

А. С. Ильин, И. А. Кострикина, А. П. Воронов, Р. Ф. Плаксунов

УСТАНОВКА ДЛЯ ПОВЕРКИ КИЛОВОЛЬТМЕТРОВ УПК-30ПТ

A. S. Ilin, I. A. Kostrikina, A. P. Voronov, R. F. Plaksunov

INSTALLATION FOR VERIFICATION OF KILOVOLT METERS UPK-30PT

А н н о т а ц и я. Актуальность и цели. Актуальность разрабатываемой установки для поверки киловольтметров определяется постоянно растущими требованиями к модернизации и совершенствованию метрологического обеспечения новых средств измерений (СИ) высоких напряжений. Целью работы является ознакомление с результатами разработки, а также описание ее функционирования. **Материалы и методы.** Для решения данной задачи использовался метод сличения поверяемого СИ с образцовым СИ того же вида. **Результаты.** В ходе работы разработана установка для поверки киловольтметров УПК-30ПТ. Проведены испытания в целях утверждения типа средств измерений установки УПК-30ПТ. **Выводы.** Положительные результаты работы открывают перспективу полной замены устаревших установок УПК-100 или У400 на отечественную, современную, малогабаритную и автоматизированную трехканальную измерительную систему с рабочими напряжениями до 100 кВ.

A b s t r a c t. Background. The relevance of the developed installation for checking kilovoltmeters is determined by the constantly growing requirements for the modernization and improvement of metrological support for new high-voltage measuring instruments (SI). The purpose of the work is to get acquainted with the results of the development, as well as a description of its operation. **Materials and methods.** To solve this problem, we used the method of comparing the verified SI with the model SI of the same type. **Results.** In the course of the work, an installation for checking kilovoltmeters of the UPK-30PT was developed. Tests were carried out in order to approve the type of measuring instruments of the UPK-30PT installation. **Conclusions.** Positive results of the work open the prospect of complete replacement of outdated installations of the UPK-100 or U400 with a domestic, modern, small-sized and automated three-channel measuring system with operating voltages up to 100 kV.

К л ю ч е в ы е с л о в а: высокое напряжение, канал, делитель напряжения, измерение, интерфейс.

К e y w o r d s: high voltage, channel, voltage divider, measurement, interface.

Создание и широкое применение в последние годы новых средств измерений высоких (до 30 кВ) напряжений классов 1, 0,5 % вызвало настоятельную необходимость модернизации и совершенствования их метрологического обеспечения.

Результатом поиска путей решения поставленной проблемы было создание компактной установки для поверки киловольтметров УПК-30ПТ (масса менее 40 кг), работающей в ручном и автоматизированном режимах. Диапазон воспроизведений и измерений напряжения постоянного тока – от 1 до 30 кВ. Пределы допускаемой относительной основной погрешности измерений напряжения постоянного тока составляют $\pm 0,1\%$. Данная установка заменяет в вышеуказанном диапазоне напряжений установку УПК-100 (масса 600 кг) и разработанную

позднее У-400 (масса 400 кг). При этом установка рассматривается как трехканальная измерительная система, управляемая персональным компьютером (ПК), один из каналов которой воспроизводит заданное оператором напряжение, а два других преобразовывают и передают измерительную информацию с образцового и поверяемого киловольтметров на ПК. Результаты измерений сравниваются и сохраняются в памяти ПК или в виде протокола измерений на бумажном носителе.

Воспроизводимое первым каналом напряжение получается преобразованием напряжения питания в напряжение постоянного тока с регулируемой амплитудой, которое с помощью умножителя увеличивается до необходимого уровня. Второй канал представляет собой измерительный масштабный преобразователь (омический делитель высокого напряжения) и цифровой вольтметр с выходом в виде разъема интерфейса RS-232 для связи с ПК. Третий канал представляет собой поверяемый киловольтметр, соединяемый через интерфейс с ПК.

Конструктивно установка выполнена в настольном исполнении и состоит из источника высокого напряжения и измерителя напряжения.

Источник высокого напряжения состоит из двух блоков: управляемого источника высокого напряжения УИВН и регулируемого источника опорного напряжения РИОН-10.

