

**Поверка измерительных трехфазных трансформаторов напряжения 35 кВ при помощи  
трехфазной высоковольтной поверочной установки «УПТВ-3-35»  
производства НПП Марс-Энерго**

В распределительных электрических сетях среднего напряжения (до 35 кВ) широко применяются измерительные трансформаторы напряжения (ТН) для систем учёта электроэнергии, телеметрии, сигнализации и защиты. ТН выпускаются по ГОСТ 1983-2001 [1] или ТУ.

При приёмке и в эксплуатации требуется проводить периодическую поверку ТН в установленные сроки по методике поверки, изложенной в новой редакции ГОСТ 8.216-2011 [2]. Поверка в лабораторных условиях требует изъятия ТН из обращения на срок от 2 до 4 недель, что требует наличия на каждой подстанции подменного фонда, а кроме того - организации демонтажа, погрузки, транспортировки и т.д. Поэтому поверка ТН на месте установки признана более эффективной. Для этих целей уже более 8 лет успешно применяется мобильная высоковольтная метрологическая лаборатория «МЭ-Аудит» (ЛВМ).

Наибольшую сложность представляет собой поверка трёхфазного ТН. Особенно требовательны к наличию трёхфазной системы антирезонансные ТН, например, типа НАМИ-10 и -35, которые последние 10 лет широко внедряются благодаря высокой степени защиты при аварийных состояниях сети. Согласно ГОСТ 8.216-2011 [2] для поверки трёхфазного ТН на месте требуются средства поверки, указанные в таблице 1.

Таблица 1.

№ п/п	Комплект по ГОСТ 8.216	Комплект УПТВ-3-35
1	регулируемый источник трёхфазной системы напряжений	ПУ-УПТВ; блок ЛАТР; ТН 50кВ x 4 кВА
2	образцовый трансформатор, включаемый на междуфазное напряжение	Преобразователь ПВЕ-35-2
3	нагрузочные устройства (3 шт.)	МР 3025 100В x 200 ВА
4	фазоуказатель	Энергомонитор 3.3Т1
5	измеритель несимметрии	Энергомонитор 3.3Т1
6	измеритель нелинейных искажений	Энергомонитор 3.3Т1
7	частотомер	Энергомонитор 3.3Т1
8	вольтметр 150 В	Энергомонитор 3.3Т1
9	прибор сравнения	Энергомонитор 3.3Т1

Один прибор «Энергомонитор 3.3Т1» выполняет функции шести приборов из приведенного выше перечня (с 4 по 9) табл.1.

Работы по поверке ТН на ПС предъявляют дополнительные требования к поверочному оборудованию: масса и габариты приборов и устройств должны позволять без проблем

переносить их по территории и внутри подстанции. Выпускавшиеся ранее образцовые трансформаторы с литой изоляцией массой более 85 кг конструктивны так, что они не приспособлены для ручной переноски и требуют такелажных работ при доставке на ПС, что затрудняет их применение. В этих условиях более подходят масштабные эталонные преобразователи типа ПВЕ (рисунок 1).



Рис.1. ПВЕ-35.

Наибольшая масса одного модуля ПВЕ-35 составляет 8 кг. Принцип действия ПВЕ основан на преобразовании сигнала емкостного тока, протекающего через высоковольтный прецизионный трехзажимный газонаполненный конденсатор в нормируемое напряжение ( $100/\sqrt{3}$  В или 100 В). ПВЕ на 6-35 кВ выпускаются как в однофазном исполнении так и в «дифференциальном междуфазном» исполнении (аналогично незаземляемым трансформаторам напряжения). Конструкция ПВЕ запатентована. Преобразователи эталонные ПВЕ класса точности 0,05 (0,1) внесены в госреестр СИ за № 32575-11 и выпускаются более 7 лет.

