

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

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ НА ПОГРЕШНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПОВЕРКИ КИЛОВОЛЬТМЕТРОВ УПК-30ПТ

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

### INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF OPERATING MODES ON THE MEASUREMENT ACCURACY OF THE INSTALLATION FOR CALIBRATION OF KILOVOLT METERS UPK-30 PT

**Аннотация.** *Актуальность и цели.* Актуальность исследования режимов работы установки для поверки киловольтметров УПК-30ПТ определяется необходимостью достижения высокой точности измерений при использовании нестабильных компонентов. Предметом исследования является влияние параметров входного сигнала на погрешность измерения. Целью работы является определение диапазона временных интервалов работы установки, не влияющего на заданную погрешность измерения. *Материалы и методы.* Для решения данной задачи рассматривался непрерывный и прерывистый способ воспроизведения сигнала. *Результаты.* В ходе работы установлено влияние различных режимов работы на точность измерений в установке для поверки киловольтметров УПК-30ПТ. В результате исследования выбран прерывистый режим, обеспечивающий меньшую погрешность измерения. Определен диапазон временных интервалов, в котором должно работать поверяемое устройство, по заданной погрешности. *Выводы.* Выбор режима работы установки для поверки киловольтметров УПК-30ПТ оказывает существенное влияние на достижение высокой точности измерений при использовании менее стабильных компонентов.

**Ключевые слова:** поверка, высокое напряжение, измерительная система, погрешность измерения, измерительные каналы, режим работы.

**Abstract.** *Background.* The relevance of the study of the operating modes of the unit for checking kilovoltmeters UPK-30PT is determined by the need to achieve high measurement accuracy when using less stable components. The subject of research is the influence of input signal parameters on the measurement error. The purpose of this work is to determine the range of time intervals of the installation that does not affect the specified measurement error. *Materials and methods.* To solve this problem, we considered a continuous and intermittent method of signal reproduction. *Results.* In the course of the work, the influence of various operating modes on the accuracy of measurements in the unit for checking kilovoltmeters UPK-30PT was established. As a result of the study, an intermittent mode was selected, which provides a lower measurement error. The range of time intervals in which the device to be tested should operate is determined based on the specified error. *Conclusions.* The choice of the operating mode of the unit for checking kilovoltmeters UPK-30PT has a significant impact on achieving high measurement accuracy when using less stable components.

**Keywords:** verification, high voltage, measuring system, measurement accuracy, measuring channel, operating mode.

Задача разработки и изготовления установки для поверки киловольтметров УПК-30ПТ, предназначенных для воспроизведений и измерений напряжений постоянного тока до 30 кВ с пределом допускаемой погрешности  $\pm 0,1\%$ , привела к необходимости исследования влияния параметров входного сигнала установки на погрешность измерения [1–3].

Установка представляет трехканальную систему измерения под управлением персонального компьютера (ПК):

- канал 1 (источник высокого напряжения) воспроизводит высокое напряжение, задаваемое ПК;
- канал 2 (эталонный киловольтметр) преобразует воспроизводимое напряжение до уровня, измеряемого эталонным вольтметром, и передает результаты измерений на ПК;
- канал 3 (поверяемый киловольтметр) преобразует воспроизводимое напряжение до уровня, измеряемого поверяемым вольтметром, и передает результаты измерений на ПК;

– ПК формирует временной процесс работы системы и обрабатывает полученные по каналам 1 и 2 данные.

Измерения в каналах 2 и 3 производятся одновременно. Результаты измерений ПК сравнивают друг с другом. Разница между результатами измерений определяет погрешность поверяемого устройства [4, 5].

Структурная схема измерительной системы изображена на рис. 1.