В качестве управляемого источника высокого напряжения использован источник напряжения Spellman SMS30P60.

Регулируемый источник опорного напряжения двухканальный РИОН-10 предназначен для питания управляемого источника высокого напряжения стабилизированным постоянным напряжением и формирования управляющего напряжения на входе УИВН. На задней панели источника имеется разъем интерфейса RS-232 для связи с ПК.

Измеритель напряжения представляет собой образцовый цифровой киловольтметр, состоящий из двух блоков: делителя напряжения высоковольтного ДНВ-30ПТ и вольтметра СКВ-30ПТ.

ПК имеет специальное программное обеспечение, с помощью которого по команде оператора запускается процесс измерения, включающий: выработку команды на включение высокого напряжения; выработку команды на одновременное включение образцового и поверяемого киловольтметров; выработку команд на передачу результатов измерений на ПК и т.д.

В установке используется метод сличения поверяемого СИ с образцовым СИ того же вида.

Структурная схема установки приведена на рис. 1.

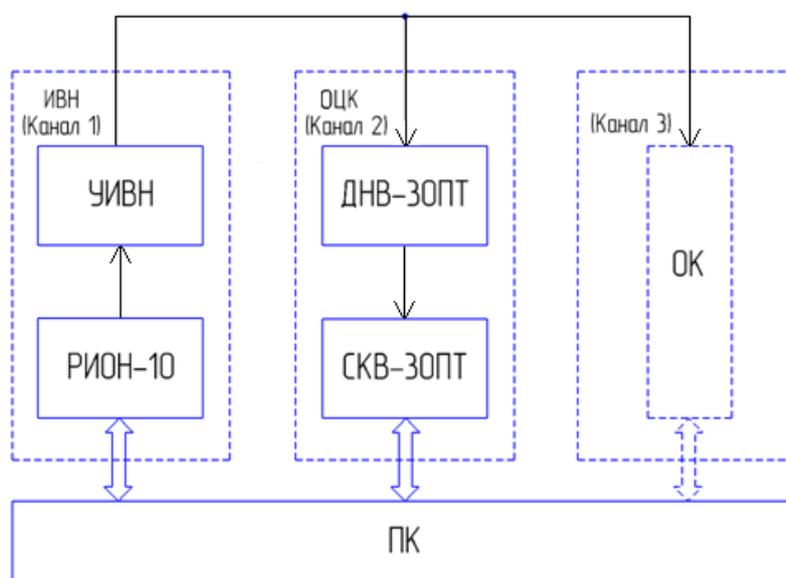


Рис. 1. Структурная схема установки:

ИВН (Канал 1) – источник высокого напряжения; УИВН – управляемый источник высокого напряжения SMS30P60 фирмы «Spellman»; РИОН-10 – регулируемый источник опорного напряжения;

ОЦК (Канал 2) – образцовый цифровой киловольтметр; ДНВ-30ПТ – делитель напряжения высоковольтный; СКВ-30ПТ – блок измерительный киловольтметра постоянного тока;

ОК (Канал 3) – объект контроля; ПК – персональный компьютер

Канал 1 установки отвечает за воспроизведение высокого напряжения. Программа управления с ПК устанавливает опорное напряжение с регулируемой амплитудой на выходе блока РИОН-10 и подает команду на включение выходного напряжения и напряжения питания блока УИВН через интерфейс RS-232. РИОН-10 имеет одностороннюю связь с блоком УИВН типа Spellman SMS30P60. УИВН усиливает опорное напряжение в 3000 раз. В результате на выходе канала 1 образуется высокое напряжение в диапазоне от 1 до 30 кВ.

Канал 2 установки является образцовым измерительным каналом. Высокое напряжение с выхода канала 1 поступает на вход высоковольтного делителя напряжений ДНВ-30ПТ, который преобразует входное высокое напряжение в напряжение 1-30 В. ДНВ-30ПТ является высоковольтной частью измерителя напряжения и имеет непосредственную связь с вольтметром СКВ-30ПТ. Преобразованное напряжение с выхода ДН поступает на вход вольтметра, где происходит измерение. Выбор быстродействия, процесс запуска измерения и выработка команды опроса результатов измерений блока СКВ-30ПТ контролируются программой управления на ПК с помощью интерфейса RS-232.

