

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. Собина

2026 г.

**«ГСИ. Стенд для измерения поверхностного сопротивления MQL-443-Н.
Методика поверки»**

МП 43-223-2026

Екатеринбург
2026 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 ИСПОЛНИТЕЛИ

Заведующий лабораторией 223 УНИИМ – филиала ФГУП «ВНИИМ им.Д.И.Менделеева»
Собина А.В.

Ведущий инженер лаборатории 223 УНИИМ – филиала ФГУП «ВНИИМ им.Д.И.Менделеева» Герасимова Н.Л.

3 СОГЛАСОВАНА

Директором УНИИМ – филиала ФГУП «ВНИИМ им.Д.И.Менделеева» в 2026 г.

СОДЕРЖАНИЕ

1 Общие положения	4
2 Нормативные ссылки	5
3 Перечень операций поверки	5
4 Требования к условиям проведения поверки	6
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	7
11 Определение метрологических характеристик средства измерений	8
12 Подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям	9
13 Оформление результатов поверки	10
Приложение А.....	12

Государственная система обеспечения единства измерений. Стенд для измерения поверхностного сопротивления MQL-443-Н. Методика поверки	МП 43-223-2026
--	----------------

1 Общие положения

1.1 Настоящая методика поверки (далее – МП) распространяется на стенд для измерения поверхностного сопротивления MQL-443-Н (далее – стенд MQL-443-Н), изготовленный «MQL (Shanghai) Semi-Tech Co., Ltd.», Китай, и устанавливает методы и средства первичной и периодической поверок.

Стенд MQL-443-Н предназначен для измерений удельного поверхностного (слоевого) электрического сопротивления (далее – УПЭС) функциональных слоев полупроводниковых пластин четырехзондовым методом.

1.2 При проведении поверки стенда MQL-443-Н должна обеспечиваться прослеживаемость измерений к Государственному первичному эталону единицы электрического сопротивления ГЭТ 14-2014 в соответствии с Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии № 3456 от 30.12.2019 г. «Об утверждении государственной поверочной схемы для средств измерений электрического сопротивления постоянного и переменного тока» и к Государственному эталону единицы удельного электрического сопротивления в диапазоне значений от $1 \cdot 10^{-3}$ до $8 \cdot 10^5$ Ом·см, единицы удельного поверхностного электрического сопротивления в диапазоне значений от $1 \cdot 10^{-3}$ до $1 \cdot 10^5$ Ом в соответствии с локальной поверочной схемой для средств измерений удельного электрического сопротивления и удельного поверхностного электрического сопротивления полупроводниковых материалов ЛПС 25-2026, утвержденной УНИИМ – филиалом ФГУП «ВНИИМ им.Д.И.Менделеева» 21.04.2026 г., графическая часть которой приведена в приложении А.

1.3 В настоящей методике поверки реализована поверка следующими методами:

– метод прямых измерений с использованием рабочих эталонов не ниже 4-го разряда согласно государственной поверочной схеме для средств измерений электрического сопротивления постоянного и переменного тока;

– метод сличения с эталоном с использованием пластин полупроводниковых материалов.

1.4 Настоящая методика поверки применяется для поверки стенда MQL-443-Н, используемого в качестве рабочего средства измерений. В результате поверки должны быть подтверждены метрологические требования, приведенные в таблице 1.

Таблица 1 – Метрологические характеристики

Наименование характеристики	Значение
Диапазон измерений удельного поверхностного (слоевого) электрического сопротивления, Ом	от 0,0045 до 455 000
Предел допускаемого относительного среднего квадратического отклонения результата измерений удельного поверхностного (слоевого) электрического сопротивления, % ($n = 10$)*: – для четырехзондовых головок А, В, С – для четырехзондовой головки Е	0,5 0,2
Пределы допускаемой относительной погрешности измерений удельного поверхностного (слоевого) электрического сопротивления, %: – для четырехзондовых головок А, В, С – для четырехзондовой головки Е	$\pm 3,0$ $\pm 1,5$
* n – число параллельных результатов измерений	

2 Нормативные ссылки

В настоящей методике поверки использованы ссылки на следующие нормативные документы и нормативные правовые акты:

Приказ Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии № 3456 от 30.12.2019 г. «Об утверждении государственной поверочной схемы для средств измерений электрического сопротивления постоянного и переменного тока»

Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок, утвержденные Приказом Минтруда РФ № 903н от 15.12.2020 г.

