

Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии
Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-
исследовательский институт метрологии им. Д.И. Менделеева»
Уральский научно-исследовательский институт метрологии –
филиал федерального государственного унитарного предприятия «Всероссийский научно-
исследовательский институт метрологии им.Д.И.Менделеева»
(УНИИМ – филиал ФГУП «ВНИИМ им.Д.И.Менделеева»)

СОГЛАСОВАНО

Директор УНИИМ – филиала
ФГУП «ВНИИМ им.Д.И.Менделеева»

Е.П. Соби́на
"27" января 2025 г.



«ГСИ. Приборы для измерений межфазного натяжения
Тензиометр-МОК. Методика поверки»

МП 66-251-2024

Екатеринбург
2025 г.

ПРЕДИСЛОВИЕ

1. РАЗРАБОТАНА Уральским научно-исследовательским институтом метрологии – филиалом Федерального государственного унитарного предприятия «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д.И. Менделеева» (УНИИМ – филиал ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»)
2. ИСПОЛНИТЕЛЬ зам. зав. лаб. 251, ВострокнUTOва Е.В.
3. СОГЛАСОВАНА директором УНИИМ – филиала ФГУП «ВНИИМ им.Д.И.Менделеева» в 2025 г.

СОДЕРЖАНИЕ

1	Общие положения.....	4
2	Нормативные ссылки.....	4
3	Перечень операций поверки средства измерений	5
4	Требования к условиям проведения поверки.....	5
5	Требования к специалистам, осуществляющим поверку	6
6	Метрологические и технические требования к средствам поверки	6
7	Требования (условия) по обеспечению безопасности проведения поверки	7
8	Внешний осмотр средства измерений	7
9	Подготовка к поверке и опробование средства измерений	7
10	Проверка программного обеспечения средства измерений	8
11	Определение метрологических характеристик средства измерений и подтверждение соответствия метрологическим требованиям.....	9
12	Оформление результатов поверки	12
	ПРИЛОЖЕНИЕ А	13

1 Общие положения

1.1 Настоящая методика поверки распространяется на приборы для измерений межфазного натяжения Тензиометр-МОК (далее – тензиометры), выпускаемые ООО «ИЦ ЭЛХРОМ», Россия. Тензиометры подлежат первичной и периодической поверке. Поверка тензиометров должна производиться в соответствии с требованиями настоящей методики.

1.2 При проведении поверки прослеживаемость тензиометров обеспечивается к:

– ГЭТ 3-2020 «Государственному первичному эталону единицы массы – килограмма» путем применения средств измерений утвержденных типов в соответствии с поверочной схемой, утвержденной приказом Росстандарта от 04.07.2022 г. № 1622 «Об утверждении Государственной поверочной схемы для средств измерений массы»;

– ГЭТ 17-2018 «Государственному первичному эталону единицы плотности» путем применения средств измерений утвержденных типов в соответствии с поверочной схемой, утвержденной приказом Росстандарта от 01.11.2019 г. № 2603 «Об утверждении Государственной поверочной схемы для средств измерений плотности»;

– ГЭТ 2-2020 «Государственному первичному эталону единицы длины – метра» путем применения средств измерений утвержденных типов в соответствии с поверочной схемой, утвержденной приказом Росстандарта от 29.12.2018 г. № 2840 «Об утверждении Государственной поверочной схемы для средств измерений длины в диапазоне от $1 \cdot 10^{-9}$ до 100 м и длин волн в диапазоне от 0,2 до 50 мкм».

1.3 В настоящей методике поверки реализована поверка методом прямых и косвенных измерений.

1.4 Настоящая методика поверки применяется для поверки тензиометров, используемых в качестве рабочих средств измерений. В результате поверки должны быть подтверждены метрологические требования, приведенные в таблице 1.