Канал 3 установки – канал объекта контроля. Контролируемый высоковольтный делитель напряжений и его цифровой вольтметр совместно представляют собой объект контроля, являющийся высоковольтным измерителем напряжения. Высокое напряжение с выхода канала 1 поступает на вход контролируемого высоковольтного делителя объекта контроля. Интерфейс RS-232 позволяет связать поверяемый измеритель с ПК. Программа управления осуществляет одновременный с каналом 2 запуск измерения и дальнейшую выработку команды опроса результатов измерений поверяемого вольтметра.

Важной особенностью установки УПК-30ПТ в автоматизированном режиме с использованием ПК является возможность подключения различных измерителей напряжений, режимы поверки которых установлены в НТД на поверяемые СИ (например, вольтметр В7-40: время до подачи напряжения – 1 мин; время до измерения – 2 мин).

Временная диаграмма работы системы изображена на рис. 2.

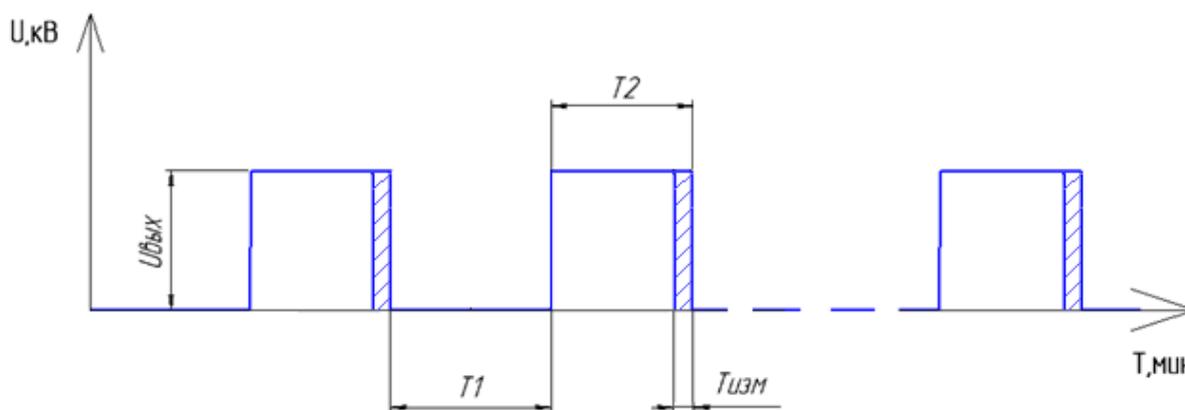


Рис. 2. Временная диаграмма работы установки УПК-30ПТ:
 $U_{\text{вых}}$ – выходное высокое напряжение; T_1 – время до подачи напряжения;
 $T_{\text{изм}}$ – время измерения; T_2 – время выдержки под напряжением

При работе в непрерывном режиме погрешность системы возрастает благодаря нестабильности компонентов. Однако рассматриваемый режим работы позволяет повысить точность измерения, используя менее стабильный источник высокого напряжения путем сокращения временных интервалов воздействия напряжения, а также устанавливать соотношения интервалов времени T_1 и T_2 , в которых погрешность не превышает заданного на установку значения.

Время выдержки под напряжением T_2 намного больше времени измерений $T_{\text{изм}}$, которое включает время непосредственного измерения и время нахождения киловольтметра под напряжением после завершения процесса измерения. Время выдержки до измерения позволяет установиться переходным процессам в образцовом и контролируемом первичных высоковольтных преобразователях. Возможность программной регулировки количества измерений

в секунду дает возможность подстраивать систему в целом к работе с объектом контроля, имеющим свой вольтметр. Благодаря чему имеется возможность точного сравнения результатов измерений. Применение ПК позволяет производить одновременный запуск измерений и последовательный опрос блоков измерительных, тем самым устраняет так называемую погрешность оператора. Автоматическая фиксация измерений с дальнейшим сравнением повышает точность системы. А последующее формирование протокола результатов измерений с учетом его сохранения в память ПК или распечатку на бумажный носитель делает установку более мобильной, а также позволяет облегчить работу оператора.

