

СОГЛАСОВАНО

Главный метролог

АО «ПриСТ»



А. Н. Новиков

«20» августа 2024 г.

«ГСИ. Нагрузки электронные АКИП-1385.
Методика поверки»

МП-ПР-21-2024

Москва
2024

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Настоящая методика распространяется на нагрузки электронные АКИП-1385 (далее по тексту – нагрузки) и устанавливает методы и средства их поверки.

При проведении поверки должна быть обеспечена прослеживаемость поверяемых нагрузок к государственным первичным эталонам единиц величин в соответствии с:

- государственной поверочной схемой, утвержденной приказом Росстандарта от 28 июля 2023 г. № 1520, к Государственному первичному эталону единицы электрического напряжения – ГЭТ 13-2023;

- государственной поверочной схемой, утвержденной приказом Росстандарта от 01 октября 2018 г. № 2091, к Государственному первичному эталону единицы силы постоянного электрического тока – ГЭТ 4-91;

В результате поверки должны быть подтверждены следующие метрологические требования, приведенные в Приложении А.

2. ПЕРЕЧЕНЬ ОПЕРАЦИЙ ПОВЕРКИ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

Таблица 1 – Перечень операций поверки

Наименование операции	Обязательность выполнения операций поверки при		Номер раздела (пункта) методики поверки
	первичной поверке	периодической поверке	
1. Внешний осмотр средства измерений	да	да	Раздел 6
2. Подготовка к поверке и опробование средства измерений	да	да	Раздел 7
3. Проверка идентификационных данных программного обеспечения	да	да	Раздел 8
4. Определение метрологических характеристик и подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям			Раздел 9
5. Определение абсолютной погрешности установки и измерения напряжения постоянного тока при работе в режиме стабилизации напряжения	да	да	9.1
6. Определение абсолютной погрешности установки и измерения силы постоянного тока при работе в режиме стабилизации силы тока	да	да	9.2
7. Определение абсолютной погрешности установки сопротивления при работе в режиме стабилизации сопротивления	да	да	9.3
8. Определение абсолютной погрешности измерения мощности при работе в режиме стабилизации мощности постоянного тока	да	да	9.4
10. Оформление результатов поверки	да	да	Раздел 10

3. ТРЕБОВАНИЯ К УСЛОВИЯМ ПРОВЕДЕНИЯ ПОВЕРКИ

3.1 При проведении поверки должны соблюдаться следующие условия:

- температура окружающего воздуха от плюс 18 °С до плюс 28 °С;
- относительная влажность от 20 % до 80 %;
- атмосферное давление от 84,0 до 106,7 кПа;
- напряжение питающей сети от 200 до 240 В;
- частота питающей сети от 47 до 63 Гц.

4. МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К СРЕДСТВАМ ПОВЕРКИ

Таблица 2 – Средства поверки

Операции поверки, требующие применение средств поверки	Метрологические и технические требования к средствам поверки, необходимые для проведения поверки	Перечень рекомендуемых средств поверки
9.1, 9.2	Эталоны единицы напряжения постоянного тока и средства измерений, соответствующие требованиям к рабочим эталонам не ниже 3 разряда по государственной поверочной схеме для средств измерений постоянного электрического напряжения и электродвижущей силы, в диапазоне значений напряжения постоянного тока от 1 В до 30 В	Вольтметр универсальный В7-78/1, рег. № 69742-17
9.5 – 9.8	Эталоны единицы силы постоянного тока и средства измерений, соответствующие требованиям к рабочим эталонам не ниже 2 разряда по государственной поверочной схеме для средств измерений силы постоянного электрического тока, в диапазоне значений силы постоянного тока от 0,1 до 3 А	Шунт токовый PCS-71000А, рег. № 68945-17
9.1 – 9.8	Верхний предел установки выходной мощности 3 кВт. Верхний предел установки выходного напряжения постоянного тока до 160 В, верхний предел установки выходной силы постоянного тока 40 А.	Источник питания АКИП-1144-160-40, рег. № 65409-16

Примечание – Допускается использовать при поверке другие утвержденные и аттестованные эталоны единиц величин, средства измерений утвержденного типа, поверенные, удовлетворяющие метрологическим требованиям, указанным в таблице.