Таблица 1 – Метрологические характеристики

Наименование характеристики	Значение
Диапазон измерений межфазного натяжения, мН/м	от 1 до 100
Пределы допускаемой относительной погрешности измерений межфазного натяжения, %	± 5

2 Нормативные ссылки

2.1 В настоящей методике поверки использованы ссылки на следующие документы:

– Приказ Росстандарта от 04.07.2022 г. № 1622 «Об утверждении Государственной поверочной схемы для средств измерений массы»;

– Приказ Росстандарта от 01.11.2019 г. № 2603 «Об утверждении Государственной поверочной схемы для средств измерений плотности»;

– Приказ Росстандарта от 29.12.2018 г. № 2840 «Об утверждении Государственной поверочной схемы для средств измерений длины в диапазоне от $1 \cdot 10^{-9}$ до 100 м и длин волн в диапазоне от 0,2 до 50 мкм»;

– Приказ Министерства труда и Социальной защиты РФ от 15.12.2020 г. № 903н «Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок»;

– ГОСТ 12.2.007.0-75 «Система стандартов безопасности труда. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности»;

– ГОСТ OIML R 76-1-2011 «Весы неавтоматического действия. Часть 1. Метрологические и технические требования. Испытания»;

– ГОСТ Р 52501-2005 «Вода для лабораторного анализа. Технические условия»;

- ГОСТ 22524-77 «Пикнометры стеклянные. Технические условия»;
- ГОСТ 3900-2022 «Нефть и нефтепродукты. Методы определения плотности»;
- ГОСТ 18481-81 «Ареометры и цилиндры стеклянные. Общие технические условия»;
- ГОСТ 25336-82 «Посуда и оборудование лабораторные стеклянные. Типы, основные параметры и размеры»;
- ГОСТ ISO 7886-1-2011 «Шприцы инъекционные однократного применения стерильные. Часть 1. Шприцы для ручного использования»;
- ГСССД 2-77 «Вода. Плотность при атмосферном давлении и температурах от 0 град. до 100 град. С»;
- ГСССД 142-89 «Вода. Поверхностное натяжение при температурах 0 град. ...379,99 град. С».

3 Перечень операций поверки средства измерений

3.1 При поверке должны быть выполнены операции, указанные в таблице 2.

Таблица 2 –Операции поверки

Наименование операции	Обязательность проведения операций при		Номер раздела (пункта) методики поверки, в соответствии с которым выполняется операция поверки
	первичной поверке	периодической поверке	
Внешний осмотр	да	да	8
Подготовка к поверке и опробование	да	да	9.1, 9.3-9.4
Определение наружного диаметра, наружного радиуса капилляра и абсолютной погрешности измерений наружного радиуса капилляра	да	нет	9.2
Проверка программного обеспечения	да	да	10
Определение метрологических характеристик средства измерений и подтверждение соответствия метрологическим требованиям	да	да	11
Определение относительной погрешности измерений межфазного натяжения и проверка диапазона измерений межфазного натяжения	да	да	11.1

3.2 В случае невыполнения требований хотя бы к одной из операций поверка прекращается и выполняются операции по п. 12.4.

3.3 В случае замены капилляра проводятся измерения наружного диаметра капилляра, рассчитывается значение наружного радиуса капилляра и абсолютной погрешности измерений радиуса капилляра в соответствии с п. 9.2 настоящей методики поверки. Полученные значения заносят в паспорт тензиометра. В данном случае проводят первичную поверку.

4 Требования к условиям проведения поверки

4.1 При проведении поверки должны быть соблюдены следующие условия:

- температура окружающей среды, °С от + 15 до + 25
- относительная влажность, %, не более 40

5 Требования к специалистам, осуществляющим поверку

5.1 К проведению работ по поверке тензиометров допускаются лица, прошедшие обучение в качестве поверителя, изучившие руководство по эксплуатации на тензиометры (далее – РЭ) и настоящую методику поверки.

6 Метрологические и технические требования к средствам поверки

6.1 При проведении поверки применяют оборудование согласно таблице 3.

