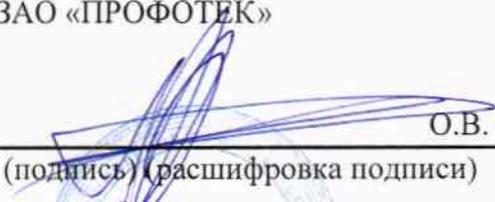


СОГЛАСОВАНО

Генеральный директор
ЗАО «ПРОФОТЕК»



О.В. Рудаков
(подпись) (расшифровка подписи)



2015 г.

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель директора
ФГУП «ВНИИМС»



В.Н. Яншин
(подпись) (расшифровка подписи)



2015 г.

Трансформаторы тока электронные оптические типа ТТЭО

Методика поверки

н.р. 60487-15

Москва
2014 г.

Содержание

1 Вводная часть.....	3
2 Операции поверки	3
3 Средства поверки	3
4 Требования к квалификации поверителей	4
5 Требования безопасности	5
6 Условия поверки.....	5
7 Подготовка к поверке.....	5
8 Проведение поверки.....	5
9 Оформление результатов поверки.....	9
Приложение А.....	10
Приложение Б.....	15

1 ВВОДНАЯ ЧАСТЬ

Настоящая методика поверки устанавливает методы и средства первичной и периодической поверок трансформаторов тока электронных оптических, далее по тексту – трансформаторы.

Трансформаторы подлежат поверке с периодичностью, устанавливаемой потребителем с учётом режимов и интенсивности эксплуатации, но не реже одного раза в шесть лет.

2 ОПЕРАЦИИ ПОВЕРКИ

При проведении поверки выполняют операции, указанные в таблице 1.

Таблица 1

Наименование операции поверки	Номер пункта методики поверки	Необходимость выполнения	
		при первичной поверке	при периодической поверке
Внешний осмотр	8.3.18.1	Да	Да
Опробование	8.2	Да	Да
Подтверждение соответствия программного обеспечения	8.3	Да	Да
Проверка метрологических характеристик	8.4	Да	Да

3 СРЕДСТВА ПОВЕРКИ

Перечень средств измерений, используемых при поверке, приведен в таблице 2.

Таблица 2

Наименование, обозначение	Тип	Требуемые характеристики
1. Трансформатор тока измерительный лабораторный	ТТИ-200	Диапазон первичного тока от 20 до 36000 А, класс точности 0,01.
2. Трансформатор тока эталонный	ТТИ-5000	Номинальные токи: от 1 до 5000, класс точности 0,05.
3. Прибор сравнения	КНТ-05	Предел допускаемой относительной погрешности $\pm 0,0005$ %; предел допускаемой абсолютной угловой погрешности $\pm 0,005$ мин.
4. Прибор электроизмерительный эталонный многофункциональный	Энергомонитор-3.1 КМ	Предел допускаемой относительной погрешности измерения напряжения переменного тока $\pm [0,01 + 0,002 \cdot (1,2 \cdot U_N / U - 1)]$ %, предел допускаемой относительной погрешности измерения напряжения постоянного тока $\pm [0,01 + 0,005 \cdot (1,7 \cdot U_N / U - 1)]$ %, предел допускаемой абсолютной погрешности измерения угла фазового сдвига $\pm 0,01$ градуса