Внешний вид установки приведен на рис. 3.

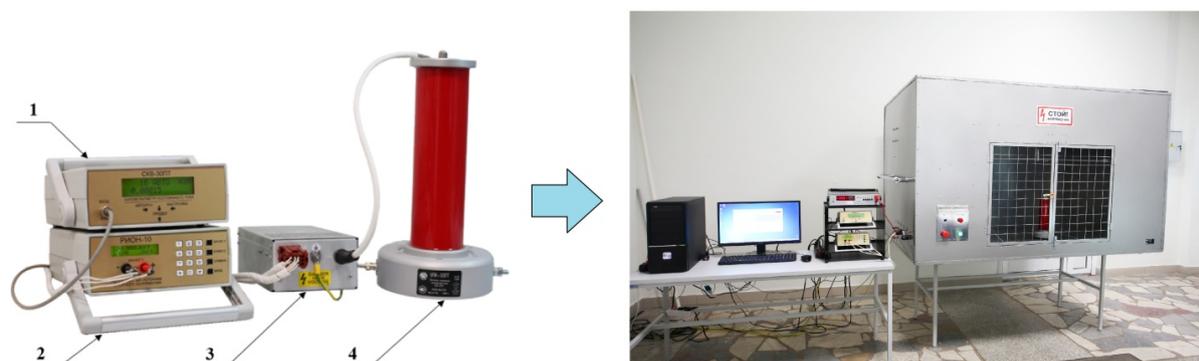


Рис. 3. Внешний вид установки УПК-30ПТ:

1 – блок измерительный киловольтметра постоянного тока (СКВ-30ПТ); 2 – регулируемый источник опорного напряжения (РИОН-10); 3 – управляемый источник высокого напряжения SMS30P60 фирмы «Spellman» (УИВН); 4 – делитель напряжения высоковольтный (ДНВ-30ПТ) и кабели, предназначенные для соединения между собой блоков установки, подключения установки к объекту измерений, ПК и контуру заземления

В табл. 1 приведены метрологические характеристики установки.

Таблица 1

Метрологические характеристики

Наименование характеристики	Значение
Диапазон воспроизведений и измерений напряжения постоянного тока, кВ	от 1 до 30
Пределы допускаемой относительной основной погрешности измерений напряжения постоянного тока, %	$\pm 0,1$
Нормальные условия применения:	
– температура окружающей среды, °С	от +15 до +25
– относительная влажность, %	от 30 до 80
– атмосферное давление, кПа	от 84 до 106

Испытательным центром ФГУП «ВНИИМС» были проведены испытания в целях утверждения типа средств измерений установки поверки киловольтметров УПК-30ПТ. При проведении испытаний вместо объекта контроля использовался государственный вторичный эталон единицы электрического напряжения постоянного тока (ГЭТ) и вольтметр В7-78/1.

Схема для определения основной относительной погрешности измерения установки приведена на рис. 4.

Расчет относительной погрешности измерений напряжения δU осуществляется по формуле

$$\delta U = 100 \cdot (U_{\text{пов}} - U_{\text{обр}}) / U_{\text{обр}}, \% \quad (1)$$

где $U_{\text{пов}}$ – значение напряжения испытуемого СИ; $U_{\text{обр}}$ – значение напряжения образцового СИ.