Таблица 3 – Средства поверки

Операции поверки, требующие применения средств поверки	Метрологические и технические требования к средствам поверки, необходимые для проведения поверки	Перечень рекомендуемых средств поверки
п. 9 Подготовка к поверке и опробование средства измерений	Средства измерений температуры окружающей среды в диапазоне измерений от плюс 10 °С до плюс 30 °С с абсолютной погрешностью не более ± 1 °С; Средства измерений относительной влажности воздуха в диапазоне от 20 % до 90 %, с абсолютной погрешностью не более ± 3 %	Термогигрометры электронные «CENTER» моделей 310, 311, 313, 314, 315, 316 (рег.№ 22129-09)
	Рабочий эталон единицы длины 4 разряда в соответствии с приказом Росстандарта от 29.12.2018 г. № 2840 «Об утверждении государственной поверочной схемы для средств измерений длины в диапазоне от $1 \cdot 10^{-9}$ до 100 м и длин волн в диапазоне от 0,2 до 50 мкм», диапазон измерений от 0 до 2 мм	Микроскоп видеоизмерительный MBZ-500TT ЧПУ, рег. № 74241-19.
п.11 Определение метрологических характеристик средства измерений	Средство измерений плотности жидкостей, диапазон измерений плотности от 0,60 до 1,30 г/см ³ , абсолютная погрешность измерений плотности $\pm 0,005$ г/см ³	Измеритель плотности жидкостей вибрационный ВИП-2МР, рег.№27163-09; Пикнометр стеклянный по ГОСТ 22524-77; Ареометр по ГОСТ 18481-81
	Средство измерений массы, не ниже I (специального) класса точности в соответствии с ГОСТ OIMLR 76-1-2011	Весы лабораторные ХР Analytical, рег.№44573-10
	Масло трансформаторное	
	Вода для лабораторного анализа 1-ой степени чистоты по ГОСТ Р 52501-2005	
Приложение А Определение плотности трансформаторного масла пикнометрическим методом	Средство измерений массы, не ниже I (специального) класса точности в соответствии с ГОСТ OIMLR 76-1-2011	Весы лабораторные ХР Analytical, рег.№44573-10
	Эталоны единицы температуры, соответствующие требованиям к рабочим эталонам не ниже 3 разряда в соответствии с приказом Росстандарта от 23.12.2022 г. № 3253 «Об утверждении Государственной поверочной схемы для средств измерений температуры» в диапазоне значений температуры от плюс 10 °С до плюс 100 °С	Термометр сопротивления платиновый вибропрочный эталонный ПТСВ-6м-3, рег. №57690-14

Операции поверки, требующие применения средств поверки	Метрологические и технические требования к средствам поверки, необходимые для проведения поверки	Перечень рекомендуемых средств поверки
Приложение А Определение плотности трансформаторного масла пикнометрическим методом	Измеритель температуры в диапазоне от плюс 10 °С до плюс 100 °С с абсолютной погрешностью не хуже $\pm 0,01$ °С.	Измеритель температуры двухканальный прецизионный МИТ 2.05М, рег. №29933-05
	Термостат жидкостный, диапазон воспроизводимой температуры от +15 °С до +30 °С, точность поддержания температуры не хуже 0,05 °С	Термостат жидкостный низкотемпературный КРИО-ВТ-08
	Пикнометр стеклянный объемом 2 или 3 см ³ по ГОСТ 22524	
	Стакан химический вместимостью 10 см ³ по ГОСТ 25336	
	Шприц одноразовый объемом 5 см ³ с иглой ГОСТ ISO 7886-1-2011	
	Масло трансформаторное	
<i>Примечание - Допускается использовать при поверке другие утвержденные и аттестованные эталоны единиц величин, средства измерений утвержденного типа и поверенные, удовлетворяющие метрологическим требованиям, указанным в таблице.</i>		

6.2 Приложение А настоящей методики измерений используют только в случае определения плотности масла пикнометрическим методом.

7 Требования (условия) по обеспечению безопасности проведения поверки

7.1 При проведении поверки должны быть соблюдены требования Приказа Министерства труда и Социальной защиты РФ от 15.12.2020 г. № 903н «Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок», требования ГОСТ 12.2.007.0.

8 Внешний осмотр средства измерений

8.1 При внешнем осмотре устанавливают:

- соответствие внешнего вида тензиометра сведениям, приведенным в описании типа;
- отсутствие видимых повреждений тензиометра;
- соответствие комплектности, указанной в РЭ;
- наличие обозначения и заводского номера, четкость маркировки, а также отсутствие повреждений и дефектов, влияющих на работоспособность тензиометра.