Наименование, обозначение	Тип	Требуемые характеристики
5. Магазин нагрузок	МР 3027	Предел допускаемой погрешности от номинального значения нагрузки $\pm 4 \%$.
6. Нановольт-микроомметр	34420 А	Диапазон измерения напряжения постоянного тока (0 – 100) В, допускаемая основная относительная погрешность измерения $\pm (0,005 \% \cdot U_{изм} + 0,002 \% \cdot U_{предел})$.
7. Частотомер электронно-счетный	53220А	Диапазон измерения частот 0,001 Гц – 350 МГц, пределы допускаемой основной абсолютной погрешности измерения $\pm 1 \cdot 10^{-6}$ Гц.
8. Секундомер электронный	ИВПР-203М	Диапазон измерения длительности – 1 миллисекунда – 999 999,999 секунд, Базовая погрешность измеряемых величин: $\pm 0,01\% \pm 1$ мс и $\pm 0,01\% + 10$ мс $\pm 1/2$ период
9. Мультиметр	34461А	Предел допускаемой погрешности измерения тока на пределе 100 мА $\pm 0,01 \%$. Предел допускаемой погрешности измерения тока на пределе 1 А $\pm 0,05 \%$.
10. Шунт эталонный многопредельный	АКИП-7501	Предел допускаемой погрешности измерения тока шунтом 200 А $\pm 0,02 \%$. Предел допускаемой погрешности измерения тока шунтами 20 мА – 20 А $\pm 0,01 \%$.
11. Осциллограф цифровой	DSO 1004	Диапазон коэффициента развертки составляет от 3 нс/дел до 5 с/дел, погрешности коэффициента развертки $\pm 50 \times 10^{-6}$
12. Гигрометр психрометрический	ВИТ-2	Диапазон измерений относительной влажности от 40 до 90 %; абсолютная погрешность $\pm 2 \%$. Диапазон измерений температуры от 15 до 40 °С; абсолютная погрешность ± 1 °С.
13. Барометр-анероид метеорологический	БАММ-1	Диапазон от 80 до 106 кПа; абсолютная погрешность ± 200 Па.
Примечание: Допускается использование других средств измерений, обеспечивающих измерение соответствующих параметров с требуемой точностью.		

4 ТРЕБОВАНИЯ К КВАЛИФИКАЦИИ ПОВЕРИТЕЛЕЙ

К проведению поверки допускают лица, аттестованные в качестве поверителей средств измерений электрических величин.

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

5 ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ

5.1 При проведении поверки должны быть соблюдены требования безопасности, установленные ГОСТ 12.3.019-80, ГОСТ 12.2.007.0, ГОСТ 12.2.007.3, «Правилами техники безопасности, при эксплуатации электроустановок потребителей», «Межотраслевыми правилами по охране труда (правилами безопасности) при эксплуатации электроустановок». Соблюдают также требования безопасности, изложенные в эксплуатационных документах на устройство и применяемые средства измерений.

5.2 Средства поверки, которые подлежат заземлению, должны быть надежно заземлены. Подсоединение зажимов защитного заземления к контуру заземления должно производиться ранее других соединений, а отсоединение – после всех отсоединений.

5.3 Должны также быть обеспечены требования безопасности, указанные в эксплуатационных документах на средства поверки.

6 УСЛОВИЯ ПОВЕРКИ

При проведении поверки должны соблюдаться следующие условия применения:

- температура окружающего воздуха от 20 ± 5 °С;
- относительная влажность воздуха не более 80 %;
- атмосферное давление от 80 до 106,7 кПа;

7 ПОДГОТОВКА К ПОВЕРКЕ

Перед проведением поверки необходимо выполнить следующие подготовительные работы:

- провести технические и организационные мероприятия по обеспечению безопасности проводимых работ в соответствии с действующими положениями ГОСТ 12.2.007.0-75;
- выдержать установку в условиях окружающей среды, указанных в п.6, не менее 4 ч, если она находилась в климатических условиях, отличающихся от указанных в п.6;
- подготовить к работе средства измерений, используемые при поверке, в соответствии с руководством по эксплуатации трансформаторов (все средства измерений должны быть исправны и поверены).

8 ПРОВЕДЕНИЕ ПОВЕРКИ

8.1 Внешний осмотр.

При проведении внешнего осмотра трансформатора проверяют:

- соответствие комплектности перечню, указанному в паспорте трансформаторов;
- соответствие серийного номера указанному в паспорте;
- маркировку и наличие необходимых надписей на наружных панелях;
- разборные контактные соединения должны иметь маркировку, а резьба винтов и гаек должна быть исправна;
- на корпусе трансформатора не должно быть трещин, царапин, забоин, сколов;
- соединительный провод не должен иметь механических повреждений;
- отдельные части трансформатора должны быть прочно закреплены.

Результат внешнего осмотра считают положительным, если комплектность и серийный номер соответствуют указанным в паспорте, маркировка и надписи на

наружных панелях соответствуют эксплуатационной документации, а также отсутствуют механические повреждения, способные повлиять на работоспособность трансформаторов.

8.2 Опробование.

1) Подключить персональный компьютер (далее по тексту – ПЭВМ) к выходным интерфейсам ТТЭО.

2) Включить ТТЭО (подать питание) и ПЭВМ, убедиться во включении подсветки индикатора (в течение 2-3 секунд происходит загрузка программного обеспечения).