Таблица 3 – Вспомогательные средства поверки

Измеряемая величина	Метрологические и технические требования к средствам поверки, необходимые для проведения поверки	Тип средства поверки
1	2	3
Температура	Средства измерений температуры окружающей среды от +10 до +30 °С с абсолютной погрешностью не более ± 1 °С;	Термогигрометр Fluke 1620А (рег. № 36331-07)
Давление	Средства измерений атмосферного давления в диапазоне от 86 до 106,7 кПа с абсолютной погрешностью не более ± 5 гПа	Измеритель давления Testo 511 (рег. № 53431-13)
Влажность	Средства измерений относительной влажности окружающего воздуха от 30 до 80 % с абсолютной погрешностью не более ± 3 %	Термогигрометр Fluke 1620А (рег. № 36331-07)

Продолжение таблицы 3

1	2	3
Напряжение питающей сети	Средства измерений переменного напряжения в диапазоне от 50 до 480 В. Пределы допускаемой относительной погрешности измерений переменного напряжения не более 2 %. Средства измерений частоты от 45 до 60 Гц. Пределы допускаемой относительной погрешности измерений частоты не более 1 %.	Мультиметр цифровой DMG 800 (рег. № 75130-19)

5. ТРЕБОВАНИЯ (УСЛОВИЯ) ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ПОВЕРКИ

5.1 При проведении поверки должны быть соблюдены требования ГОСТ 12.27.0-75, ГОСТ 12.3.019-80, ГОСТ 12.27.7-75, требованиями правил по охране труда при эксплуатации электроустановок, утвержденных приказом Минтруда России от 15 декабря 2020 года N 903н.

5.2 Средства поверки, вспомогательные средства поверки и оборудование должны соответствовать требованиям безопасности, изложенным в руководствах по эксплуатации.

5.3 Поверитель должен пройти инструктаж по технике безопасности и иметь действующее удостоверение на право работы в электроустановках с напряжением до 1000 В с квалификационной группой по электробезопасности не ниже III.

6. ВНЕШНИЙ ОСМОТР СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

6.1 Перед поверкой должен быть проведен внешний осмотр, при котором должно быть установлено соответствие поверяемой нагрузки следующим требованиям:

- не должно быть механических повреждений корпуса. Все надписи должны быть четкими и ясными;
- все разъемы, клеммы и измерительные провода не должны иметь повреждений и должны быть чистыми.

6.2 При наличии дефектов поверяемая нагрузка бракуется и подлежит ремонту.

7. ПОДГОТОВКА К ПОВЕРКЕ И ОПРОБОВАНИЕ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

7.1 Перед проведением поверки должны быть выполнены следующие подготовительные работы:

- средства поверки и поверяемая нагрузка должны быть подготовлены к работе согласно руководств по эксплуатации;
- контроль условий по обеспечению безопасности проведения поверки (раздел 5) должен быть выполнен перед началом поверки.
- контроль условий проведения поверки (раздел 3) должен быть выполнен перед началом поверки.

7.2 Опробование нагрузок проводят путем проверки функционирования в соответствии с руководством по эксплуатации.

При отрицательном результате опробования нагрузка бракуется и направляется в ремонт.

8. ПРОВЕРКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

Проверку идентификационных данных программного обеспечения нагрузок проводить путем вывода на цифровое табло нагрузки информации о версии программного обеспечения. Вывод системной информации осуществляется по процедуре, описанной в руководстве по эксплуатации на нагрузку.

Результат проверки считать положительным, если номер версии программного обеспечения не ниже, приведенного в таблице 4.

Таблица 4 - Идентификационные данные

Идентификационные данные (признаки)	Значение
Номер версии (идентификационный номер ПО)	1.01

9. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК И ПОДТВЕРЖДЕНИЕ СООТВЕТСТВИЯ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ МЕТРОЛОГИЧЕСКИМ ТРЕБОВАНИЯМ

9.1 Определение абсолютной погрешности установки и измерения напряжения постоянного тока при работе в режиме стабилизации напряжения

Определение абсолютной погрешности установки и измерения напряжения постоянного тока проводить при помощи источника питания постоянного тока АКПП-1144-160-40 (далее по тексту – источник питания) и вольтметра универсального В7-78/1 (далее по тексту – вольтметр) методом прямых измерений в следующей последовательности:

9.1.1 Собрать 4-проводную измерительную схему в соответствии с рисунком 1.



Рисунок 1

9.1.2 На поверяемой нагрузке клавишей «Mode» выбрать режим стабилизации напряжения. Индикатор «30A» не активен.

9.1.3 На источнике питания установить значение напряжения, равное верхней границе диапазона нагрузки. Значение силы тока установить таким образом, чтобы выходная мощность источника не превышала входную мощность и силу тока нагрузки.