9 Подготовка к поверке и опробование средства измерений

9.1 Проводят контроль условий поверки с помощью термогигрометра в соответствии с п. 6 настоящей методики поверки.

9.2 Определение наружного диаметра, наружного радиуса капилляра и абсолютной погрешности измерений наружного радиуса капилляра

9.2.1 Наружный радиус и наружный диаметр капилляра определяют с помощью микроскопа, указанного в таблице 3 настоящей методики поверки.

9.2.2 Устанавливают капилляр на предметный столик микроскопа, фокусируют окуляр микроскопа на кромке отверстия капилляра и измеряют наружный диаметр капилляра не менее пяти раз.

9.2.3 За результат измерений наружного диаметра капилляра принимают среднее арифметическое значение, $\bar{d}$, мм, рассчитанное по формуле

$$\bar{d} = \frac{\sum_{i=1}^m d_i}{m}, \quad (1)$$

где m – количество измерений;

d_i – i -ый результат измерений наружного диаметра капилляра, мм.

9.2.4 Рассчитывают наружный радиус капилляра $\bar{r}$, см, по формуле

$$\bar{r} = \frac{\bar{d}}{2 \cdot 10^3} \quad (2)$$

9.2.5 Рассчитывают среднее квадратическое отклонение результатов измерений наружного радиуса капилляра, S_r , см, по формуле

$$S_r = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (r_i - \bar{r})^2}{m - 1}}, \quad (3)$$

где r_i – i -ый наружный радиус капилляра, см, рассчитанный по формуле

$$r_i = \frac{d_i}{2 \cdot 10^3} \quad (4)$$

9.2.6 Рассчитывают абсолютную погрешность измерений наружного радиуса капилляра по формуле

$$\Delta r = \sqrt{S_r^2 + \Delta_r^2} \quad (5)$$

Δ_r – погрешность используемого микроскопа, см.

9.2.7 Полученные значения наружного радиуса, наружного диаметра капилляра и абсолютной погрешности измерений наружного радиуса капилляра заносят в паспорт тензиометра. При периодической поверке используют значения наружного диаметра капилляра, наружного радиуса капилляра и абсолютную погрешность измерений наружного радиуса капилляра, установленные при первичной поверке.

9.3 При необходимости проводят очистку капилляра в соответствии с п. 7.9.2 РЭ.

9.4 При включении тензиометра должны отсутствовать сообщения об ошибках.

9.5 Перед проведением поверки тензиометр готовят к работе в соответствии с РЭ.

10 Проверка программного обеспечения средства измерений

10.1 Проводят проверку идентификационных данных встроенного программного обеспечения (далее – ПО) тензиометра: выбирают вкладку «Настройки», нажимают «>». Номер версии встроенного ПО отображается в строке «Версия ПО» и должен соответствовать требованиям, приведенным в таблице 4.

Таблица 4 – Идентификационные данные встроенного ПО

Идентификационные данные (признаки)	Значение
Идентификационное наименование ПО	–
Номер версии (идентификационный номер) ПО	V2.XX*
Цифровой идентификатор ПО	–
* X является метрологически незначимой частью ПО и принимает значения от 0 до 99	

10.2 Проводят проверку идентификационных данных внешнего программного обеспечения (далее – ПО) тензиометра: выбирают вкладку «О программе». Наименование внешнего ПО отображается в верхней части окна, номер версии отображается в строке «Версия». Наименование и номер версии должны соответствовать требованиям, приведенным в таблице 5.

Таблица 5 – Идентификационные данные внешнего ПО

Идентификационные данные (признаки)	Значение
Идентификационное наименование ПО	T-MOK Elchrom
Номер версии (идентификационный номер) ПО	1.XX*
Цифровой идентификатор ПО	—
* X является метрологически незначимой частью ПО и принимает значения от 0 до 99	

11 Определение метрологических характеристик средства измерений и подтверждение соответствия метрологическим требованиям

11.1 Определение относительной погрешности измерений межфазного натяжения и проверка диапазона измерений межфазного натяжения

11.1.1 Определение относительной погрешности измерений межфазного натяжения и проверку диапазона измерений межфазного натяжения проводят с помощью средств поверки в соответствии с таблицей 3.