Приказ Минпромторга России от 31.07.2020 г. № 2510 «Об утверждении порядка проведения поверки средств измерений, требований к знаку поверки и содержанию свидетельства о поверке»

ГОСТ 12.3.019-80 Испытания и измерения электрические. Общие требования безопасности

ГОСТ ИЕС 61010-1-2014 Безопасность электрических контрольно-измерительных приборов и лабораторного оборудования

П р и м е ч а н и е – При пользовании настоящим документом целесообразно проверить действие ссылочных документов по соответствующему указателю стандартов, составленному по состоянию на 1 января текущего года, и по соответствующим информационным указателям, опубликованным в текущем году. Если ссылочный документ заменен (изменен), то при пользовании настоящим документом следует руководствоваться замененным (измененным) стандартом. Если ссылочный документ отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, применяется в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Перечень операций поверки

3.1 При поверке стенда MQL-443-Н должны быть выполнены операции, указанные в таблице 2.

Таблица 2 – Операции поверки

Наименование операции поверки	Обязательность проведения операций поверки 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 средства измерений	Да	Да	9
Проверка программного обеспечения средства измерений	Да	Да	10
Определение метрологических характеристик средства измерений	Да	Да	11
Подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям	Да	Да	12

3.2 В случае невыполнения требований хотя бы к одной из операций, указанных в таблице 2, поверка прекращается, стенд MQL-443-Н бракуется, и выполняются операции по п.13.3 настоящей методики поверки.

4 Требования к условиям проведения поверки

При проведении поверки стенда MQL-443-Н должны быть соблюдены следующие условия:

- температура окружающей среды, °С от +15 до +30;
- относительная влажность воздуха, %, не более 80.

5 Требования к специалистам, осуществляющим поверку

К проведению работ по поверке стенда MQL-443-Н допускаются специалисты, прошедшие специальное обучение в качестве поверителя, ознакомившиеся с настоящей методикой поверки и «Руководством по эксплуатации» (далее – РЭ) стенда MQL-443-Н.

6 Метрологические и технические требования к средствам поверки

6.1 При проведении поверки стенда MQL-443-Н применяют оборудование согласно таблице 3.

Таблица 3 – Метрологические и технические требования к средствам поверки

Операции поверки, требующие применение средств поверки	Метрологические и технические требования к средствам поверки, необходимые для проведения поверки	Перечень рекомендуемых средств поверки
п. 9.1 Контроль условий поверки (при подготовке к поверке и опробовании средства измерений)	Диапазон измерений температуры от 15 °С до 30 °С с абсолютной погрешностью не более 1 °С Диапазон измерений относительной влажности воздуха от 0 до 60 % с абсолютной погрешностью не более 2 %	Термогигрометр ИВА-6 моделей ИВА-6А или ИВА-6Н (рег. номер в ФИФ ОЕИ 46434-11)
Раздел 11 Определение метрологических характеристик средства измерений	Номинальные значения электрического сопротивления в диапазоне от 0,001 до 100 000 Ом (соответствует диапазону УПЭС от 0,0045 до 455 000 Ом), нестабильность сопротивления за год не более $\pm 0,002$ %, относительная погрешность определения действительного значения сопротивления не более 0,01 %.	Катушки электрического сопротивления Р310, Р331 (рег. номер в ФИФ ОЕИ 1162-58)
	Диапазон воспроизведения величины удельного поверхностного (слоевого) электрического сопротивления от 0,0045 до 100 000 Ом с относительной погрешностью не более 0,55 %	Государственный эталон единицы удельного электрического сопротивления в диапазоне значений от $1 \cdot 10^{-3}$ до $8 \cdot 10^5$ Ом·см, единицы удельного поверхностного электрического сопротивления в диапазоне значений от $1 \cdot 10^{-3}$ до $1 \cdot 10^5$ Ом (рег. номер в ФИФ ОЕИ 3.1.ZZC.0288.2018)