9.1.4 На поверяемой нагрузке установить значение напряжения равное 1 В. Включить выход источника. Включить нагрузку.

9.1.5 Зафиксировать показания вольтметра и записать в графу «Действительное значение напряжения, В» таблиц 5 и 6.

9.1.6 С помощью клавиши «View» зафиксировать показания индикатора напряжения нагрузки и записать в графу «Измеренное значение напряжения на нагрузке, В» таблицы 6. Выключить нагрузку. Выключить выход источника.

9.1.7 Рассчитать абсолютную погрешность установки напряжения на поверяемой нагрузке по формуле 1 и записать в соответствующую графу таблицы 5.

$$\Delta = U_{\text{уст}} - U_{\text{д}}, \text{ где} \quad (1)$$

$U_{\text{уст}}$ – установленное значение напряжения на нагрузке, В;

$U_{\text{д}}$ – действительное значение напряжения, В.

9.1.8 Рассчитать абсолютную погрешность измерения напряжения на поверяемой нагрузке по формуле 2 и записать в соответствующую графу таблицы 6.

$$\Delta = U_{\text{изм}} - U_{\text{д}}, \text{ где} \quad (2)$$

$U_{изм}$ – измеренное значение напряжения на нагрузке, В;

U_d – действительное значение напряжения, В.

9.1.9 Повторить операции поверки по п. 9.1.4-9.1.9 для значений напряжения, указанных в таблице 5.

Таблица 5

Установленное значение напряжения на нагрузке, В	Действительное значение напряжения, В	Абсолютная погрешность установки напряжения, В	Пределы допускаемых значений погрешности установки напряжения, В
1,000			$\pm 0,061$
5,000			$\pm 0,063$
9,000			$\pm 0,065$
16,00			$\pm 0,07$
36,00			$\pm 0,08$
56,00			$\pm 0,09$

Таблица 6

Установленное значение напряжения на нагрузке, В	Действительное значение напряжения, В	Измеренное значение напряжения на нагрузке, В	Абсолютная погрешность измерения напряжения, В	Пределы допускаемых значений погрешности измерения напряжения, В
1,000				$\pm 0,011$
5,000				$\pm 0,013$
9,000				$\pm 0,015$
16,00				$\pm 0,07$
36,00				$\pm 0,08$
56,00				$\pm 0,09$

Результаты поверки по данному пункту считать положительными, если абсолютная погрешность установки (измерения) напряжения находится в пределах, приведенных в таблицах 5 и 6.

9.2 Определение абсолютной погрешности установки и измерения силы постоянного тока при работе в режиме стабилизации силы тока

Определение абсолютной погрешности установки и измерения силы постоянного тока проводить при помощи источника питания постоянного тока АКПП-1144-160-40 (далее по тексту – источник питания) и шунта токового PCS-71000A (далее по тексту – шунт) методом прямых измерений в следующей последовательности:

9.2.1 Собрать 4-проводную измерительную схему, представленную на рисунке 2. В зависимости от задаваемой нагрузкой силы тока, подключать измерительные кабели к соответствующим клеммам шунта, чтобы ток в цепи не превышал его предел по току.



Рисунок 2

9.2.2 На поверяемой нагрузке клавишей «Mode» выбрать режим стабилизации силы тока. Выбрать нижний диапазон установки и измерения силы тока. Индикатор «30А» не активен.

9.2.3 На источнике питания установить значение силы тока, равное верхней границе выбранного диапазона нагрузки. Значение напряжения установить таким образом, чтобы выходная мощность источника не превышала входную мощность и напряжение нагрузки на выбранном диапазоне.

9.2.4 На поверяемой нагрузке установить значение силы тока равное 0,3 А. Включить выход источника. Включить нагрузку.

9.2.5 Зафиксировать показания шунта и записать в графу «Действительное значение силы тока, А» таблиц 7 и 8.

9.2.6 С помощью клавиши «View» зафиксировать показания индикатора силы тока нагрузки и записать в графу «Измеренное значение силы тока на нагрузке, А» таблицы 7. Выключить нагрузку. Выключить выход источника.

9.2.7 Рассчитать абсолютную погрешность установки силы тока на поверяемой нагрузке по формуле 3 и записать в соответствующую графу таблицы 7.

$$\Delta = I_{уст} - I_{д}, \text{ где} \quad (3)$$

$I_{уст}$ – установленное значение силы тока на нагрузке, А;

$I_{д}$ – действительное значение силы тока, А.