ГОСТ [2] позволяет «применять вновь разработанные средства поверки, удовлетворяющие требованиям стандарта» (п.5.4). Поскольку комплект нового мобильного поверочного оборудования известен и достаточно устоялся, появилась потребность разработать поверочную установку, обеспечивающую всем необходимым процесс подготовки к поверке и поверку. Такая установка, описанная в новой редакции ГОСТ 8.216-2011 [2] как Установка 2, разработана и выпускается ООО «Научно-производственное предприятие Марс-Энерго». Это трехфазная высоковольтная поверочная установка типа «УПТВ-3-35» (далее – УПТВ). Установка позволяет поверять измерительные трансформаторы напряжения однофазные и трехфазные, заземляемые и незаземляемые, имеющие номинальное первичное напряжение 13,8; 15; 20; 24; 35 кВ, классов точности 0,2 и 0,5. «НПП Марс-Энерго» имеет опыт производства и эксплуатации установки для поверок трехфазных ТН до 10 кВ, например, типа НАМИ-10 – это установка типа «УПТВ-3-10» (госреестр № 40573-09). Для работы с ней была выпущена методика МИ 3239-2009 [3].

В состав новой установки «УПТВ-3-35» (рисунок 2) кроме эталонных СИ входит источник трёхфазной системы напряжений с пультом управления (ПУ), блок ЛАТР, нагрузочные трансформаторы (3 шт.) и все необходимые кабели. ПУ обеспечивает коммутацию, защиту и индикацию токов и напряжений источника при регулировании высокого напряжения одно- и трехфазной цепи переменного тока. В ПУ размещены: силовые разъёмы для подключения питания и соединения с другими блоками установки, схемы управления установкой, схемы защиты, индикаторные приборы, розетки для подключения как измерительных приборов, так и звуковой, световой сигнализации.



Рис.2. «УПТВ-3-35»

Для формирования и регулирования высокого трехфазного напряжения в УПТВ имеются блок ЛАТР и три повышающих нагрузочных трансформатора, которые могут быть как с литой, так и с эластичной изоляцией. Высокое напряжение (междуфазное до 42 кВ) подается от нагрузочных трансформаторов на ПВЕ и поверяемый ТН с помощью специального некоронирующего провода.

Вторичные обмотки поверяемого ТН подключают отдельными проводниками к прибору сравнения и отдельными проводниками к нагрузке. В качестве нагрузки в УПТВ применены магазины нагрузок различных исполнений напряжения 100 или 57,7 В и мощностью 10-200 ВА.

Метод измерений при проведении поверки основан на непосредственном сравнении напряжения на выходе вторичной обмотки поверяемого ТН с напряжением на выходе эталонного преобразователя ПВЕ при помощи прибора сравнения. Измерения проводят при подаче на поверяемый ТН нормированных напряжений (80, 100, 120%). При проведении поверки вне помещения средства измерений не должны подвергаться воздействию атмосферных осадков и

пыли. Особенности работы с УПТВ, не описанные в ГОСТ [2], указаны в Руководстве по эксплуатации. УПТВ поставляется как отдельно, так и в составе ЛВМ «МЭ-Аудит», внесенной в госреестр СИ под № 37652-08.