11.1.2 В соответствии с РЭ проводят установку пустого пробпоотборника в тензиометр, закрывают крышку, устанавливают температуру 25 °С и выдерживают не менее 30 минут.

11.1.3 В ПО тензиометра вводят следующие параметры:

- «Плотность масла, г/см³» – 0;
- «Коэффициент расширения, 1/°С» – 0;
- «Температура масла, °С» – 25;
- «Количество капель» – 7;
- «Чувствительность» – 70;
- «Рабочая скорость» – 8;
- «Диаметр капилляра» – рассчитанный в соответствии с п. 9.2 настоящей методики поверки в случае первичной поверки или указанный в паспорте тензиометра в случае периодической поверки.

После выхода температуры на заданное значение выполняют не менее трех измерений межфазного натяжения воды в соответствии с разделом 7.8 РЭ.

11.1.4 Относительную погрешность измерений межфазного натяжения воды, $\delta\sigma_{vi}$, %, рассчитывают по формуле

$$\delta\sigma_{vi} = \frac{(\sigma_{iv} - \sigma_{дв})}{\sigma_{дв}} \cdot 100, \quad (6)$$

где $\sigma_{дв}$ – межфазное натяжение воды при температуре проведения измерений, мН/м, взятое из ГССД 142-89;

σ_{iv} – i -ый результат измерений межфазного натяжения воды тензиометром, мН/м.

11.1.5 Выполняют измерение плотности трансформаторного масла (далее – масло) при 25 °С в соответствии с РЭ в измерителе плотности жидкостей вибрационном или с помощью пикнометра стеклянного по ГОСТ 22524 или ареометра по ГОСТ 18481 в соответствии с ГОСТ 3900 и приложением А настоящей методики поверки.

11.1.6 Помещают 15 см³ масла в пробпоотборник в соответствии с РЭ и надевают держатель. Устанавливают пробпоотборник с закрепленным держателем на весы, записывают значение массы. Проводят установку пробпоотборника с держателем в тензиометр, снимают трехходовой краник, вставляют капилляр в пробпоотборник: закрывают крышку, устанавливают температуру 25 °С и выдерживают не менее 30 минут.

11.1.7 В ПО тензиометра вводят следующие параметры:

- «Плотность масла, г/см³» – значение, полученное в п. 11.1.5 настоящей методики поверки;

- «Коэффициент расширения, 1/°C» – 0,0007;
- «Температура масла, °C» – 25;
- «Количество капель» – 7;
- «Чувствительность» – 70;
- «Рабочая скорость» – 8;
- «Диаметр капилляра» – рассчитанный в соответствии с п. 9.2 настоящей методики поверки в случае первичной поверки или указанный в паспорте тензиометра в случае периодической поверки.

После выхода температуры на заданное значение выполняют измерение межфазного натяжения масла (σ_i), мН/м, в соответствии с разделом 7.8 РЭ.

11.1.8 Достают капилляр из пробпоотборника: надевают трехходовой краник. Держатель и пробпоотборник с маслом и водой помещают на весы, записывают значение массы.

11.1.9 Действия по пп.11.1.6–11.1.8 выполняют не менее пяти раз.

11.1.10 Рассчитывают массу дозированной воды, m_{bi} , г, по формуле

$$m_{bi} = m_{im+b} - m_{mi}, \quad (7)$$

где m_{mi} – i -ая масса пробпоотборника с маслом и держателем, г;
 m_{im+b} – i -ая масса пробпоотборника с маслом, водой и держателем, г.

11.1.11 Рассчитывают объем дозированной воды, V_{bi} , см³, по формуле

$$V_{bi} = \frac{m_{bi}}{\rho_b}, \quad (8)$$

где ρ_b – плотность воды при температуре проведения измерений (25 °C), г/см³, взятая из ГСССД 2-77.

11.1.12 Рассчитывают средний объем капли при i -ом измерений межфазного натяжения масла, $\overline{V}_{ki}$, см³, по формуле

$$\overline{V}_{ki} = \frac{V_{bi}}{n}, \quad (9)$$

где n – количество капель.