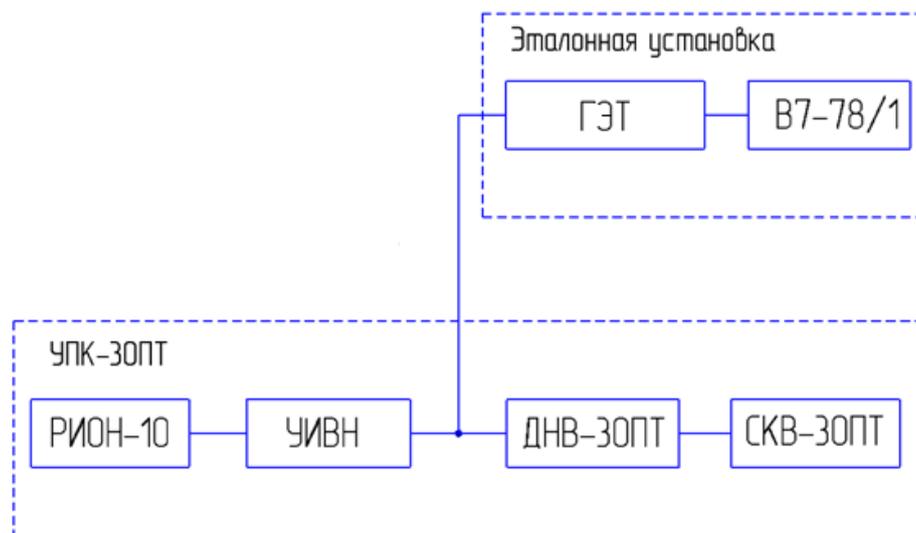


Рис. 4. Схема определения основной относительной погрешности измерения установки: УПК-30ПТ – поверяемая установка; РИОН-10 – регулируемый источник опорного напряжения; ЧИВН – управляемый источник высокого напряжения; ДНВ-30ПТ – делитель напряжения высоковольтный; СКВ-30ПТ – блок измерительный киловольтметра постоянного тока; ГЭТ – образцовое средство поверки; В7-78/1 – образцовый вольтметр

Результаты испытаний приведены в табл. 3.

Таблица 3

Относительная погрешность измерения

Номинальное значение измеряемого параметра, U_i , кВ	Показания образцового СИ (ГЭТ), $U_{обр}$, кВ	Показания испытуемого СИ (УПК-30ПТ), $U_{пов}$, кВ	Относительная погрешность измерения напряжений постоянного тока δU , %
1	0,99806	0,9972	0,086
5	4,9932	4,9923	0,018
10	9,9931	9,9916	0,015
15	14,9818	14,9782	0,024
20	19,9860	19,9799	0,03
25	24,9631	24,9554	0,031
30	29,9639	29,9578	0,02

Результаты измерений, приведенные в табл. 3, соответствуют диапазону воспроизведенных и измерений напряжения постоянного тока, а относительная погрешность измерения напряжений постоянного тока не превышает пределов, установленных в табл. 1.

Положительные результаты работы открывают перспективу полной замены устаревших установок УПК-100 или У400 на отечественную, современную, малогабаритную и автоматизированную трехканальную измерительную систему с рабочими напряжениями до 100 кВ.

Библиографический список

1. Степанчук, К. Ф. Техника высоких напряжений / К. Ф. Степанчук. – Минск : Высш. шк., 1982.
2. Шваб, А. Измерения на высоком напряжении / А. Шваб. – Москва : Энергоатомиздат, 1983.
3. Установки для поверки на постоянном токе электростатических киловольтметров УПК-100. Госреестр № 5481-76. Справочник измерительного оборудования. – URL: <http://www.kip-guide.ru/info/5481-76>
4. Установка типа У400. Описание. – URL: <http://www.measurement.ru/gk/electro/03/06/005.htm>
5. Instruction manual. SPELLMAN EPM/SMS SERIES. High Voltage Power Supply. – URL: <https://www.spellmanhv.com>
6. Гук, М. Аппаратные интерфейсы ПК : энциклопедия / М. Гук. – Санкт-Петербург : Питер, 2002.
7. Демидова, Н. В. Метрология, стандартизация и сертификация : конспект лекций / Н. В. Демидова. – Москва : Эксмо, 2007.

8. Сигов, А. С. Метрология, стандартизация и технические измерения / А. С. Сигов. – Москва : Высш. шк., 2008.
9. ГОСТ 22261-94 Средства измерений электрических и магнитных величин. – Москва, 1994.
10. ГОСТ IEC 61010-1-2014 Безопасность электрических контрольно-измерительных приборов и лабораторного оборудования. – Москва, 2014.