Операции поверки, требующие применение средств поверки	Метрологические и технические требования к средствам поверки, необходимые для проведения поверки	Перечень рекомендуемых средств поверки
	Номинальные значения удельного поверхностного (слоевого) электрического сопротивления в диапазоне от 0,0045 до 100 000 Ом, относительное среднее квадратическое отклонение определения действительного значения не более 0,2 %	Пластины полупроводниковых материалов
<i>Примечание – Допускается использовать при поверке другие утвержденные и аттестованные стандартные образцы, средства измерений утвержденного типа, поверенные и удовлетворяющие метрологическим требованиям, указанным в таблице.</i>		

6.2 Эталоны, применяемые для поверки стенда MQL-443-Н, должны быть поверены, если представлены средствами измерений утвержденного типа, или аттестованы, если представлены средствами измерений неутвержденного типа. Средства измерений должны быть поверены.

7 Требования (условия) по обеспечению безопасности проведения поверки

7.1 При проведении поверки должны быть соблюдены требования ГОСТ 12.3.019-80, ГОСТ ИЕС 61010-1, а также требования, предусмотренные эксплуатационной документацией на поверяемый стенд MQL-443-Н.

7.2 Лица, допущенные к работе, проходят проверку знаний техники безопасности в установленном порядке.

8 Внешний осмотр средства измерений

8.1 При внешнем осмотре поверяемого стенда MQL-443-Н необходимо установить:

- соответствие внешнего вида стенда MQL-443-Н сведениям, приведенным в описании типа;
- отсутствие видимых повреждений стенда MQL-443-Н и всех его составных частей, соединительных кабелей и сетевых разъемов;
- соответствие стенда MQL-443-Н комплектности, указанной в РЭ;
- четкость обозначений и маркировки стенда MQL-443-Н.

8.2 В случае, если при внешнем осмотре стенда MQL-443-Н выявлены повреждения или дефекты, способные оказать влияние на безопасность проведения поверки или результаты поверки, поверка может быть продолжена только после устранения этих повреждений или дефектов.

9 Подготовка к поверке и опробование средства измерений

9.1 Провести контроль условий поверки с помощью термогигрометра в соответствии с таблицей 3.

9.2 Подготовить стенд MQL-443-Н к работе в соответствии с п. 4.3.1 «Подготовка к запуску устройств» РЭ.

9.3 Проверить работоспособность органов управления и регулировки стенда MQL-443-Н в соответствии с РЭ.

10 Проверка программного обеспечения средства измерений

10.1 Провести проверку идентификационных данных программного обеспечения (далее – ПО) (версии ПО) поверяемого стенда MQL-443-Н, указанных в описании типа.

10.2 Идентификационные данные ПО поверяемого стенда MQL-443-Н должны соответствовать данным, приведенным в таблице 4.

Таблица 4 – Идентификационные данные программного обеспечения

Идентификационные данные (признаки)	Значение
Идентификационное наименование ПО	MQL-443 Four probe block resistance measuring platform
Номер версии (идентификационный номер) ПО	V2.09 (P5)
Цифровой идентификатор ПО	—

11 Определение метрологических характеристик средства измерений

11.1 Проверка диапазона измерений УПЭС

11.1.1 Проверку диапазона измерений УПЭС проводят с использованием катушек электрического сопротивления Р331 с номинальными значениями сопротивления 0,001, 10000, 100000 Ом.

11.1.2 Поочередно подключают к стенду MQL-443Н катушки и 5 раз снимают показания электрического сопротивления каждой из катушек.

11.2 Определение относительного среднего квадратического отклонения и относительной погрешности измерений УПЭС

11.2.1 Определение относительного среднего квадратического отклонения и относительной погрешности измерений УПЭС проводят с использованием:

– Государственного эталона единицы удельного электрического сопротивления в диапазоне значений от $1 \cdot 10^{-3}$ до $8 \cdot 10^5$ Ом·см, единицы удельного поверхностного электрического сопротивления в диапазоне значений от $1 \cdot 10^{-3}$ до $1 \cdot 10^5$ Ом;

– Пластин полупроводниковых материалов.