3) При успешном окончании процесса загрузки внутреннего программного обеспечения преобразователя загорается зеленый светодиод (Норма).

4) Убедиться в приеме на ПЭВМ сигналов с выходных интерфейсов, соответствующих показаниям индикатора ТТЭО.

Результаты проверки считают положительным, если после подачи питания на ТТЭО включилась подсветка индикатора и появилась на нем соответствующая надпись, загорелся зеленый светодиод (Норма) и при отсутствии силы постоянного тока показания преобразователя близки к нулевым значениям.

8.3 Подтверждение соответствия программного обеспечения.

1) Подключить персональный компьютер (далее по тексту – ПЭВМ) к выходным интерфейсам трансформатора.

2) Включить трансформатор (подать питание) и ПЭВМ, в течение 2-3 секунд происходит загрузка программного обеспечения.

3) В главном меню указывается номер версии программного обеспечения.

4) Проверить соответствие номера версии программного обеспечения с указанным в паспорте и описании типа на трансформатор.

Результаты подтверждения соответствия программного обеспечения считают положительными, если номер версии программного обеспечения, отображаемый на экране ПЭВМ, совпадают с указанными в паспорте и описании типа на трансформатор.

8.4 Проверка метрологических характеристик.

8.4.1 Проверка диапазона и определение допустимой погрешности коэффициента масштабного преобразования силы постоянного тока (для выхода 1 А) проводится в следующей последовательности:

1) Собирают схему подключений согласно рисунку 1 в соответствии с эксплуатационной документацией.

2) Для проверки трансформатора в данной схеме используются соленоиды (см. приложение Б), включенные последовательно и подключаемые к источнику постоянного тока Delta Elektonika SM 30-200 (далее по тексту – источник).

Примечание:

Соленоид состоит из медного провода с поперечным сечением не менее 4 мм². Количество витков на одном соленоиде должно составлять 800 витков.

3) Воспроизводят испытательный сигнал с помощью источника питания в соответствии с таблицей 3. Выходную силу постоянного тока рассчитывают, снимая показания с нановольт-микроомметра 34420 А (далее по тексту – Agilent 34420А), подключенного к катушке электрического сопротивления Р310 (далее по тексту – катушка Р310), по формуле:

$$X_{I_{\text{н}}} = \frac{U}{R} \quad (2)$$

Где U – измеренное значение напряжение постоянного тока с помощью вольтметра Agilent 34420 А; R – номинальное сопротивление катушки Р310 ($R = 0,001 \text{ Ом}$).

4) В зависимости от номинального первичного тока поверяемого трансформатора устанавливают соответствующие количество витков чувствительного элемента проходящих через соленоиды.

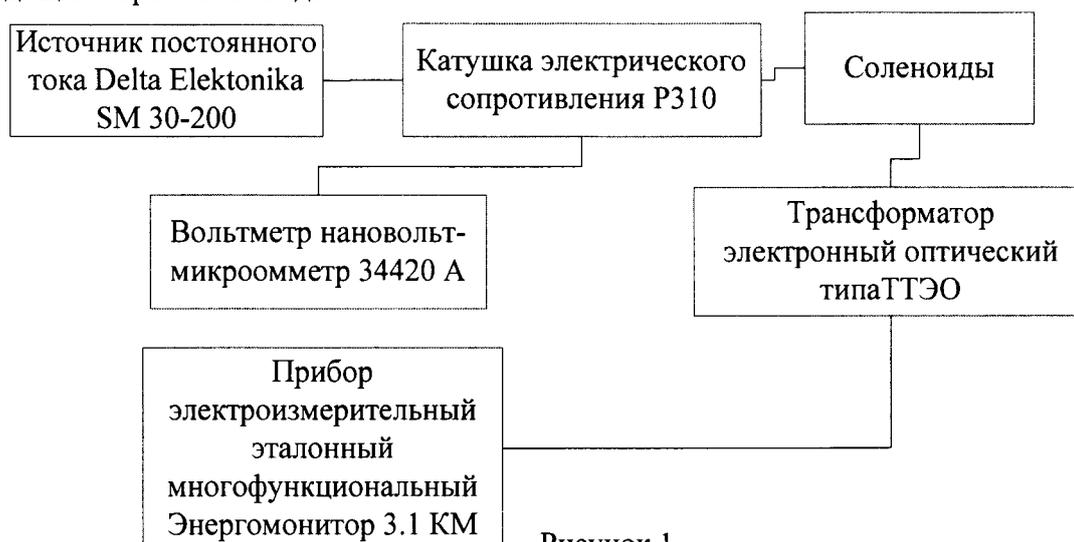


Рисунок 1

5) Измеряют значения силы постоянного тока с помощью трансформатора и прибора электроизмерительного эталонного многофункционального Энергомонитор-3.1 КМ (далее по тексту – Энергомонитор 3.1) и рассчитывают допустимую относительную погрешность по формуле:

$$\delta X = \frac{X_0 - X}{X} \cdot 100\% \quad (3)$$

X_0 – действительное значение силы электрического тока, получаемое по формуле (Б.7) с использованием эталонного оборудования;

X – значение силы электрического тока с помощью трансформатора.

Таблица 3

№ п.п.	Процент от номинального первичного тока, %
1	10
2	25
3	50
4	75
5	100

Результаты испытания считают удовлетворительными, если диапазон и пределы допускаемой погрешности коэффициента масштабного преобразования силы постоянного тока (для выхода 1 А) находятся в пределах, указанные в приложении А.

8.4.2 Проверка диапазона и определение допускаемой погрешности коэффициента масштабного преобразования и угла фазового сдвига силы переменного тока (для выхода 1 А) проводится в следующей последовательности:

1) Собирают схему подключений согласно рисунку 2.
 2) Воспроизводят испытательный сигнал с помощью источника в соответствии с п. 9.5 ГОСТ 7746-2001.

3) В зависимости от номинального первичного тока поверяемого трансформатора устанавливают соответствующие количество витков чувствительного элемента.

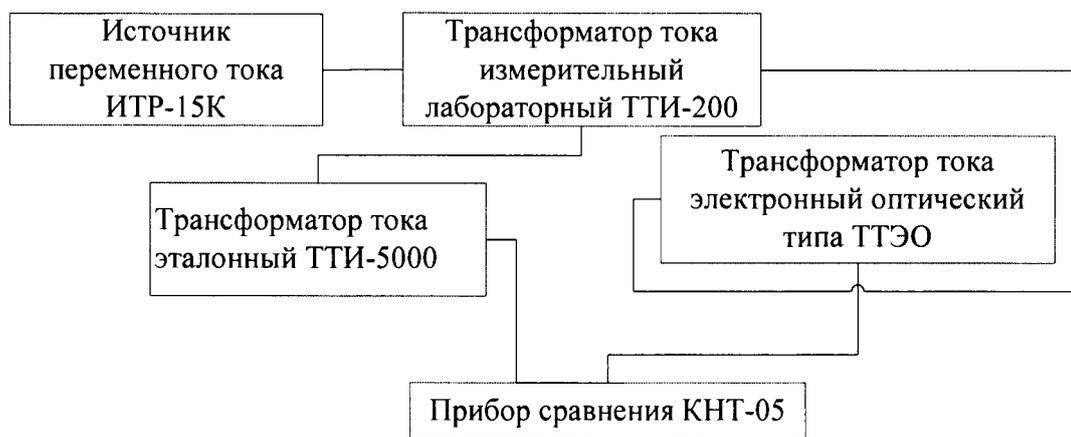


Рисунок 2

4) Получают значения допускаемой погрешности коэффициента масштабного преобразования и угла фазового сдвига с прибора сравнения КНТ-05.

Результаты испытания считают удовлетворительными, если диапазон и пределы допускаемой погрешности коэффициента масштабного преобразования и угла фазового сдвига силы переменного тока (для выхода 1 А) находятся в пределах, указанные в приложении А и п. 6.9; 6.4.2 ГОСТ 7746-2001.

8.4.3 Проверка диапазона и определение допускаемой погрешности коэффициента масштабного преобразования силы переменного и постоянного тока (для потенциального выхода) проводится в следующей последовательности:

1) Собирают схему подключений согласно рисунку 1 (для силы постоянного тока) или рисунку 2 (для силы переменного тока в котором вместо прибора сравнения КНТ-05 используется Энергомонитор 3.1).

2) Воспроизводят испытательный сигнал с помощью источника в соответствии с таблицей 3.

3) В зависимости от номинального первичного тока поверяемого трансформатора устанавливают соответствующее количество витков чувствительного элемента.