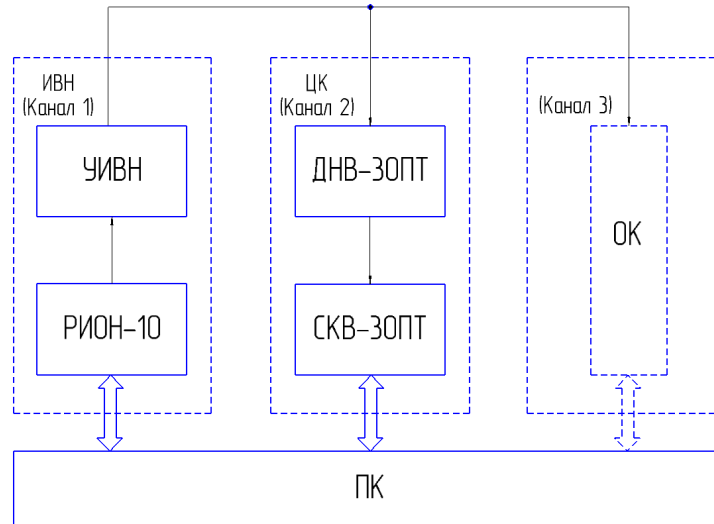


Рис. 1. Структурная схема измерительной системы: ИВН – источник высокого напряжения; УИВН – управляемый источник высокого напряжения; РИОН-10 – регулируемый источник опорного напряжения; ЦК – образцовый цифровой киловольтметр; ДНВ-ЗОПТ – делитель напряжения высоковольтный; СКВ-ЗОПТ – блок измерительный киловольтметра постоянного тока; ОК – объект контроля (поверяемый киловольтметр); ПК – персональный компьютер

Измерительные каналы 2 и 3 подвергались воздействию воспроизводимого каналом 1 напряжения постоянного (непрерывный режим) и импульсного (прерывистый режим) токов. Форма воспроизводимых напряжений, длительность воздействия напряжений на каналы 2 и 3 выбраны из условий обеспечения безопасности работы оператора в верхней точке рабочего диапазона напряжений ( $U_1$ ) в течение заданного времени непрерывной работы ( $T_{вр}$ ), соответствия методики поверки киловольтметра В7-40 в части установки значений напряжения в поверяемых точках и оптимальности периода повторения измерений ( $T$ ) приведены на рис. 2.

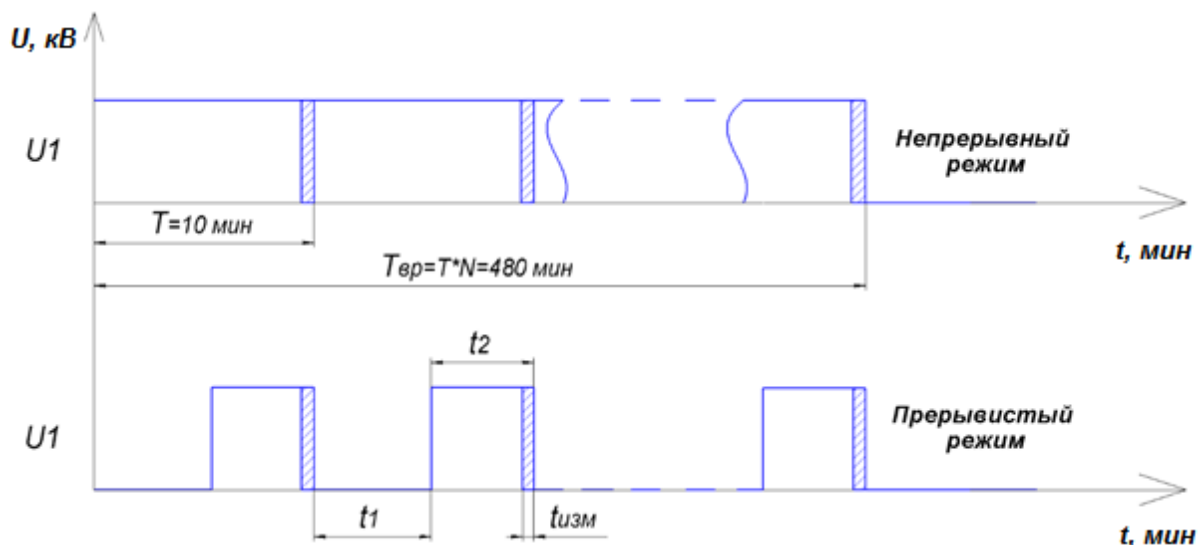


Рис. 2. Временной процесс работы системы:  
 $t_1$  – время до подачи напряжения;  $t_2$  – время выдержки под напряжением;  $t_{изм}$  – время измерения