11.2.2 Отбирают минимум две пластины полупроводниковых материалов с номинальными значениями УПЭС, находящимися в диапазоне от 0,0045 до 455 000 Ом.

11.2.3 Проводят на эталоне серию из 10 измерений УПЭС для каждой пластины в центральной области диаметром 7 мм.

11.2.4 Рассчитывают среднее арифметическое значение полученных на эталоне результатов $\bar{\rho}_{\text{эт.}i}$ для каждой пластины по формуле

$$\bar{\rho}_{\text{эт.}i} = \frac{\sum_{j=1}^n \rho_{\text{эт.}ji}}{n}, \quad (1)$$

где $\rho_{\text{эт.}ji}$ – j -й результат измерений УПЭС, полученный на эталоне, для i -ой пластины, Ом;

n – количество параллельных измерений УПЭС для каждой пластины, $n = 10$.

11.2.5 Рассчитывают относительное среднее квадратическое отклонение (далее – СКО) полученного на эталоне результата по формуле

$$\sigma_{\text{эт.}i} = \frac{1}{\bar{\rho}_{\text{эт.}i}} \cdot \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (\rho_{\text{эт.}ji} - \bar{\rho}_{\text{эт.}i})^2}{n \cdot (n - 1)}} \cdot 100. \quad (2)$$

11.2.6 Считают, что отобранные пластины достаточно однородны, если относительное СКО полученного на эталоне результата не превышает 0,2 %.

11.2.7 Поочередно размещают отобранные однородные пластины в держателе стенда MQL-443Н в соответствии с РЭ.

11.2.8 Проводят серию из 10 измерений УПЭС в центральной области пластин на всех головках, поднимая и опуская четырехзондовую головку после каждого проведенного измерения, с включенной опцией Offset, которая обеспечивает сдвиг

головки на несколько микрометров для того, чтобы исключить возможность механического повреждения поверхности пластины от многократного соприкосновения с зондами четырехзондовой головки.

12 Подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям

12.1 Для проверки диапазона измерений УПЭС станда MQL-443-Н рассчитывают значение УПЭС $\rho_{\text{кат.}ij}$, соответствующее j -му измеренному значению электрического сопротивления i -ой катушки, по формуле

$$\rho_{\text{кат.}ij} = \frac{\pi}{\ln 2} \cdot R_{ij}, \quad (3)$$

где R_{ij} – j -е измеренное значение электрического сопротивления i -ой катушки, Ом.

Рассчитывают среднее арифметическое значение $\bar{\rho}_{\text{кат.}i}$ полученных результатов для i -ой катушки по формуле

$$\bar{\rho}_{\text{кат.}i} = \frac{\sum_{j=1}^n \rho_{\text{кат.}ij}}{n}, \quad (4)$$

где n – количество параллельных измерений электрического сопротивления для одной катушки, $n = 5$.

Диапазон измерений должен соответствовать приведенному в таблице 1.

12.2 Для определения относительного СКО результатов измерений УПЭС станда MQL-443-Н рассчитывают среднее арифметическое значение результата измерений УПЭС $\bar{\rho}_i$ для каждой пластины по формуле

$$\bar{\rho}_i = \frac{\sum_{j=1}^n \rho_{ji}}{n}, \quad (5)$$

где ρ_{ji} – j -ый результат измерений УПЭС, полученный на станде MQL-443-Н, для i -ой пластины, Ом;

n – количество параллельных измерений УПЭС для каждой пластины, $n = 10$.

Относительное СКО результата измерений УПЭС для каждой пластины рассчитывают по формуле

$$\sigma_i = \frac{1}{\bar{\rho}_i} \cdot \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (\rho_{ji} - \bar{\rho}_i)^2}{n \cdot (n - 1)}} \cdot 100. \quad (6)$$

Определение относительного СКО результата измерений УПЭС станда MQL-443-Н проводят для всех четырехзондовых головок.

Полученные значения относительного СКО измерений УПЭС для каждой пластины не должны превышать 0,5 % для головок А, В, С; и 0,2 % – для головки Е.