11.1.13 Рассчитывают погрешность определения среднего объема капли, $\Delta\overline{V}_{ki}$, см³, по формуле

$$\Delta\overline{V}_{ki} = \sqrt{c_{mb}^2 \cdot \Delta m_b^2 + c_{pbi}^2 \cdot \Delta p_b^2}, \quad (10)$$

$$c_{mb} = \frac{1}{\rho_b \cdot n}, \quad (11)$$

$$c_{pbi} = - \frac{m_{bi}}{\rho_b^2 \cdot n}, \quad (12)$$

где Δm_b – погрешность используемых весов, г;
 Δp_b – абсолютная погрешность плотности воды при температуре проведения измерений (25 °C), г/см³, взятая из ГСССД 2-77.

11.1.14 Рассчитывают действительное значение межфазного натяжения масла, σ_{di} , мН/м, по формуле

$$\sigma_{di} = \frac{(p_v - p_m) \cdot \bar{V}_{ki} \cdot g}{2 \cdot \pi \cdot \bar{r} \cdot f_i}, \quad (13)$$

где p_m – плотность масла при 25 °С, г/см³, измеренная по п. 11.1.5 настоящей методики поверки;

g – ускорение свободного падения, см/с² ($g = 980,665$ см/с²);

f_i – i -ый коэффициент коррекции в соответствии с паспортом тензиометра;

$\bar{r}$ – среднее арифметическое значение наружного радиуса капилляра, см, рассчитанное в соответствии с п. 9.2 настоящей методики поверки в случае первичной поверки или указанное в паспорте тензиометра в случае периодической поверки.

11.1.15 Рассчитывают погрешность действительного значения межфазного натяжения, $\Delta\sigma_{di}$, мН/м, по формуле

$$\Delta\sigma_{di} = \sqrt{c_{\rho vi}^2 \cdot \Delta p_v^2 + c_{p mi}^2 \cdot \Delta p_m^2 + c_{\bar{V} ki}^2 \cdot \Delta \bar{V}_{ki}^2 + c_r^2 \cdot \Delta r^2}, \quad (14)$$

$$c_{\rho vi} = \frac{\bar{V}_{ki} \cdot g}{2 \cdot f_i \cdot \bar{r} \cdot \pi}, \quad (15)$$

$$c_{p mi} = \frac{-\bar{V}_{ki} \cdot g}{2 \cdot f_i \cdot \bar{r} \cdot \pi}, \quad (16)$$

$$c_{\bar{V} ki} = \frac{(-p_m + p_v) \cdot g}{2 \cdot f_i \cdot \bar{r} \cdot \pi}, \quad (17)$$

$$c_r = \frac{(p_m - p_v) \cdot \bar{V}_{ki} \cdot g}{2 \cdot \pi \cdot \bar{r}^2 \cdot f_i}, \quad (18)$$

где Δp_m – погрешность измерений плотности масла при 25 °С, г/см³, в соответствии:

– с ГОСТ 3900 при использовании ареометра по ГОСТ 18481;

– с Приложением А настоящей методики поверки при использовании пикнометра по ГОСТ 22524;

– со свидетельством о поверке используемого плотномера.

Δr – абсолютная погрешность измерений наружного радиуса капилляра, см, рассчитанная по п. 9.2 настоящей методики поверки в случае первичной поверки или указанная в паспорте тензиометра в случае периодической поверки.

11.1.16 Относительную погрешность измерений межфазного натяжения, $\delta\sigma_i$, %, рассчитывают по формуле

$$\delta\sigma_i = \frac{\frac{t \cdot S_\sigma}{\sqrt{m}} + |\Delta_i| + |\Delta\sigma_{di}|}{\left[\frac{S_\sigma}{\sqrt{m}} + \frac{(|\Delta_i| + |\Delta\sigma_{di}|)}{\sqrt{3}} \right]} \cdot \sqrt{\frac{(|\Delta\sigma_{di}| + |\Delta_i|)^2}{3} + \frac{S_\sigma^2}{m} \cdot \frac{100}{\sigma_{di}}}, \quad (19)$$

$$\Delta_i = \sigma_i - \sigma_{di}, \quad (20)$$

где m – количество измерений;