4) Вычисляют значение силы электрического тока с помощью показаний трансформатора и Энергомонитора 3.1 по формуле:

$$X = \frac{M_k}{U_1} \quad (4)$$

где M_k – коэффициенты масштабного преобразования потенциального выхода каналов, используемые в зависимости от конфигурации трансформатора;

U_1 – измеренное значение напряжения постоянного тока на выходе трансформатора с помощью Энергомонитора 3.1.

5) Рассчитывают допускаемую погрешность коэффициента масштабного преобразования для потенциального выхода.

Результаты испытания считают удовлетворительными, если диапазон и пределы допускаемой погрешности коэффициента масштабного преобразования для потенциального выхода находятся в пределах, указанные в приложении А.

8.4.4 Проверка диапазона и определение допускаемой погрешности коэффициента масштабного преобразования силы переменного и постоянного тока (для частотного выхода) проводится в следующей последовательности:

1) Собирают схему подключений согласно рисунку 1 (для силы постоянного тока) или рисунку 2 (для силы переменного тока в котором вместо прибора сравнения КНТ-05 используется частотомер электронно-счетный ЧЗ-35А (далее по тексту – частотомер)).

1) Воспроизводят испытательный сигнал с помощью источника в соответствии с таблицей 3.

2) В зависимости от номинального первичного тока поверяемого трансформатора устанавливают соответствующие количество витков чувствительного элемента.

3) Вычисляют значение силы электрического тока с помощью показаний трансформатора и частотомера по формуле:

$$X = \frac{M_k}{f_1} \quad (5)$$

где M_k – коэффициенты масштабного преобразования частотного выхода каналов, используемые в зависимости от конфигурации трансформатора;

f_1 – измеренное значение частоты на выходе трансформатора с помощью частотомера.

4) Рассчитывают допустимую погрешность коэффициента масштабного преобразования для частотного выхода.

Результаты испытания считают удовлетворительными, если диапазон и пределы допустимой погрешности коэффициента масштабного преобразования для частотного выхода находятся в пределах, указанные в приложении А.

8.4.5 Проверка диапазона и определение допустимой погрешности коэффициента масштабного преобразования силы переменного и постоянного тока (для импульсного выхода) проводится в следующей последовательности:

1) Собирают схему подключений согласно рисунку 1 (для силы постоянного тока) или рисунку 2 (для силы переменного тока в котором вместо прибора сравнения КНТ-05 используется частотомер электронно-счетный ЧЗ-35А (далее по тексту – частотомер)).

2) Воспроизводят испытательный сигнал с помощью источника в соответствии с таблицей 2. Время измерения контролируют с помощью секундомера механического Сопр-2б-2-000 (далее по тексту – секундомер). Осциллографом цифровым TDS 210 определяют параметры выходного сигнала с импульсного выходного. Измеренные параметры сигнала не должны превышать указанные в таблице 4.

Таблица 4

Импульсный выходной канал № 4	
Амплитуда импульсов, В	12 ± 1
Длительность импульса, мс	125 ± 5

5) В зависимости от номинального первичного тока поверяемого трансформатора устанавливают соответствующие количество витков чувствительного элемента.

6) Вычисляют значение силы электрического тока с помощью показаний трансформаторов и частотомера по формуле:

$$X = M_k \cdot n_{изм}(t_{изм}) \quad (6)$$

где M_k – коэффициенты масштабного преобразования импульсного выхода, используемые в зависимости от конфигурации трансформатора;

$n_{изм}$ – измеренное значение количества импульсов за промежутки времени измеренное с помощью секундомера.

7) Рассчитывают допустимую погрешность коэффициента масштабного преобразования для импульсного выхода.

Результаты испытания считают удовлетворительными, если диапазон и пределы допустимой погрешности коэффициента масштабного преобразования для импульсного выхода находятся в пределах, указанные в приложении А.

8.4.6 Проверка диапазона и определение допустимой погрешности коэффициента масштабного преобразования силы переменного и постоянного тока (для токового выхода) проводится в следующей последовательности:

1) Собирают схему подключений согласно рисунку 1 (для силы постоянного тока) или рисунку 2 (для силы переменного тока в котором вместо прибора сравнения КНТ-05 используется Энергомонитор 3.1).

2) Воспроизводят испытательный сигнал с помощью источника в соответствии с таблицей 3.

3) В зависимости от номинального первичного тока поверяемого трансформатора устанавливают соответствующие количество витков чувствительного элемента.