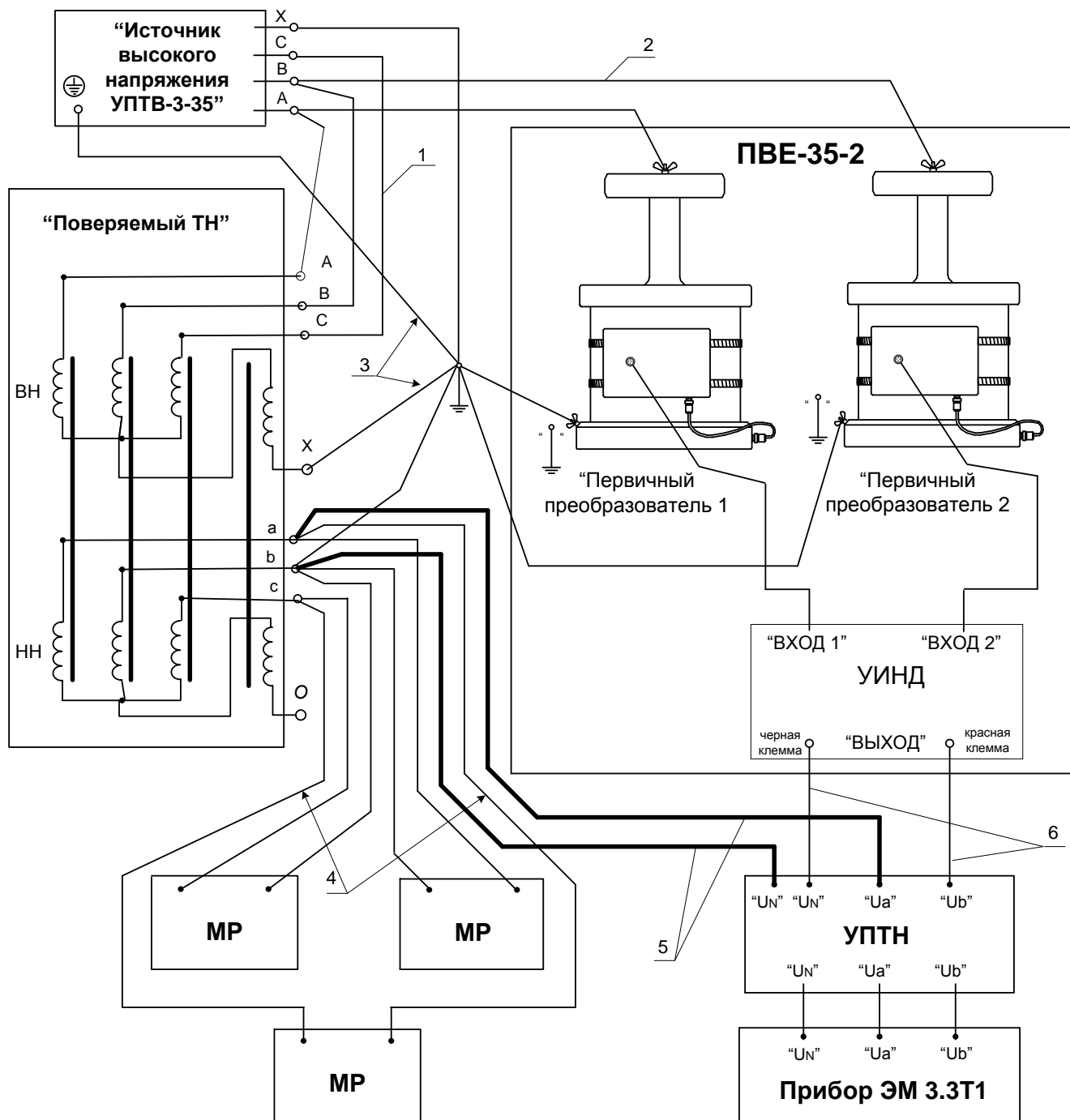


Рис. 3. Схема поверки трехфазного ТН типа НАМИ-35.

1 – кабель высоковольтный; 2 – кабель высоковольтный изолированный;

3 – заземляющие проводники; 4,5 – кабель измерительный; 6 – кабели из комплекта прибора сравнения;

**Прибор ЭМ 3.3Т1** - прибора сравнения многофункциональный Энергомонитор 3.3Т1; **УПТН**- устройство из комплекта прибора; **МР** – магазин нагрузок 100 В; **«Источник высокого напряжения установка УПТВ-3-35»** в составе: Пульт, блок «ЛАТР», комплект нагрузочных ТН, кабели питания.

УПТВ позволяет поверять как однофазные заземляемые, так и трехфазные ТН. Интерес представляет схема поверки трёхфазного ТН, предназначенного для сетей как с эффективно, так и неэффективно заземленной нейтралью и вторичным междуфазным напряжением 100 В (рисунок 3). Нагрузка вторичных обмоток ТН подключается «треугольником», и каждая обмотка поверяется отдельно. На ТН и на ПВЕ-35-2 подается первичное трехфазное напряжение. В приборе сравнения Энергомонитор-3.3Т1 сравниваются вторичные междуфазные напряжения ТН и ПВЕ, что полностью соответствует п. 10.3.13.2 ГОСТ [2].