12.3 Для определения относительной погрешности результатов измерений УПЭС станда MQL-443-Н рассчитывают относительное смещение результатов измерений УПЭС $\Delta_{0_{\text{эт.}i}}$ для каждой пластины по формуле

$$\Delta_{0_{\text{эт.}i}} = \frac{|\bar{\rho}_i - \bar{\rho}_{\text{эт.}i}|}{\bar{\rho}_i} \cdot 100. \quad (7)$$

Рассчитывают относительную систематическую составляющую погрешности результатов измерений УПЭС δ_{ci} для каждой пластины по формуле

$$\delta_{ci} = \pm(|\Delta_{0_{эт.i}}| + |\theta|), \quad (8)$$

где θ – относительная погрешность эталона, $\theta = 0,55 \%$.

Относительную погрешность результатов измерений УПЭС δ_i для каждой пластины рассчитывают по формуле

$$\delta_i = \pm K_i \cdot S_{\Sigma i}, \quad (9)$$

где K_i – коэффициент, зависящий от соотношения случайной и систематической составляющих погрешности;

$S_{\Sigma i}$ – оценка суммарного СКО результата измерения.

Коэффициент K_i рассчитывают по формуле

$$K_i = \frac{t \cdot \sigma_i + \delta_{ci}}{\sigma_i + \frac{\delta_{ci}}{\sqrt{3}}}, \quad (10)$$

где t – коэффициент Стьюдента, который при доверительной вероятности $P = 0,95$ в зависимости от числа измерений n находят по таблице, приведенной в ГОСТ Р 8.736; $t = 2,228$ ($n = 10$; $P = 0,95$).

Суммарное среднее квадратическое отклонение $S_{\Sigma i}$ оценки измеряемой величины рассчитывают по формуле

$$S_{\Sigma i} = \sqrt{\sigma_i^2 + \frac{\delta_{ci}^2}{3}}, \quad (11)$$

Определение относительной погрешности результатов измерений УПЭС стенда MQL-443-Н проводят для всех четырехзондовых головок.

Полученные значения относительной погрешности измерений УПЭС для каждой пластины должны находиться в интервале $\pm 3,0 \%$ для головок А, В, С, в интервале $\pm 1,5 \%$ – для головки Е.

13 Оформление результатов поверки

13.1 Результаты поверки оформляются протоколом произвольной формы.

13.2 Положительные результаты поверки оформляют в соответствии с Приказом Минпромторга России от 31 июля 2020 г. № 2510 «Об утверждении Порядка проведения поверки средств измерений, требований к знаку поверки и содержанию свидетельства о поверке» или в соответствии с порядком, действующим на момент проведения поверки. Нанесение знака поверки на стенд MQL-443-Н не предусмотрено.

13.3 В случае отрицательных результатов поверки поверяемый стенд MQL-443-Н признают непригодным к применению в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений и оформляют результаты в соответствии с Приказом Минпромторга России от 31 июля 2020 г. № 2510 «Об утверждении Порядка проведения поверки средств измерений, требований к знаку поверки и содержанию свидетельства о поверке» или действующим на момент проведения поверки порядком.

13.4 Сведения о результатах поверки передают в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений в соответствии с Приказом Минпромторга России от 28.08.2020 г. № 2906 «Об утверждении порядка создания и ведения Федерального информационного фонда по обеспечению единства измерений, передачи сведений в него и внесения изменений в данные сведения, предоставления содержащихся в нем документов и сведений».

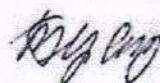
Разработчики:

Заведующий лабораторией 223 УНИИМ –
филиала ФГУП «ВНИИМ им.Д.И.Менделеева»