9.2.8 Рассчитать абсолютную погрешность измерения силы тока на поверяемой нагрузке по формуле 4 и записать в соответствующую графу таблицы 8.

$$\Delta = I_{изм} - I_{д}, \text{ где} \quad (4)$$

$I_{изм}$ – измеренное значение силы тока на нагрузке, А;

$I_{д}$ – действительное значение силы тока, А.

9.2.9 Повторить операции поверки по п. 9.2.4-9.2.8 для значений силы тока, указанных в таблице 7.

9.2.10 Выбрать верхний диапазон установки и измерения силы тока. Индикатор «30А» активен.

9.2.11 Повторить операции поверки по п. 9.2.2-9.2.9 для верхнего диапазона установки и измерения силы тока.

Таблица 7

Установленное значение силы тока на нагрузке, А	Действительное значение силы тока, А	Абсолютная погрешность установки силы тока, А	Пределы допускаемого значения погрешности установки силы тока, А
Диапазон 3А			
0,300 ¹⁾			±0,003
1,500			±0,005
2,700			±0,006
Диапазон 30А			
3,000 ²⁾			±0,048
15,00			±0,06
27,00			±0,07

Примечания:

¹⁾ Подключить измерительные кабели к клеммам шунта INPUT 3 А

²⁾ Подключить измерительные кабели к клеммам шунта INPUT 30 А

Таблица 8

Установленное значение силы тока на нагрузке, А	Действительное значение силы тока, А	Измеренное значение силы тока на нагрузке, А	Абсолютная погрешность измерения силы тока, А	Пределы допускаемого значения погрешности измерения силы тока, А
Диапазон 3А				
0,300 ¹⁾				±0,003
1,500				±0,005
2,700				±0,006
Диапазон 30А				
3,000 ²⁾				±0,048
15,00				±0,06
27,00				±0,07

Примечания:
¹⁾ Подключить измерительные кабели к клеммам шунта INPUT 3 А
²⁾ Подключить измерительные кабели к клеммам шунта INPUT 30 А

Результаты поверки по данному пункту считать положительными, если абсолютная погрешность установки (измерения) силы тока находится в пределах, приведенных в таблиц 7 и 8.

9.3 Определение абсолютной погрешности установки сопротивления при работе в режиме стабилизации сопротивления

Определение абсолютной погрешности установки и измерения сопротивления проводить при помощи источника питания постоянного тока АКПП-1144-160-40 (далее по тексту – источник питания), вольтметра универсального В7-78/1(далее по тексту – вольтметр) и шунта токового PCS-71000А (далее по тексту – шунт) методом косвенных измерений в следующей последовательности:

9.3.1 Собрать измерительную схему, представленную на рисунке 3. Подключать измерительные кабели к соответствующим клеммам шунта, чтобы ток в цепи не превышал его предел по току.

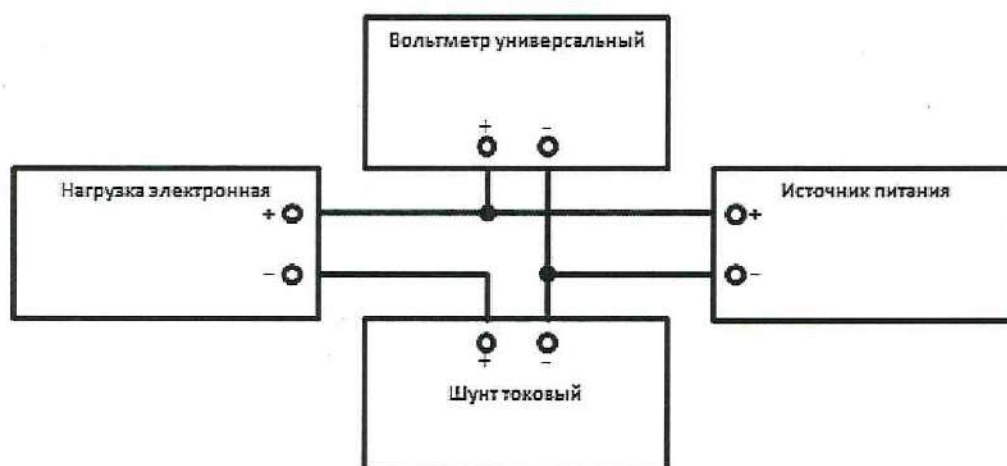


Рисунок 3

9.3.2 На поверяемой нагрузке клавишей «Mode» выбрать режим стабилизации сопротивления. Индикатор «30А» не активен.