Период повторения измерений в непрерывном режиме соответствует периоду повторения измерений в прерывистом режиме и равен

$$T = t_1 + t_2, \quad (1)$$

где  $t_1$  – до подачи напряжения на входы киловольтметров;  $t_2$  – время выдержки киловольтметров под напряжением.

Следует отметить, что время выдержки киловольтметров под напряжением  $t_2$  намного больше времени измерений  $t_{\text{изм}}$ , которое включает время непосредственного измерения (1 с) и время нахождения киловольтметра под напряжением после завершения процесса измерения (0,5 с). Поэтому время выдержки киловольтметров под напряжением и время до измерения напряжения с момента начала выдержки принимаются равными. Описание работы управляющей ПК программы приведено в статье «Алгоритм работы установки для поверки киловольтметров УПК-30ПТ». Программа позволяет устанавливать различные соотношения между временами  $T_{\text{вр}}$ ,  $T$ ,  $t_1$ ,  $t_2$  и задавать значения амплитуд напряжений. Результаты работы программы для  $T_{\text{вр}} = 8 \text{ ч} = 480 \text{ мин}$ ,  $T = 10 \text{ мин}$ ,  $t_1 = 1 \text{ мин}$ ,  $t_2 = 1 \text{ мин}$  и  $U1 = 30 \text{ кВ}$  представлены на рис. 3.

