической емкости в диапазоне частот от 40 Гц до 100 кГц.

Методы, обеспечивающие реализацию методики поверки: сличение поверяемого средства измерений с эталоном с помощью компаратора.

Таблица 1 – Метрологические требования

Номинальное значение электрической емкости	Пределы допускаемой основной относительной погрешности определения действительного значения электрической емкости, %, при частоте, Гц				Относительная нестабильность емкости за год v_0 при частоте 1 кГц, %, не более
	50	10^3	10^4	10^5	
(100 – 900) пФ	$\pm 0,01$	$\pm 0,01$	$\pm 0,01$	$\pm 0,01$	$\pm 0,007$
(1 – 90) нФ	$\pm 0,01$	$\pm 0,01$	$\pm 0,01$	$\pm 0,02$	$\pm 0,007$
100 нФ	$\pm 0,01$	$\pm 0,01$	$\pm 0,02$	$\pm 0,05$	$\pm 0,007$
(200 – 900) нФ	$\pm 0,01$	$\pm 0,01$	$\pm 0,02$	–	$\pm 0,007$
(1 – 1,111) мкФ	$\pm 0,02$	$\pm 0,02$	$\pm 0,03$	–	$\pm 0,014$

Примечание: Допускается применение меры в сокращенном диапазоне номинальных значений емкости и при других частотах, отличных от указанных, но не более 100 кГц. В этом случае пределы допускаемой погрешности не должны превышать предельные значения, установленные в ГПС

2 Перечень операций поверки средства измерений

Для поверки меры ПМЕ-1 должны быть выполнены операции, указанные в таблице 2.

Таблица 2 – Перечень операций поверки

Наименование операции	Обязательность выполнения операций поверки при		Номер раздела (пункта) методики поверки, в соответствии с которым выполняется операция поверки
	первичной поверке	периодической поверке	
Внешний осмотр средства измерений	Да	Да	7
Подготовка к поверке и опробование средства измерений	-	-	
Контроль условий поверки	Да	Да	8.1
Проверка электрической прочности изоляции	Да	Нет	8.2
Опробование	Да	Да	8.3
Определение метрологических характеристик и подтверждение соответствия метрологическим требованиям:	-	-	
Определение действительного значения емкости	Да	Да	9.1
Определение относительной погрешности измерения электрической емкости	Да	Да	9.2
Определение относительной нестабильности емкости за год	Да*	Да	9.3
Подтверждение соответствия метрологическим требованиям	Да*	Да	9.4
Примечание: *за исключением поверки после ремонта			

3 Требования к условиям проведения поверки

Таблица 3 – Требования к условиям проведения поверки

Влияющая величина	Значение влияющей величины
Температура окружающего воздуха, °С	от +19 до +21
Относительная влажность воздуха, %	не более 80
Атмосферное давление, кПа (мм рт. ст.)	от 97 до 105 (от 728 до 788)

4 Требования к специалистам, осуществляющим поверку

К проведению поверки допускаются лица, изучившие настоящую методику поверки, эксплуатационные документы на меру и измерительное оборудование, ГОСТ 8.371-80.