4) Вычисляют значение силы электрического тока с помощью показаний трансформатора и частотомера по формуле:

$$X = M_k \cdot I_1 \quad (7)$$

где M_k – коэффициенты масштабного преобразования токового выхода, используемые в зависимости от конфигурации трансформатора;

I_1 – измеренное значение силы постоянного тока на выходе трансформатора .

5) Рассчитывают допустимую погрешность коэффициента масштабного преобразования для токового выхода.

Результаты испытания считают удовлетворительными, если диапазон и пределы допускаемой погрешности коэффициента масштабного преобразования для токового выхода находятся в пределах, указанные в приложении А.

9 ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОВЕРКИ

При положительном результате поверки на паспорт трансформатора наносится поверительное клеймо или выдается «Свидетельство о поверке».

При отрицательном результате поверки трансформатора, трансформатор не допускается к дальнейшему применению, поверительное клеймо гасится, «Свидетельство о поверке» аннулируется, выписывается «Извещение о непригодности» или делается соответствующая запись в паспорте делителя.

Приложение А
Метрологические и технические характеристики

Диапазоны измеряемых величин, технические характеристики, а также пределы допускаемых погрешностей измерений приведены в таблицах А.1-А.4.

Таблица А.1 - Диапазоны и пределы допускаемых погрешностей преобразования силы переменного тока

Характеристика	Значение	
	Вариант исполнения	Фазное напряжение
Номинальное напряжение переменного тока, кВ	ТТЭО-110	110/√3
	ТТЭО-220	220/√3
	ТТЭО-Г и ТТЭО-Ш	0-750
Номинальный первичный ток I _{ном} , А*	ТТЭО-110	от 100 до 3000
	ТТЭО-220	
	ТТЭО-Ш	
	ТТЭО-Г	от 600 до 250000
Номинальный вторичный ток для аналогового выхода внешнего цифро-аналогового преобразователя, А	1**	
Классы точности по ГОСТ Р МЭК 60044-8-2010	0,2S; 0,5S; 5P; 5TPE	
Номинальная нагрузка на аналоговом выходе внешнего цифро-аналогового преобразователя S _{2ном} (коэффициент мощности cosφ=1), В·А	от 1 до 15	
Номинальная частота измеряемого тока, Гц	50	
Номинальный коэффициент расширенного первичного тока	от 1,2 до 4,0	
Коэффициент безопасности внешнего цифро-аналогового преобразователя тока, не менее	3,0	
Количество измеряемых фаз	1 – 3 **	
<p>Примечание:</p> <p>* Значение номинального тока зависит от количества оборотов гибкого чувствительного элемента вокруг токоведущей шины, числа оборотов токоведущей шины вокруг чувствительного элемента и настроек прибора. Точное число витков чувствительного элемента для получения заданного номинального тока указывается в паспорте на прибор. Прибор допускает снижение номинального тока относительно указанных значений путем кратного (допускается только целое число витков) увеличения оборотов токоведущей шины вокруг чувствительного элемента, при этом механические, термические и динамические показатели использованной для таких целей шины должны быть подтверждены соответствующими расчетами при проектировании;</p> <p>** Наличие и тип выходов зависит от варианта исполнения.</p>		

Таблица А.2 - Диапазоны и пределы допускаемых погрешностей преобразования силы постоянного тока

Характеристика	Значение	
	Вариант исполнения	Фазное напряжение
Номинальное напряжение постоянного тока, кВ	ТТЭО-110	100
	ТТЭО-220	200
	ТТЭО-Г и ТТЭО-Ш	0-750
Номинальное значение первичной силы постоянного тока $I_{ном}$, А*	ТТЭО-110	от 100 до 6000
	ТТЭО-220	
	ТТЭО-Ш	
	ТТЭО-Г	от 600 до 330000
Номинальный вторичный ток для аналогового выхода внешнего цифро-аналогового преобразователя, А	1**	
Пределы допускаемой относительной погрешности коэффициента масштабного преобразования силы постоянного тока, %	$\pm 0,2; \pm 0,5; \pm 1,0$	
Номинальная нагрузка на аналоговом выходе внешнего цифро-аналогового преобразователя тока, В·А	от 1 до 15	
Количество измеряемых линий для постоянного тока	1 – 3 **	
Примечание: * Значение номинального тока зависит от количества оборотов гибкого чувствительного элемента вокруг токоведущей шины, числа оборотов токоведущей шины вокруг чувствительного элемента и настроек прибора. Точное число витков чувствительного элемента для получения заданного номинального тока указывается в паспорте на прибор. Прибор допускает снижение номинального тока относительно указанных значений путем кратного (допускается только целое число витков) увеличения оборотов токоведущей шины вокруг чувствительного элемента, при этом механические, термические и динамические показатели использованной для таких целей шины должны быть подтверждены соответствующими расчетами при проектировании; ** Наличие и тип выходов зависит от варианта исполнения.		