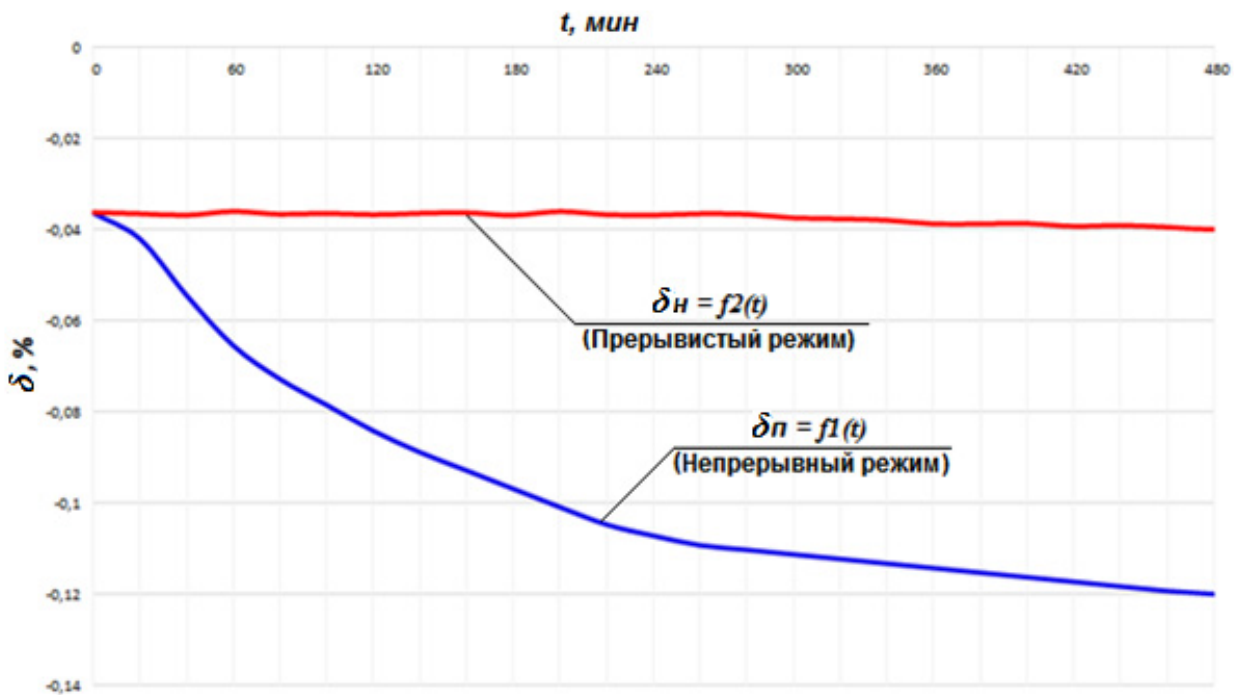


Рис. 3. Относительная погрешность измерения системы при различных режимах работы

На рис. 3 изображены зависимости относительных погрешностей измерения напряжения постоянного тока  $\delta$  от времени проведения измерений  $t$ . Анализ функций  $\delta = f(t)$  показывает, что при работе системы в непрерывном режиме (график функции  $\delta_n = f_1(t)$ ) по истечению 8 ч изменение  $\delta_n$  относительно первоначального значения составляет 0,1 %, а при работе в прерывистом режиме (график функции  $\delta_n = f_2(t)$ ) изменение  $\delta_n$  не превышает 0,01 %. Отличие форм графиков вызвано зависимостью компонентов установки от амплитуды и длительности прикладываемого к ним напряжения. Поэтому достижение высокой точности измерений при использовании непрерывного режима достигается повышением стабильности компонентов установки, что приводит к повышению стоимости установки [6, 7].

Использование прерывистого режима позволяет повысить точность измерения с помощью управляющей программы ПК путем сокращения временных интервалов в процессе измерений и автоматизировать процесс поверки, а также устанавливать соотношения интервалов времени  $t_1$  и  $t_2$ , в которых значение  $\delta_n$  не превышает заданного на установку значения.

Используя в качестве объекта контроля вольтметр В7-40 совместно с входящим в комплектацию делителем, определим область значений временных интервалов для относительной погрешно-

сти измерения напряжений постоянного тока системы  $\delta < 0,1 \%$ . Исходными данными для оценки границ области выбраны временные интервалы  $t_1 = 1$  мин,  $t_2 = 1/12; 0,5; 1; 2; 3; 4; 5$  мин.

Согласно методике поверки для вольтметра В7-40 установлено: время до подачи напряжения  $t_1 - 1$  мин; время до измерения  $t_2 - 2$  мин.

Длительность временного интервала до подачи напряжения более 1 мин незначительно влияет на относительную погрешность. Данная пауза между воздействиями напряжения позволяет привести в исходное состояние компоненты измерительной системы.

На рис. 4 представлена погрешность системы в виде трехмерного графика погрешности от приложенного напряжения в зависимости от выбранного временного интервала работы  $\delta = f(U, t_1, t_2)$ .

Анализ графика позволяет установить, что погрешность не превышает допустимое значение  $0,1 \%$  в диапазоне (1/12 мин – 5 мин) воздействия высокого напряжения. Минимальная погрешность системы наблюдается при времени воздействия напряжения – 1 мин.

Скачок погрешности измерения в точке значения напряжения 10 кВ обусловлен переключением диапазона измерения блока измерительного СКВ-30ПТ. Однако данный фактор не влияет на превышение погрешности относительно допустимого значения.