σ_i – i -ое значение межфазного натяжения, измеренное тензиометром, мН/м;

t – коэффициент Стьюдента, который зависит от доверительной вероятности P и количества результатов измерений n , при $n=5$ и $P=0,95$ коэффициент Стьюдента $t=2,78$;

Δ_i – отклонение i -го измеренного значения межфазного натяжения масла (по п. 11.1.7) от i -го действительного значения межфазного натяжения масла (по п. 11.1.14), мН/м;

S_σ – среднее квадратическое отклонение отклонений измеренных значений межфазного натяжения масла (по п. 11.1.7) от действительных значений межфазного натяжения масла (по п. 11.1.14), мН/м, рассчитанное по формуле

$$S_{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (\Delta_i - \bar{\Delta})^2}{m - 1}}, \quad (21)$$

$$\bar{\Delta} = \frac{\sum_{i=1}^m \Delta_i}{m}, \quad (22)$$

$\bar{\Delta}$ – среднее арифметическое значение отклонений измеренных значений межфазного натяжения масла (по п. 11.1.7) от действительных значений межфазного натяжения масла (по п. 11.1.14), мН/м.

11.1.17 Полученные по формулам (6), (19) значения относительной погрешности измерений межфазного натяжения должны соответствовать требованиям таблицы 1.

11.1.18 За диапазон измерений межфазного натяжения принимают диапазон, указанный в таблице 1, если выполняются условия по п. 11.1.17 настоящей методики поверки.

12 Оформление результатов поверки

12.1 Результаты поверки оформляются протоколом в произвольной форме.

12.2 При положительных результатах тензиометр признают пригодным к применению.

12.3 Нанесение знака поверки на тензиометры не предусмотрено. Пломбирование тензиометров не предусмотрено.

12.4 При отрицательных результатах поверки тензиометр признают непригодным к применению.

12.5 По заявлению владельца средства измерений или лица, представившего его на поверку, аккредитованное на поверку лицо, проводившее поверку, в случае положительных результатов поверки выдает свидетельство о поверке, оформленное в соответствии с требованиями к содержанию свидетельства о поверке, утвержденными действующими на момент проведения поверки нормативно-правовыми актами в области обеспечения единства измерений или в случае отрицательных результатов поверки выдает извещение о непригодности к применению средства измерений.

12.6 Сведения о результатах поверки передают в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений в соответствии с установленным порядком. В протоколе поверки приводят значения наружного радиуса капилляра и абсолютную погрешность измерений наружного радиуса капилляра.

Зам. зав. лаб. 251 УНИИМ – филиала
ФГУП «ВНИИМ им.Д.И.Менделеева»



Е.В. Вострокнутова

ПРИЛОЖЕНИЕ А

(обязательное)

Определение плотности трансформаторного масла пикнометрическим методом и расчет погрешности измерений плотности трансформаторного масла

А.1 Для определения плотности трансформаторного масла пикнометрическим методом применяются оборудование и реактивы в соответствии с таблицей 3 настоящей методики поверки.

Перед определением «водного числа» пикнометра в химический стакан объемом 10 см³ наливают свежеприготовленную дистиллированную воду и выдерживают в термостате не менее 30 минут при (25,00±0,05) °С.

А.2 Определение «водного числа» пикнометра

А.2.1 Пикнометр с крышкой поместить на весы и записать значение массы.

А.2.2 При помощи шприца с иглой заполнить пикнометр до начала горлышка свежеприготовленной дистиллированной водой, следя за тем, чтобы в пикнометр не попали воздушные пузырьки. Закрывают крышку и удаляют вытекшую воду с помощью фильтровальной бумаги и салфетки. Заполненный водой пикнометр погружают до горловины в термостат с температурой (25,00±0,05) °С и выдерживают не менее 30 минут.

А.2.3 Устанавливают уровень воды в пикнометре по верхнему краю капилляра в крышке. После термостатирования при необходимости избыток воды убирают фильтровальной бумагой. Если уровень воды в капилляре крышки опустился, вводят дополнительную порцию воды в капилляр. Пикнометр с установленным при температуре (25,00±0,05) °С уровнем воды тщательно вытирают снаружи хлопчатобумажной тканью, снимают статический заряд, взвешивают и записывают результат измерений массы.