Таблица А.3 – Диапазоны и пределы допускаемых погрешностей преобразования силы переменного и постоянного тока для дополнительных выходов

Характеристика	Значение
Пределы допускаемой относительной погрешности коэффициента масштабного преобразования силы постоянного и переменного тока для дополнительных выходов, %	$\pm 0,2; \pm 0,5; \pm 1,0$
Номинальное напряжение потенциального выхода, В	от 0,1 до 10
Максимальное сопротивление вторичной цепи потенциального выхода, кОм	400
Число встроенных низкоуровневых токовых выходов	1*
Номинальный вторичный ток встроенного низкоуровневого токового выхода, мА	0...20; 4...20; 0...40
Максимальное сопротивление вторичной цепи встроенного низкоуровневого токового выхода, Ом	50
Число встроенных частотных выходов	3*

Характеристика	Значение
Номинальный масштабный коэффициент преобразования частотных выходов, Гц/кА	1 – 150 000
Минимальное сопротивление вторичной цепи частотных выходов, Ом	100
Число встроенных интегрирующих импульсных выходов	1*
Амплитуда импульсов, В	12 ± 1
Длительность импульса, мс	125 ± 5
Номинальный масштабный коэффициент преобразования импульсных выходов, кА·с	1-160
Минимальное сопротивление вторичной цепи импульсного выхода, Ом	100
Число встроенных Modbus выходов	1*
Период обновления данных на низкоуровневых частотных, импульсных, токовых и Modbus портах передней панели, мс	100
Примечание: * Наличие и тип выходов зависит от варианта исполнения.	

Таблица А.4 – Общие технические характеристики трансформаторов тока электронных оптических типа ТТЭО

Характеристика	Значение		
Номинальный коэффициент расширенного первичного тока	от 1,2 до 4,0		
Диапазон полосы пропускания частот при наличии гармоник в измеряемом сигнале, Гц	20 – 9000		
Номинальное время активации, мкс	16		
Номинальный ток активации	0,3 % от I _{ном}		
Рабочая температура, °С	Чувствительный элемент	УХЛ1 (ГОСТ 15150-69) или минус 60... плюс 60 или минус 10.. плюс 40	
	Электронные блоки	минус 10.. плюс 40	
Относительная влажность воздуха, %	от 10 до 95		
Атмосферное давление, кПа (мм. рт. ст.)	от 60 до 106,7 (от 460 до 800)		
Группа механического исполнения – М29 по ГОСТ 17516.1-90	Исп.	Электронные блоки	Чувствительный элемент
	ТТЭО-110	М40	М40
	ТТЭО-220		
	ТТЭО-Ш		
ТТЭО-Г	М5		
Высота над уровнем моря, м не более	1000		
Окружающая атмосфера	Не взрывоопасная, не содержащая токопроводящую пыль и агрессивные газы, типа II по ГОСТ 15150-69.		
Нагрузка от тяжения провода, Н	Исполнение	Допустимая нагрузка	
	ТТЭО-110	2000	
	ТТЭО-220	2000	