5 Метрологические и технические требования к средствам поверки

Таблица 4 – Метрологические и технические требования к средствам поверки

Операции поверки, требующие применение средств поверки	Наименование и тип (условное обозначение) основного или вспомогательного средства поверки; обозначение нормативного документа, регламентирующего технические требования, и (или) метрологические и основные технические характеристики средства поверки	Перечень рекомендуемых средств поверки
Контроль условий поверки (п. 8.1)	Средства измерений температуры окружающего воздуха в диапазоне измерений от 15 °С до 25 °С с абсолютной погрешностью не более 0,5 °С; Средства измерений относительной влажности воздуха в диапазоне от 20 до 80 % с погрешностью не более 3 %; Средства измерений атмосферного давления в диапазоне от 80 до 107 кПа, с абсолютной погрешностью не более 0,5 кПа;	Прибор комбинированный Testo 622, рег. № 53505-13
Проверка электрической прочности изоляции (п. 8.2)	Высоковольтная установка (на испытательное напряжение не ниже 500 В), частота 50 Гц	Установка УИВ-100, до 100 кВ
Опробование (п. 8.3)	Средства измерений напряжения постоянного тока в диапазоне 1 В – 100 В с относительной погрешностью не более 0,05 %	Нановольтметр/микроомметр 34420А, рег. № 76895-19
Определение метрологических характеристик и подтверждение соответствия метрологическим требованиям (п. 9)	Эталоны единицы электрической емкости, соответствующие требованиям к эталонам не ниже, чем к вторичному рабочему эталону по ГПС (ГОСТ 8.371-80), в диапазоне значений электрической емкости от 100 пФ до 2 мкФ	Государственный вторичный эталон единицы электрической емкости в диапазоне от 1 фФ до 1 Ф в диапазоне частот от 0,001 Гц до 30 МГц
Примечание - Допускается использовать при поверке другие средства измерений утвержденного типа и поверенные, аттестованные эталоны и аттестованное испытательное оборудование, удовлетворяющие метрологическим требованиям, указанным в таблице. В случае изменения Государственной поверочной схемы (ГПС) для средств измерений электрической емкости, необходимо сопоставить требования к средствам поверки и обязательные требования действующей ГПС. Работа с указанными средствами измерений должна проводиться в соответствии с документацией по их эксплуатации.		

6 Требования (условия) по обеспечению безопасности проведения поверки

При проведении поверки должны быть соблюдены требования безопасности, установленные ГОСТ 12.3.019-80 «Правила техники безопасности, при эксплуатации электроустановок потребителей», «Межотраслевыми правилами по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок». Соблюдены требования безопасности, изложенные в эксплуатационной документации на меру.

При проведении поверки, поверяемые СИ и СИ, применяемые при поверке, должны быть заземлены.

Требования безопасности – по ГОСТ Р 52319 – для класса защиты I, категории измерений.

7 Внешний осмотр средства измерений

При проведении внешнего осмотра должно быть установлено соответствие меры ПМЕ-1 следующим требованиям:

- мера ПМЕ-1, представленная на периодическую поверку, должна иметь данные о предыдущей поверке;
- мера ПМЕ-1 после ремонта должна быть представлена на первичную поверку;
- корпус меры ПМЕ-1 и разъемы не должны иметь механических повреждений;
- отсутствие нарушения жесткой фиксации электрических соединителей (клемм) для подключения внешних цепей к мере;
- проверку соответствия внешнего вида СИ описанию типа СИ;
- проверку наличия знака утверждения типа в месте, указанном в описании типа СИ;
- выявление дефектов, способных оказать влияние на безопасность проведения поверки и (или) на результаты поверки; устранение выявленных дефектов до начала поверки
- отсутствие внутри корпуса посторонних предметов или отсоединившихся деталей.

Результаты внешнего осмотра считаются положительными, если мера ПМЕ-1 соответствуют вышеуказанным требованиям.

8 Подготовка к поверке и опробование средства измерений

8.1 Контроль условий поверки

Выдержать меру ПМЕ-1 в течение не менее 4 ч при условиях окружающей среды, указанных в таблице 3.

Подготовить к работе эталоны и средства измерений, используемые при поверке (таблица 4) в соответствии с эксплуатационной документацией.

Проверить условия окружающей среды: температуру окружающего воздуха, относительную влажность воздуха, атмосферное давление. Условия окружающей среды должны не превышать значений, указанных в пункте 3 (таблица 3).

8.2 Проверка электрической прочности изоляции

Проверку проводят с помощью испытательной высоковольтной установки. Подают испытательное напряжение 500 В переменного тока частотой 50 Гц между соединенными вместе штекерами вилки питающего кабеля и корпусом в течении 1 мин.

Мера ПМЕ-1 считается выдержавшей испытание, если не произошло полного пробоя или поверхностного перекрытия изоляции.

8.3 Опробование

При опробовании проверяют исправность блока питания, электрических соединителей для подключения внешних цепей к мере, работоспособность кнопок управления и корректность ввода емкости номинальных значений.