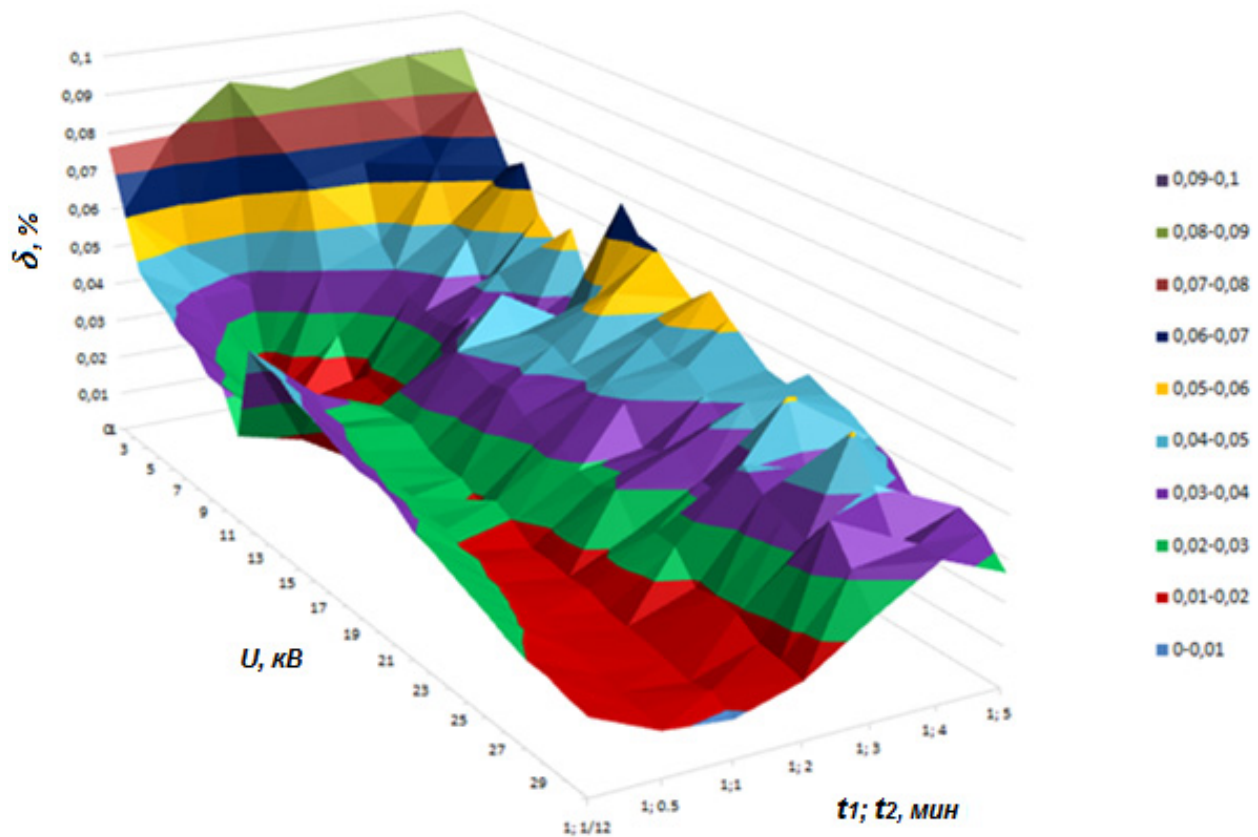


Рис. 4. Распределение относительной погрешности измерения в диапазоне временных интервалов работы системы от воздействия напряжения

Результаты выполненных исследований показывают, что:

- на имеющейся компонентной и аппаратной базе прерывистый режим позволяет обеспечить большую точность измерения, чем непрерывный;
- наличие в управляющей программе параметров, устанавливаемых оператором во время поверки вручную, позволяет автоматизировать процесс поверки;
- по заданной погрешности  $\delta$  устанавливается диапазон временных интервалов, в котором должно работать устройство. Например, для вольтметра В7-40 имеет время до подачи напряжения  $t_1 - 1$  мин и время до измерения  $t_2 - 2$  мин,  $\delta < 0,02 \%$ .

### Библиографический список

1. *Чеймберс, Д.* Выбор высоковольтного источника питания. Основные технические характеристики / Д. Чеймберс, К. Скапеллати // Компоненты и технологии. – 2005. – № 6. – С. 148–151.
2. *Орнатский, П. П.* Теоретические основы информационно-измерительной техники / П. П. Орнатский. – 2-е изд., перераб. и доп. – Киев : Вища школа, 1983.
3. *Раннев, Г. Г.* Измерительные информационные системы / Г. Г. Раннев. – Москва : Академия, 2010.
4. Алгоритм работы установки для поверки киловольтметров УПК-30ПТ / А. С. Ильин, Н. К. Юрков, В. Я. Баннов, Р. Ф. Плаксунов, А. П. Воронов // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. – 2020. – Т. 2. – С. 303–305.
5. Установка для поверки киловольтметров УПК-30ПТ. Описание типа СИ. Номер в ГРСИ РФ: 77593-20. – URL: <https://fgis.gost.ru/fundmetrology/registry/4/items/1140753>
6. Вольтметр универсальный цифровой В7-40. Методика поверки. Часть 2 Тг 2.710.016 ТО.
7. Instruction manual. SPELLMAN EPM/SMS SERIES. High Voltage Power Supply. – URL: <https://www.spellmanhv.com>