References

1. Stepanchuk K. F. *Tekhnika vysokikh napryazhenii* [High-voltage technology]. Minsk: Vyssh. shk., 1982. [In Russian].
2. Shvab A. *Izmereniya na vysokom napryazhenii* [High voltage measurements]. Moscow: Energoatomizdat, 1983. [In Russian]
3. *Ustanovki dlya poverki na postoyannom toke elektrosticheskikh kilovol'tmetrov UPK-100. Gosreestr № 5481-76. Spravochnik izmeritel'nogo oborudovaniya* [Installations for direct current verification of electrostatic kilovoltmeters UPK-100. The state register № 5481-76. Measuring equipment reference]. Available at: <http://www.kip-guide.ru/info/5481-76> [In Russian]
4. *Ustanovka tipa U400. Opisaniye* [Installation type U 400. Description]. Available at: <http://www.measurement.ru/gk/electro/03/06/005.htm> [In Russian]
5. *Instruction manual. SPELLMAN EPM/SMS SERIES. High Voltage Power Supply*. Available at: <https://www.spellmanhv.com>
6. Guk M. *Apparatnye interfeysy PK : Entsiklopediya* [Hardware interfaces of the PC : Encyclopedia]. Saint-Petersburg: Piter, 2002. [In Russian]
7. Demidova N. V. *Metrologiya, standartizatsiya i sertifikatsiya: konspekt lektsiy* [Metrology, standardization and certification: the abstract of lectures]. Moscow: Eksmo, 2007. [In Russian]
8. Sigov A. S. *Metrologiya, standartizatsiya i tekhnicheskie izmereniya* [Metrology, standardization and technical measurements]. Moscow: Vyssh. shk., 2008. [In Russian]
9. GOST 22261-94 *Sredstva izmereniy elektricheskikh i magnitnykh velichin* [GOST 22261-94 measuring instruments for electric and magnetic quantities]. Moscow, 1994. [In Russian]
10. GOST IEC 61010-1-2014 *Bezopasnost' elektricheskikh kontrol'no-izmeritel'nykh priborov i laboratornogo oborudovaniya* [GOST IEC 61010-1-2014 Safety of electrical control and measuring devices and laboratory equipment]. Moscow, 2014. [In Russian]

Ильин Алексей Сергеевич

аспирант,
Пензенский государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40);
инженер-электроник,
Научно-исследовательский институт
электронно-механических приборов
(Россия, г. Пенза, ул. Каракозова, 44)
E-mail: aalexeiil@mail.ru

Ilin Alexey Sergeevich

postgraduate student,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia);
electronics engineer,
Scientific Research Institute
of Electro-Mechanical Devices
(44 Karakozova street, Penza, Russia)

Кострикина Инна Анатольевна

главный метролог,
Научно-исследовательский институт
электронно-механических приборов
(Россия, г. Пенза, ул. Каракозова, 44)
E-mail: Tbmс2@mail.ru

Kostrikina Inna Anatolyevna

chief metrologist,
Scientific Research Institute
of Electro-Mechanical Devices
(44 Karakozova street, Penza, Russia)

Воронов Александр Павлович

ведущий инженер,
Научно-исследовательский институт
электронно-механических приборов
(Россия, г. Пенза, ул. Каракозова, 44)
E-mail: swe.voron@yandex.ru

Voronov Aleksandr Pavlovich

lead engineer,
Scientific Research Institute
of Electro-Mechanical Devices
(44 Karakozova street, Penza, Russia)

Плаксунов Ринат Фатихович

начальник НПК-4,

Научно-исследовательский институт

электронно-механических приборов

(Россия, г. Пенза, ул. Каракозова, 44)

E-mail: NPK-4@niiemp.ru

Plaksunov Rinat Fatihovich

head of NPC-4,

Scientific Research Institute

of Electro-Mechanical Devices

(44 Karakozova street, Penza, Russia)

Образец цитирования:

Ильин, А. С. Установка для поверки киловольтметров УПК-30ПТ / А. С. Ильин, И. А. Кострикина, А. П. Воронов, Р. Ф. Плаксунов // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2020. – № 4 (34). – С. 44–50. – DOI 10.21685/2307-5538-2020-4-5.