Данная схема успешно прошла испытания на заводе-изготовителе трансформаторов ОАО «РЭТЗ Энергия» в г. Раменское (рисунок 4). Измеренные на УПТВ погрешности ТН незначительно отличались от погрешностей, полученных на заводской установке (до 0,02% по модулю и до 0,4 мин по углу).



Рис.4. Испытания УПТВ-3-35 (показана только высоковольтная часть).

Известны случаи использования при поверке трёхфазного ТН однофазного источника напряжения. Однако, это возможно только для некоторых типов ТН снятых с производства, например, НТМИ. Современные антирезонансные ТН типов НАМИ и НАМИТ не работоспособны, когда на них подается высокое напряжение только одной фазы. Более того, в случае нарушения чередования фаз первичной сети, погрешности основных обмоток превышают допустимые значения, что ведёт к недостоверному учёту и забраковке ТН при поверке. Так, например, при поверке НАМИ-35 класса точности 0,5 в случае неправильного чередования фаз

угловые погрешности  $\Delta\delta$  лежали в пределах 17...34 мин. (допускается  $\pm 20$  мин.), а при правильном подключении  $\Delta\delta$  лежали в пределах -5...12 мин.

В 2003 году была выпущена рекомендация МИ 2845-2003 [4], которая, как показала практика, имеет ряд недостатков:

1. МИ не предназначена для поверки трехфазных ТН, погрешности которых нормируются по междуфазному напряжению (100 В), например, типов НАМИ, НАМИТ и т.п.
2. МИ не предназначена для поверки ТН класса точности 0,2.
3. Масса рекомендованного в МИ эталонного ТН 35 кВ - 85 кг. Требуется наличие нескольких вспомогательных приборов.
4. Схемой поверки не предусмотрена защита персонала блокировкой и сигнализацией.
5. Как правило, на подстанции (ПС) нет свободных ячеек с подключенным напряжением для подачи высокого напряжения на поверочную схему.
6. Операции подача-снятие напряжения на действующей ПС сопряжены с большим объемом организационных мероприятий, а по МИ эти операции делаются более 3 раз на один ТН.
7. На ПС, выведенной из эксплуатации в ремонт или реконструкцию, высокое напряжение отсутствует.

Разработчики новой редакции ГОСТ 8.216 внесли в Примечание допущение из МИ 2845-2003 о том, что возможна периодическая поверка с использованием в качестве источника реального напряжения сети. Это же допускается и в п. 10.3.11 ГОСТ [2] с условием «разрешения головной организации по виду измерений» (в России - ВНИИМС). Однако, в этом случае не измеряются погрешности при первичном напряжении 80 и 120 % от номинального, а между тем, угловая погрешность ТН сильно зависит от величины первичного напряжения. Кроме того, возникают все проблемы и недостатки, указанные выше (см. п. 5 - 6).

Комплект установки «УПТВ-3-35» и методика, изложенная в Руководстве по эксплуатации, лишены указанных недостатков. Кроме того, прибор сравнения «Энергомонитор 3.3Т1» позволяет регистрировать во внутренней памяти информацию о ТН, условиях и результатах поверки (до 200 таблиц поверок ТН). Объем измерений при поверке достаточно большой. Так, для одного трёхфазного ТН требуется получить 36 измеренных значений погрешностей, которые нужно сравнить с допускаемыми погрешностями. Поэтому, в комплект прибора входит программное обеспечение для компьютера «Поверка трансформаторов» (рисунок 5), которое позволяет после считывания данных из прибора распечатывать протоколы поверки ТН и вести базу данных по поверкам.