### References

1. Cheymbers D., Skapellati K. *Komponenty i tekhnologii* [Components and technologies]. 2005, no. 6, pp. 148–151. [In Russian]
2. Ornatskiy P. P. *Teoreticheskie osnovy informatsionno-izmeritel'noy tekhniki* [Theoretical foundations of information and measurement technology]. 2nd ed., rev. and suppl. Kiev: Vishcha shkola, 1983. [In Russian]
3. Rannev G. G. *Izmeritel'nye informatsionnye sistemy* [Measurement information systems]. Moscow: Akademiya, 2010. [In Russian]
4. Il'in A. S., Yurkov N. K., Bannov V. Ya., Plaksunov R. F., Voronov A. P. *Trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma Nadezhnost' i kachestvo* [Proceedings of the International Symposium Reliability and Quality]. 2020, vol. 2, pp. 303–305. [In Russian]
5. *Ustanovka dlya poverki kilovol'tmetrov UPK-30PT. Opisanie tipa SI. Nomer v GRSI RF: 77593-20* [Installation for checking kilovoltmeters UPK-30 PT. Description of the SI type. Number in the GRSI of the Russian Federation: 77593-20]. Available at: <https://fgis.gost.ru/fundmetrology/registry/4/items/1140753> [In Russian]
6. *Vol'tmetr universal'nyy tsifrovoy V7-40. Metodika poverki. Chast' 2 Tg 2.710.016 TO* [Universal digital voltmeter V7-40. The method of verification. Part 2 of Tg2. 710. 016 TO]. [In Russian]
7. *Instruction manual. SPELLMAN EPM/SMS SERIES. High Voltage Power Supply.* Available at: <https://www.spellmanhv.com>

#### Ильин Алексей Сергеевич

инженер-электроник,  
Научно-исследовательский институт  
электронно-механических приборов  
(Россия, г. Пенза, ул. Каракозова, 44)  
E-mail: aalexeiil@mail.ru

#### Плаксунов Ринат Фатихович

начальник НПК-4,  
Научно-исследовательский институт  
электронно-механических приборов  
(Россия, г. Пенза, ул. Каракозова, 44)  
E-mail: NPK-4@niiemp.ru

#### Воронов Александр Павлович

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

#### Ilin Alexey Sergeevich

electronics engineer,  
Research Institute of Electronic  
and Mechanical Devices  
(44 Karakozova street, Penza, Russia)

#### Plaksunov Rinat Fatihovich

head of NPC-4,  
Research Institute of Electronic  
and Mechanical Devices  
(44 Karakozova street, Penza, Russia)

#### Voronov Aleksandr Pavlovich

lead engineer,  
Research Institute of Electronic  
and Mechanical Devices  
(44 Karakozova street, Penza, Russia)

**Кострикина Инна Анатольевна**

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

**Kostrikina Inna Anatolyevna**

candidate of technical sciences, chief metrologist,  
Research Institute of Electronic  
and Mechanical Devices  
(44 Karakozova street, Penza, Russia)

**Образец цитирования:**

Исследование влияния режимов работы на погрешность измерения установки для поверки киловольтметров УПК-30ПТ / А. С. Ильин, Р. Ф. Плаксунов, А. П. Воронов, И. А. Кострикина // Надежность и качество сложных систем. – 2020. – № 4 (32). – С. 109–114. – DOI 10.21685/2307-4205-2020-4-12.