9.3.3 На источнике питания установить значение выходного напряжения, равное верхней границе диапазона нагрузки. Значение силы тока установить таким образом, чтобы выходная мощность источника не превышала входную мощность и допускаемую силу тока нагрузки.

9.3.4 На поверяемой нагрузке установить значение сопротивления равное 30 Ом. Включить выход источника. Включить нагрузку.

9.3.5 Зафиксировать показания вольтметра и шунта, записать их в графы «Действительное значение напряжения, В» и «Действительное значение силы тока, А» таблицы 9 соответственно. Выключить нагрузку. Выключить выход источника.

9.3.6 Вычислить расчетное значение сопротивления по формуле (5) и записать в соответствующую графу таблицы 9.

$$R_{\text{расч}} = U_{\text{д}} / I_{\text{д}}, \text{ где} \quad (5)$$

$U_{\text{д}}$ – действительное значение напряжения, В;

$I_{\text{д}}$ – действительное значение силы тока, А.

9.3.7 Рассчитать абсолютную погрешность установки сопротивления на поверяемой нагрузке по формуле (6) и записать в соответствующую графу таблицы 9.

$$\Delta = R_{\text{уст}} - R_{\text{расч}}, \text{ где} \quad (6)$$

$R_{\text{уст}}$ – установленное значение сопротивления на нагрузке, Ом;

$R_{\text{расч}}$ – расчетное значение сопротивления, Ом.

9.3.8 Повторить операции поверки по п.9.3.4-9.3.7 для остальных точек согласно таблице 9.

Таблица 9

Установленное значение сопротивления на нагрузке, Ом	Действительное значение напряжения, В	Действительное значение силы тока, А	Расчетное значение сопротивления, Ом	Абсолютная погрешность установки сопротивления, Ом	Пределы допускаемого значения погрешности сопротивления, Ом
30,00					±32,3
50,00					±32,5
240,0					±34,4

Результаты поверки по данному пункту считать положительными, если абсолютная погрешность установки сопротивления находится в пределах, приведенных в таблице 9.

9.4 Определение абсолютной погрешности измерения мощности при работе в режиме стабилизации мощности постоянного тока

Определение абсолютной погрешности установки и измерения силы постоянного тока проводить при помощи источника питания постоянного тока АКИП-1144-160-40 (далее по тексту – источник питания), вольтметра универсального В7-78/1 (далее по тексту – вольтметр) и шунта токового PCS-71000А (далее по тексту – шунт) методом косвенных измерений в следующей последовательности:

9.4.1 Собрать 4-проводную измерительную схему, представленную на рисунке 3. Подключать измерительные кабели к соответствующим клеммам шунта, чтобы ток в цепи не превышал его предел по току.

9.4.2 На поверяемой нагрузке выбрать режим стабилизации силы тока. Индикатор «30А» не активен.

9.4.3 На источнике питания установить комбинацию значений напряжения и силы тока, равную верхней границе диапазона установки мощности нагрузки, учитывая её входные пределы по силе тока и напряжению.

9.4.4 На поверяемой нагрузке установить значение мощности равное 1 Вт. Включить выход источника. Включить нагрузку.

9.4.5 Зафиксировать показания вольтметра и шунта. Вычислить расчетное значение мощности по формуле (7) и записать в соответствующую графу таблицы 10.

$$P_{\text{расч}} = U_{\text{д}} \cdot I_{\text{д}}, \text{ где} \quad (7)$$

$U_{\text{д}}$ – действительное значение напряжения, В;

I_d – действительное значение силы тока, А.

9.4.6 Зафиксировать показания индикатора мощности нагрузки и записать в графу «Измеренное значение мощности на нагрузке, Вт» таблицы 10.

9.4.7 Повторить операции поверки по п. 9.4.4-9.4.6 для значений мощности, указанных в таблице 10. Выключить нагрузку. Выключить выход источника.

9.4.8 Рассчитать абсолютную погрешность измерения мощности на поверяемой нагрузке по формуле (8) и записать в соответствующую графу таблицы 10.

$$\Delta = P_{\text{изм}} - P_{\text{расч}}, \text{ где} \quad (8)$$

$P_{\text{изм}}$ – измеренное значение мощности на нагрузке, Вт;

$P_{\text{расч}}$ – расчетное значение мощности, Вт.