Характеристика	Значение	
		ТТЭО-Ш
	ТТЭО-Г	Не допускается приложение усилий к чувствительному элементу
Рабочее положение первичных датчиков тока	Любое	
Длина соединительного кабеля, м	От 20 до 1200	
Длина чувствительного элемента для исполнения ТТЭО-Г, м	от 1 до 30	
Напряжение питания измерительного блока, В	Исполнение с одним источником питания	220±44 Переменного или постоянного тока без резервирования
	Исполнение с двумя источниками питания	220±44 Переменного или постоянного тока с резервированием
	Исполнение с источником питания для ответственных присоединений	220±44 Переменного или постоянного тока с резервированием и возможностью горячей замены элементов и резервирования от кратковременных пропаданий напряжения длительностью до 2 секунд
Номинальная частота питающей сети, Гц	50	
Потребляемая мощность электронного блока, Вт, не более	150	
Потребляемая мощность электронного блока ЦАП Т, Вт, не более	200	
Габаритные размеры электронных блоков (Д×Ш×В), мм, не более	390×465×220 (3U + оптический кросс)	
Габаритные размеры высоковольтной колонны ТТЭО-110 (Д×Ш×В), мм не более	650×355×1900	
Габаритные размеры высоковольтной колонны ТТЭО-220 (Д×Ш×В), мм не более	660×500×3000	
Габаритные размеры чувствительного элемента ТТЭО-Ш (Д×Ш×В), мм не более	650×355×400	
Масса электронного блока ТТЭО, кг, не более	12	
Масса электронного блока ЦАП Т, кг, не более	15	
Масса высоковольтной колонны ТТЭО-110, кг, не более	62	
Масса высоковольтной колонны ТТЭО-	120	

Характеристика	Значение
220, кг, не более	
Масса чувствительного элемента ТТЭО-Ш, кг, не более	10
Средний срок службы, лет	25
Наработка на отказ, ч	120000
Примечание: * Наличие и тип выходов зависит от варианта исполнения.	

Приложение Б
(обязательное)

Обоснование методики проверки с использование соленоидов

В основе измерения тока ТТЭО лежит использование эффекта Фарадея. Эффект Фарадея вызывает сдвиг фаз $\Delta\varphi$ между циркулярными световыми модами в отрезке чувствительного волокна dl , находящемся в магнитном поле измеряемого электрического тока согласно формуле:

$$\Delta\varphi = 2 \cdot \int_0^L V(\vec{B}, d\vec{l}) \quad (\text{Б.1})$$

где (B, dl) – проекция индукции магнитного поля B , обусловленного протекающим током, на элемент длины волокна, умноженная на этот элемент, V – константа Верде, L – длина волокна.

При измерении чувствительное волокно ТТЭО замыкают в контур, охватывающем медные витки соленоидов с током, для того чтобы исключить паразитные сигналы. В этом случае с учетом двойного прохождения световых волн по волоконному контуру сдвиг фаз $\Delta\varphi$ пропорционален циркуляции магнитного поля H по замкнутому волоконному контуру:

$$\Delta\varphi = 4V \oint (\vec{B}, d\vec{l}) = 4V\mu_0 \oint (\vec{H}, d\vec{l}) \quad (\text{Б.2})$$

Если чувствительный элемент имеет N_f волоконных контуров (витков), то выражение для сдвига фаз $\Delta\varphi$ имеет вид:

$$\Delta\varphi = 4V \oint (\vec{B}, d\vec{l}) = 4V\mu_0 N_f \oint (\vec{H}, d\vec{l}) \quad (\text{Б.3})$$

На основании уравнения Максвелла (теорема о циркуляции вектора магнитного поля) циркуляция вектора H по произвольному замкнутому контуру равна алгебраической сумме токов, пересекающих произвольную поверхность замыкаемую на этот контур:

$$\oint (\vec{H}, d\vec{l}) = \sum_{i=1}^N I_i \quad (\text{Б.4})$$

В используемой для проверки ТТЭО схеме чувствительное волокно проходит внутри нескольких соленоидов и замыкает контур вне этих соленоидов. Провода (медные витки) с одним и тем же током I_{ex} пересекут плоскость контура столько раз, каково суммарное число витков в этих соленоидах. Тогда:

$$\sum_{i=1}^N I_i = I_{ex} N_k n \quad (\text{Б.5})$$

I_{ex} – значение силы постоянного тока установленной с источника и контролируемая с помощью катушки Р310 и вольтметра Agilent 34420 А;

N_k – количество токовых катушек;

n – количество витков в одной токовой катушке ($n=800$).

И выражение (3) можно записать следующим образом:

$$\Delta\varphi = 4 \cdot V \cdot \mu_0 \cdot N_f \cdot I_{ex} \cdot Nn \quad \text{или} \quad \Delta\varphi = 4 \cdot V \cdot \mu_0 \cdot N_f \cdot I_{экс}, \quad (\text{Б.6})$$

$$\text{где } I_{экс} = I_{ex} \cdot N_k \cdot n \quad (\text{Б.7})$$

– эквивалентная сила постоянного тока, позволяющая с помощью соленоида проверять ТТЭО, используя токи I_{ex} меньших значений.