При проверке блока питания вилку от блока питания подключают к розетке, а выходные клеммы блока питания подключают к нановольтметру/ микроомметру (мультиметру) или измерителю напряжения постоянного тока для определения выходного напряжения. Измеренное напряжение постоянного тока не должно превышать 12 ± 1 В.

Работоспособность кнопок управления и корректность ввода емкости номинальных значений проверяют путем ввода произвольных значений из указанных в таблице 5 при частоте 1 кГц. Введенные значения должны отображаться на дисплее меры в строке «Набор». Сравнивают установленные данные на мере с измеренными на измерителе.

9 Определение метрологических характеристик меры и подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям

9.1 Определение действительного значения меры

Действительные значения емкости C_x меры ПМЕ-1 определяют методом замещения путем сличения исследуемой меры с набором эталонных мер электрической емкости при помощи компаратора при частотах, указанных в таблице 5.

При измерении электрической емкости дополнительно определяют значения тангенса угла потерь D_x на частоте 1 кГц. Тангенс угла потерь D_x не должен превышать $5 \cdot 10^{-4}$ для всех номинальных значений меры ПМЕ-1 при частоте 1 кГц.

Подключают внешнюю эталонную меру (100 пФ), позволяющую передать значение начальной минимальной точке 100 пФ ПМЕ-1. Далее передают значение электрической емкости следующей точке 200 пФ путем суммирования внешней эталонной меры с встроенной мерой 100 пФ меры ПМЕ-1. Далее с помощью двух мер передаются значения суммы 100 пФ и 200 пФ - получается 300 пФ и передается значение встроенной меры 300 пФ меры ПМЕ-1. После этого производим передачу встроенной мере 400 пФ с помощью суммирования значений мер 100 пФ и 300 пФ. Тем самым, определяем действительные значения 1-ой декады многозначной меры, имеющей 4 конденсатора с номинальными значениями 100, 200, 300 и 400 пФ. Далее, чтоб передать действительное значение 2-ой декаде необходимо использовать комбинацию четырех мер первой декады, оставшимся трем декадам присваивают значения аналогично.

Таблица 5 – Пределы допускаемой основной относительной погрешности меры ПМЕ-1

Номинальное значение электрической емкости	Пределы допускаемой основной относительной погрешности определения действительного значения электрической емкости, %, при частоте, Гц			
	40 - 60	$1 \cdot 10^3$	$1 \cdot 10^4$	$1 \cdot 10^5$
(100 – 900) пФ	$\pm 0,01$	$\pm 0,01$	$\pm 0,01$	$\pm 0,01$
(1 – 90) нФ	$\pm 0,01$	$\pm 0,01$	$\pm 0,01$	$\pm 0,02$
100 нФ	$\pm 0,01$	$\pm 0,01$	$\pm 0,02$	$\pm 0,05$
(200 – 900) нФ	$\pm 0,01$	$\pm 0,01$	$\pm 0,02$	–
1 мкФ	$\pm 0,02$	$\pm 0,02$	$\pm 0,03$	–

Действительные значения емкости C_x и тангенса угла потерь D_x меры ПМЕ-1 вычисляют по формулам:

$$C_x = C_N + \Delta C, \quad (1)$$

$$\operatorname{tg} \delta_x = \operatorname{tg} \delta_N + \Delta \operatorname{tg} \delta, \quad (2)$$

где C_N , δ_N - действительные значения емкости и тангенса угла потерь эталонной меры соответственно;

ΔC , $\Delta \operatorname{tg} \delta$ - разность отсчетов по емкости или тангенсу угла потерь при измерениях испытуемой и эталонной мер соответственно; в качестве разности отсчетов принимают среднее арифметическое пяти результатов измерений.

9.2 Определение относительной погрешности измерения электрической емкости δ

Относительную погрешность измерения электрической емкости, в процентах определяют по формуле:

$$\delta = 1,1 \sqrt{S_{\Sigma 0}^2 + \delta_k^2 + v_0^2}, \quad (3)$$

где $S_{\Sigma 0}$ - среднее квадратичное отклонение суммарной погрешности эталона;

δ_k - относительная погрешность компарирования/замещения;

v_0 - относительная нестабильность испытуемой меры.