А.2.4 Действия по пп. А.2.1-А.2.3 повторяют не менее трех раз.

А.2.5 Рассчитывают среднее арифметическое значение измерений массы пустого пикнометра по формуле

$$m_0 = \frac{\sum_{i=1}^m m_{0i}}{m}, \quad (\text{А.1})$$

где m_{0i} – i -ый результат измерений массы пустого пикнометра, г;
 m – количество измерений;

А.2.6 Рассчитывают среднее арифметическое значение измерений массы пикнометра с водой по формуле

$$m_c = \frac{\sum_{i=1}^m m_{ci}}{m}, \quad (\text{А.2})$$

где m_{ci} – i -ый результат измерений массы пикнометра с водой, г;

А.2.7 Рассчитывают «водное число» пикнометра, $m_{вч}$, г, по формуле

$$m_{вч} = m_c - m_0, \quad (\text{А.3})$$

А.3 Определение плотности трансформаторного масла

А.3.1 Помещают пустой пикнометр с крышкой с установленным «водным числом» на весы и записывают значение массы.

А.3.2 С помощью шприца с иглой отбирают необходимый объем масла и помещают в пикнометр, не допуская возникновения пузырьков.

А.3.3 Пикнометр закрывают крышкой, удаляют излишки масла салфеткой, погружают до горловины в термостат и выдерживают не менее 30 минут при температуре (25,00±0,05) °С. После термостатирования при необходимости избыток масла убирают фильтровальной

бумагой. Уровень масла в пикнометре устанавливают по верхнему краю капилляра в крышке. Если уровень масла в капилляре крышки опустился, вводят дополнительную порцию масла в капилляр.

А.3.4 Пикнометр вынимают из термостата, тщательно вытирают снаружи.

А.3.5 Пикнометр помещают на весы и записывают значение массы.

А.3.6 Действия по пп. А.3.1-А.3.5 повторяют не менее двух раз.

А.3.7 Рассчитывают среднее арифметическое значение измерений массы пустого пикнометра (по п.А.3.1) по формуле

$$m_p = \frac{\sum_{i=1}^m m_{pi}}{m}, \quad (\text{А.4})$$

где m_{pi} – i -ый результат измерений массы пустого пикнометра (по п. А.3.1), г.

А.3.8 Рассчитывают среднее арифметическое значение измерений массы пикнометра с маслом (по п.А.3.5) по формуле

$$m_t = \frac{\sum_{i=1}^m m_{ti}}{m}, \quad (\text{А.5})$$

где m_{ti} – i -ый результат измерений массы пикнометра с маслом при температуре $(25,00 \pm 0,05)^\circ\text{C}$ (по п. А.3.5), г.

А.3.6 Плотность масла, ρ_t , г/см³, рассчитывают по формуле

$$\rho_t = \frac{(m_t - m_p) \cdot \rho_c \cdot 10^{-3}}{(m_c - m_0)} + C \cdot 10^{-3} \quad (\text{А.6})$$

ρ_c – плотность воды при температуре $(25,00 \pm 0,05)^\circ\text{C}$, кг/м³, в соответствии с Приложением В к ГОСТ 3900-2022;

C – поправка на взвешивание в воздухе, кг/м³, в соответствии с Приложением Г к ГОСТ 3900-2022.

А.4 Расчет погрешности определения плотности масла пикнометрическим методом

А.4.1 Рассчитать погрешность определения плотности масла по формуле

$$\Delta_{pm} = \sqrt{\Delta_m^2 \cdot (c_{mt}^2 + c_{mp}^2 + c_{mc}^2 + c_{m0}^2)}, \quad (\text{А.7})$$

$$c_{mt} = \frac{\rho_c}{m_c - m_0}, \quad (\text{А.8})$$

$$c_{mp} = \frac{-\rho_c}{m_c - m_0}, \quad (\text{А.9})$$

$$c_{mc} = \frac{-\rho_c \cdot (m_t - m_p)}{(m_c - m_0)^2}, \quad (\text{А.10})$$

$$c_{m0} = \frac{\rho_c \cdot (m_t - m_p)}{(m_c - m_0)^2}, \quad (\text{А.11})$$

где Δ_m – погрешность используемых весов, г.