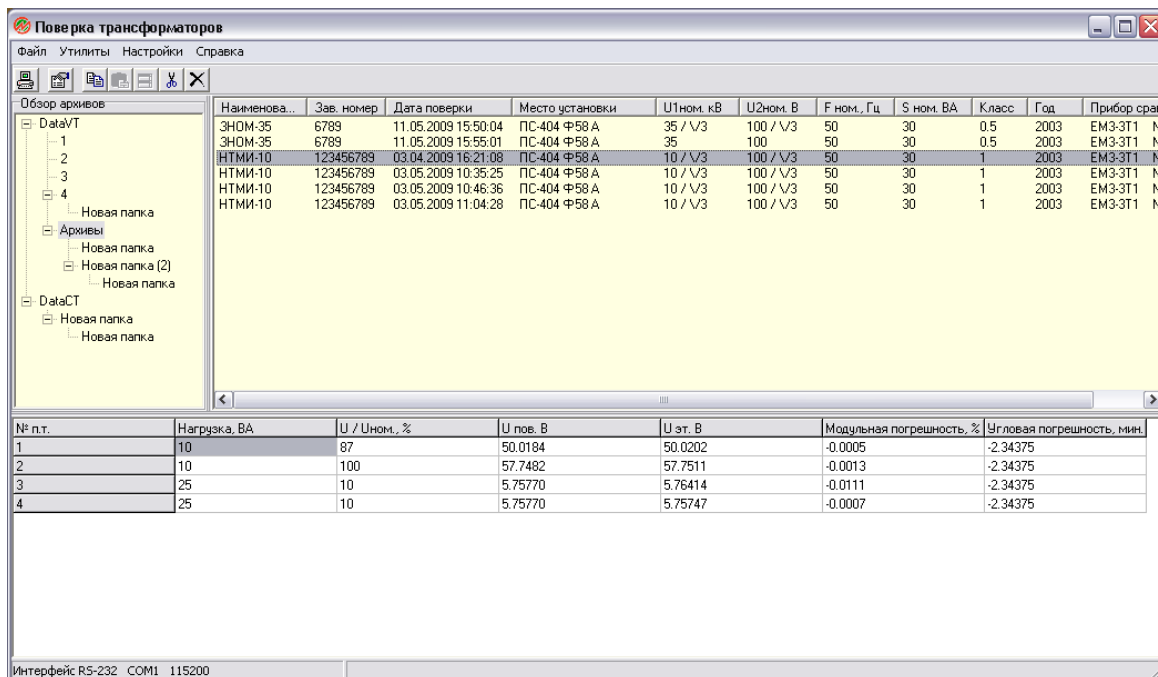


Рис.5. ПО «Проверка трансформаторов».

Таким образом, УПТВ позволяют выполнять весь комплекс работ (от определения параметров напряжения питающей сети до распечатки протокола), достаточный для проведения поверки ТН любого типа и класса напряжений до 35 кВ.

**Сергеев Сергей Ростиславович, заместитель директора по качеству**

ООО «Научно – производственное предприятие Марс-Энерго» 190031, Санкт-Петербург, В.О. 13-я линия, д. 6-8

Тел./факс: (812) 327-21-11 E-mail: [mail@mars-energo.ru](mailto:mail@mars-energo.ru) [www.mars-energo.ru](http://www.mars-energo.ru)

#### Библиография.

- 1 ГОСТ 1983-2001 Трансформаторы напряжения. Общие технические условия
- 2 ГОСТ 8.216-2011 ГСИ, Трансформаторы напряжения. Методика поверки.
- 3 МИ 3239-2009 ГСИ. Рекомендация. Измерительные трансформаторы напряжения  $6/\sqrt{3}$ ; 6;  $10/\sqrt{3}$ ; 10 кВ. Методика поверки на месте эксплуатации при помощи трехфазной высоковольтной поверочной установки «УПТВ-3-10»
- 4 МИ 2845-2003 ГСИ. Рекомендация. Измерительные трансформаторы напряжения  $6/\sqrt{3}$ ...35 кВ. Методика поверки на месте эксплуатации.