Полученное значение не должно превышать значений, указанных в таблице 5.

9.3 Определение относительной нестабильности за год

Относительную нестабильность v (изменение) меры емкости за год в процентах определяют при частоте 1 кГц по формуле:

$$v = \frac{C_x - C_{хп}}{m \cdot C_n} \cdot 100, \quad (4)$$

где C_x — действительное значение емкости меры при текущих измерениях, пФ;

$C_{хп}$ — действительное значение емкости меры при предыдущих измерениях, пФ;

m — число лет, прошедших со времени предыдущих измерений;

C_n — номинальное значение емкости меры, пФ.

Относительную нестабильность должна быть не более 0,7 предела допускаемой погрешности, указанного в таблице 5.

9.4 Подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям

Оценка соответствия меры обязательным метрологическим требованиям к рабочему эталону единицы электрической емкости 1-го разряда проводится на соответствие ГОСТ 8.371-80. Определяются относительная погрешность измерений электрической емкости и относительная нестабильность емкости за год по формулам (3) и (4).

Результаты оценки считаются положительными, если относительная погрешность измерения электрической емкости и относительная нестабильность емкости за год не превышают значений, указанных в таблице 6.

Таблица 6 – Проверка на соответствие обязательным метрологическим требованиям

$C_{ном}$	C_x	$C_{хп}$	Относительная погрешность измерений емкости, %		Относительная нестабильность за год, %	
			фактическая	допускаемая	фактическая	допускаемая
100 пФ				$\pm 0,01$		$\pm 0,007$
200 пФ				$\pm 0,01$		$\pm 0,007$
300 пФ				$\pm 0,01$		$\pm 0,007$
400 пФ				$\pm 0,01$		$\pm 0,007$
1 нФ				$\pm 0,01$		$\pm 0,007$
2 нФ				$\pm 0,01$		$\pm 0,007$
3 нФ				$\pm 0,01$		$\pm 0,007$
4 нФ				$\pm 0,01$		$\pm 0,007$
10 нФ				$\pm 0,01$		$\pm 0,007$
20 нФ				$\pm 0,01$		$\pm 0,007$
30 нФ				$\pm 0,01$		$\pm 0,007$
40 нФ				$\pm 0,01$		$\pm 0,007$
100 нФ				$\pm 0,01$		$\pm 0,007$
200 нФ				$\pm 0,01$		$\pm 0,007$
300 нФ				$\pm 0,01$		$\pm 0,007$
400 нФ				$\pm 0,01$		$\pm 0,007$
1 мкФ				$\pm 0,02$		$\pm 0,014$

Примечание: $C_{ном}$ — номинальное значение емкости меры; C_x — действительное значение емкости меры при текущих измерениях; $C_{хп}$ — действительное значение емкости меры при предыдущих измерениях.

10 Оформление результатов поверки

Положительные результаты первичной и периодической поверки меры ПМЕ-1 передаются в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений. По требованию заказчика знак поверки наносится на свидетельство о поверке.

Рекомендуемая форма протокола поверки приведена в Приложении А.

Если по результатам поверки меру признают не годной, то оформляется извещение о непригодности с протоколом поверки (Приложении А).

Знак поверки наносится на свидетельство о поверке (при его оформлении) по требованию заказчика.

Всего листов ____ Лист ____

Уникальный номер записи об аккредитации в реестре аккредитованных лиц

Адрес организации, проводящей поверку

ПРОТОКОЛ ПОВЕРКИ

№ _____ от _____ г.

Наименование средства измерения (эталона), тип	Мера электрической емкости многозначная ПМЕ-1
Регистрационный номер в Федеральном информационном фонде	
Заводской (серийный) номер или буквенно-цифровое обозначение	03
Изготовитель	ООО «ИММ Сервис», г. Санкт-Петербург
Год выпуска	2014
Заказчик	
Серия и номер знака предыдущей поверки	
Дата предыдущей поверки	

Вид поверки: первичная (периодическая) поверка

Методика поверки: МП 2202-0083-2022 «ГСИ. Мера электрической емкости многозначная ПМЕ-1. Методика поверки»

Средства поверки:

Условия поверки:

Параметры	Требования НД	Измеренные значения
температура окружающего воздуха, °С	от 19 до 21	
относительная влажность воздуха, %	не более 80	
атмосферное давление, кПа	от 97 до 105	

Результаты поверки

1. Внешний осмотр: _____

2. Электрическая прочность изоляции (заполняется при первичной поверке) _____

3. Опробование: _____

4. Определение метрологических характеристик (в соответствии с требованиями методики поверки _____)

Таблица 2 — Результаты поверки

Номинальное значение емкости	Действительные значения емкости и тангенса угла потерь при частотах					Относительная нестабильность за год, %	
	50 Гц	1 кГц		10 кГц	100 кГц	фактическая	допускаемая
	C	C	D, 10 ⁻⁴	C	C		
100 пФ							±0,007
200 пФ							±0,007
300 пФ							±0,007
400 пФ							±0,007
Σ(100-400) пФ							±0,007
1 нФ							±0,007
2 нФ							±0,007
3 нФ							±0,007
4 нФ							±0,007
Σ(1-4) нФ							±0,007
10 нФ							±0,007
20 нФ							±0,007

Номинальное значение емкости	Действительные значения емкости и тангенса угла потерь при частотах					Относительная нестабильность за год, %	
	50 Гц	1 кГц		10 кГц	100 кГц	фактическая	допускаемая
	C	C	D, 10^{-4}	C	C		
30 нФ							±0,007
40 нФ							±0,007
$\Sigma(10-40)$ нФ							±0,007
100 нФ							±0,007
200 нФ					-		±0,007
300 нФ					-		±0,007
400 нФ					-		±0,007
$\Sigma(100-400)$ нФ, 1 мкФ					-		±0,014
Σ (всех декад) 1,111 мкФ					-		±0,014
C - емкость; D - тангенс угла потерь							

Таблица 3 — Определение погрешности измерений емкости

Номинальное значение емкости	Относительная погрешность измерений емкости, %							
	50 Гц		1 кГц		10 кГц		100 кГц	
	фактическая	допускаемая	фактическая	допускаемая	фактическая	допускаемая	фактическая	допускаемая
100 пФ		±0,01		±0,01		±0,01		±0,01
200 пФ		±0,01		±0,01		±0,01		±0,01
300 пФ		±0,01		±0,01		±0,01		±0,01
400 пФ		±0,01		±0,01		±0,01		±0,01
Σ(100-400) пФ		±0,01		±0,01		±0,01		±0,02
1 нФ		±0,01		±0,01		±0,01		±0,02
2 нФ		±0,01		±0,01		±0,01		±0,02
3 нФ		±0,01		±0,01		±0,01		±0,02
4 нФ		±0,01		±0,01		±0,01		±0,02
Σ(1-4) нФ		±0,01		±0,01		±0,01		±0,02
10 нФ		±0,01		±0,01		±0,01		±0,02
20 нФ		±0,01		±0,01		±0,01		±0,02
30 нФ		±0,01		±0,01		±0,01		±0,02
40 нФ		±0,01		±0,01		±0,01		±0,02
Σ(10-40) нФ		±0,01		±0,01		±0,02		±0,05
100 нФ		±0,01		±0,01		±0,02		±0,05
200 нФ		±0,01		±0,01		±0,02		-
300 нФ		±0,01		±0,01		±0,02		-
400 нФ		±0,01		±0,01		±0,02		-
Σ (100-400) нФ, 1 мкФ		±0,02		±0,02		±0,03		-
Σ (всех декад) 1,111 мкФ		±0,02		±0,02		±0,03		-

5. Дополнительная информация: _____

Заключение: эталон соответствует (не соответствует) предъявляемым требованиям и признан годным (непригодным) к применению в качестве рабочего эталона единицы электрической емкости 1 разряда в соответствии с ГОСТ 8.371-80 «ГСИ. Государственный первичный эталон и общесоюзная поверочная схема для средств измерений электрической емкости».

На основании результатов поверки выдано (по заявлению владельца СИ)

Свидетельство о поверке № _____ от _____ г.

Поверку провёл _____ г.