Таблица 10

Установленное значение мощности на нагрузке, Вт	Расчетное значение мощности, Вт	Измеренное значение мощности на нагрузке, Вт	Абсолютная погрешность измерения мощности, Вт	Пределы допускаемого значения погрешности измерения мощности, Вт
1,000				$\pm 0,060$
5,000				$\pm 0,100$
9,000				$\pm 0,140$
19,00				$\pm 0,69$
55,00				$\pm 1,05$
91,00				$\pm 1,41$
105,0				$\pm 1,8$
125,0				$\pm 2,0$
145,0				$\pm 2,2$

Результаты поверки по данному пункту считать положительными, если абсолютная погрешность измерения мощности находится в пределах, приведенных в таблице 10.

10 ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОВЕРКИ

10.1 Результаты поверки подтверждаются сведениями о результатах поверки средств измерений, включенными в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений.

10.2 При положительных результатах поверки по заявлению владельца средства измерений или лица, представившего его на поверку, выдается свидетельство о поверке и (или) наносится знак поверки на средство измерений.

10.3 При отрицательных результатах поверки (когда не подтверждается соответствие средств измерений метрологическим требованиям) по заявлению владельца средства измерений или лица, представившего его на поверку, выдается извещение о непригодности.

10.4 Протоколы поверки оформляются в соответствии с требованиями, установленными в организации, проводившей поверку.

Начальник отдела испытаний АО «ПриСТ»

О. В. Котельник

Ведущий инженер по метрологии
отдела испытаний АО «ПриСТ»

Ю. А. Буренков

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Метрологические требования подтверждаемые в результате поверки

Таблица 1 – Основные метрологические характеристики

Наименование характеристики		Значение		
Диапазон напряжения на нагрузке, В		от 0 до 60		
Диапазон силы тока в нагрузке, А		от 0,001 до 30,000		
Максимальная мощность на нагрузке, Вт		150		
Режим стабилизации напряжения				
Диапазон установки напряжения, В		от 0,1 до 60,0		
Пределы допускаемой основной абсолютной погрешности установки напряжения, В		$\pm(0,0005 \cdot U_{уст} + 0,001 \cdot U_{пред})$		
Режим стабилизации тока				
Диапазоны установки силы тока, А	от 0 до 3		от 0 до 30	
Пределы допускаемой основной абсолютной погрешности установки тока, В	$\pm(0,001 \cdot I_{уст} + 0,001 \cdot I_{пред})$		$\pm(0,001 \cdot I_{уст} + 0,0015 \cdot I_{пред})$	
Режим стабилизации сопротивления				
Диапазоны установки сопротивления, Ом	от 0,100 до 9,999	от 10,00 до 99,99	от 100,0 до 999,9	от 1000 до 4000
Пределы допускаемой основной ¹⁾ абсолютной погрешности установки сопротивления, Ом	$\pm(0,01 \cdot R_{уст} + 0,008 \cdot R_{пред})$			
Измерение напряжения				
Диапазон измерения напряжения, В	от 0 до 10		от 0 до 60	
Пределы допускаемой основной абсолютной погрешности измерения напряжения, В	$\pm(0,0005 \cdot U_{изм} + 0,001 \cdot U_{пред})$			
Измерение силы тока				
Диапазон измерения силы тока, А	от 0 до 3		от 0 до 30	
Пределы допускаемой основной абсолютной погрешности измерения силы тока, А	$\pm(0,001 \cdot I_{изм} + 0,001 \cdot I_{пред})$		$\pm(0,001 \cdot I_{изм} + 0,0015 \cdot I_{пред})$	
Измерение мощности				
Диапазон измерения мощности, Вт	от 0 до 9,999	от 10,00 до 99,99	от 100,0 до 150,0	
Пределы допускаемой основной ¹⁾ абсолютной погрешности измерения мощности, Вт	$\pm(0,01 \cdot P_{изм} + 0,005 \cdot P_{пред})$			
Примечания:				
¹⁾ Напряжение и сила тока в нагрузке должны быть не менее 10 % от предельного значения. U _{уст} – установленное значение напряжения, В; U _{пред} – предельное значение напряжения, В. I _{уст} – установленное значение тока, А; I _{пред} – предельное значение тока, А. R _{уст} – установленное значение сопротивления, Ом; R _{пред} = 4 кОм. U _{изм} – измеренное значение напряжения, В. I _{изм} – измеренное значение тока, А. P _{изм} – измеренное значение мощности, Вт; P _{пред} – предельное значение мощности, Вт.				