А.В. Соби́на

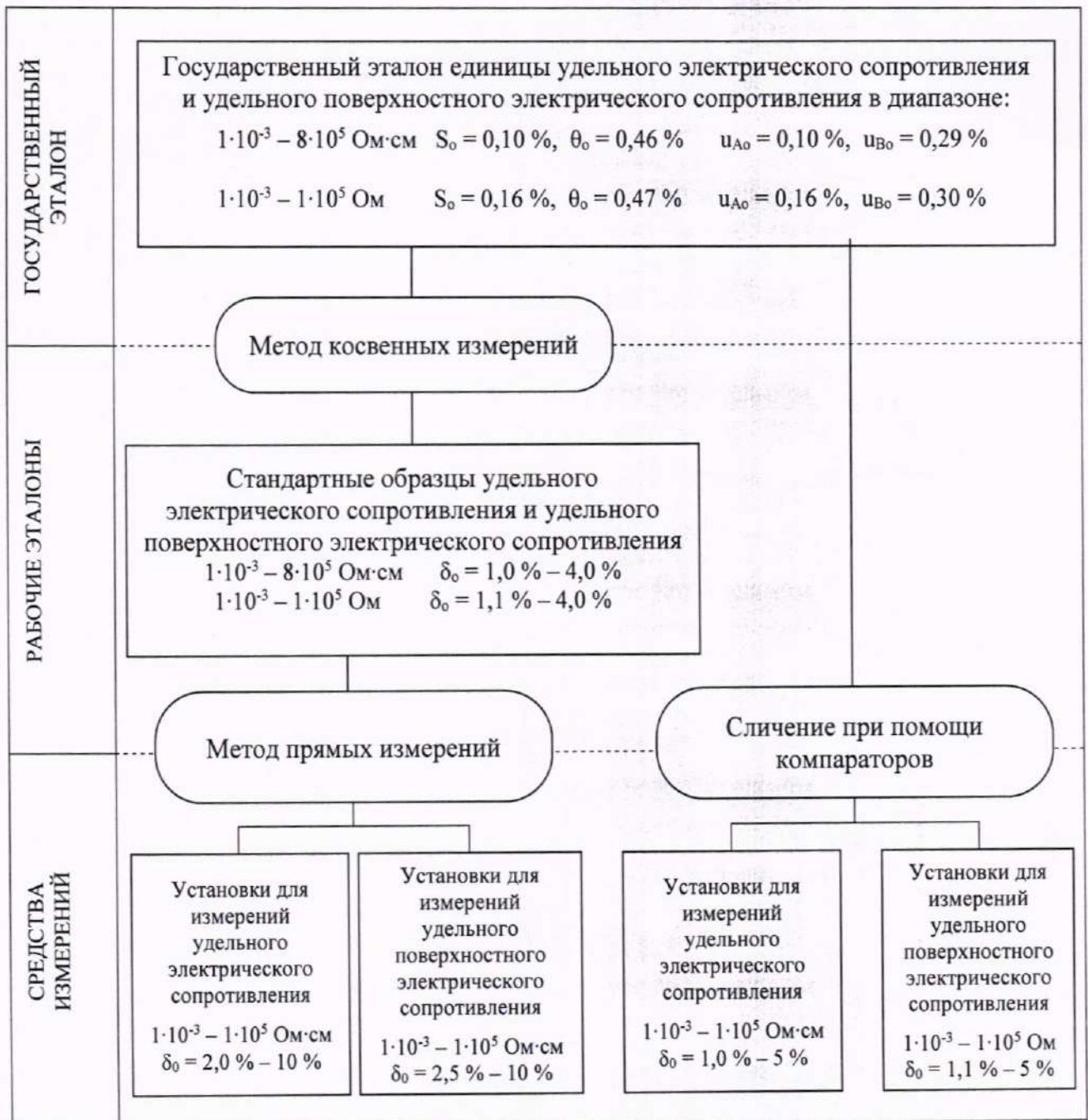
Ведущий инженер лаборатории 223 УНИИМ –
филиала ФГУП «ВНИИМ им.Д.И.Менделеева»



Н.Л. Герасимова

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Локальная поверочная схема для средств измерений удельного электрического сопротивления и удельного поверхностного электрического сопротивления полупроводниковых материалов



S_0 – относительное СКО результата измерений, %;

θ_0 – относительная неисключённая систематическая погрешность, %;

u_{A0} – относительная стандартная неопределённость типа А, %;

u_{B0} – относительная стандартная неопределённость типа В, %;

δ_0 – относительная погрешность, %.