

УДК 621.317  
DOI

**Ермек Б.Қ.,**  
магистрант,  
ermekbakbergen1@bk.ru<sup>1</sup>

**Серикбаев А.А.,**  
магистрант  
serikbayev.alisher.a@gmail.com<sup>1</sup>

**Джасинбеков О.А.,**  
главный специалист  
o.dzhasinbekov@ksm.kz<sup>2</sup>

*Казахский национальный исследовательский  
технический университет им. К.И. Сатпаева  
050000, Алматы, ул.Куаныша Сатпаева, 22<sup>1</sup>*

*ФАА РГП «КазСтандарт»  
050000 Алматы, пр. Аль-Фараби, 40<sup>2</sup>*

## **2 ПРОВЕДЕНИЕ ИСПЫТАНИЙ И АНАЛИЗ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТРАНСФОРМАТОРА**

**Аннотация.** В работе представлены результаты проведения испытаний измерительного трансформатора напряжения GSE 20. Испытания выполнены в соответствии с требованиями национального стандарта Республики Казахстан, устанавливающего порядок проведения испытаний трансформаторов напряжения для целей утверждения типа средств измерений. В процессе испытаний были исследованы основные метрологические характеристики трансформатора, включая диапазон измерений, точностные параметры и соответствие установленным требованиям нормативной документации. Проведён анализ полученных результатов измерений, позволяющий оценить соответствие трансформатора напряжения GSE 20 установленным метрологическим требованиям. Результаты испытаний подтверждают возможность применения данного трансформатора в качестве средства измерений при передаче измерительной информации в системах учёта и контроля электрической энергии.

**Ключевые слова:** трансформатор напряжения, испытания, метрологические характеристики, средства измерений, утверждение типа.

## **Введение**

В Республике Казахстан порядок проведения испытаний измерительных трансформаторов напряжения для целей утверждения типа регламентируется требованиями национальных стандартов и нормативных документов государственной системы обеспечения единства измерений. В частности, проведение испытаний осуществляется в соответствии с требованиями стандарта СТ РК 2.275–2013 «Трансформаторы напряжения измерительные. Типовая программа испытаний для целей утверждения типа».

Одним из широко применяемых измерительных трансформаторов напряжения является трансформатор напряжения типа GSE 20, используемый в системах учета электрической энергии и в измерительных цепях электроэнергетических установок. Для обеспечения достоверности результатов измерений необходимо проведение комплексных испытаний данного трансформатора с целью анализа его метрологических характеристик и подтверждения соответствия установленным требованиям.

Целью настоящей работы является проведение испытаний трансформатора напряжения GSE 20 и анализ его основных метрологических характеристик в соответствии с требованиями действующих нормативных документов. В ходе исследования были проведены испытания трансформатора напряжения, выполнена оценка его метрологических параметров и проанализировано соответствие полученных результатов установленным требованиям нормативной документации.

## **Материалы и методы**

В процессе были проведены испытания и анализ метрологических характеристик измерительного трансформатора напряжения типа GSE 20. Данный трансформатор относится к средствам измерений, предназначенным для передачи сигнала измерительной информации измерительным приборам, устройствам релейной защиты, автоматизации и системам управления в электрических установках переменного тока промышленной частоты. Трансформаторы напряжения данного типа относятся к классу масштабных измерительных преобразователей электрических величин. Их принцип действия основан на явлении электромагнитной индукции, при котором переменное напряжение первичной обмотки преобразуется во вторичной обмотке в пропорциональное напряжение меньшей величины при неизменной частоте и без значительных потерь мощности.

Данный трансформатор является однофазным электромагнитным трансформатором с литой изоляцией. Первичная и вторичная обмотки залиты специальным эпоксидным компаундом, который выполняет функцию электрической изоляции и одновременно формирует корпус

трансформатора. Конструкция трансформатора предусматривает наличие основной вторичной обмотки, предназначенной для измерений, а также дополнительной вторичной обмотки, используемой для целей защиты. Высоковольтный вывод первичной обмотки выполнен в виде контактного вывода с резьбовым соединением, а выводы вторичных обмоток размещены в контактной коробке и защищены съемной изоляционной крышкой.

Основные технические и метрологические характеристики трансформатора напряжения GSE 20 включают наибольшее рабочее напряжение 26 кВ, номинальное напряжение первичной обмотки в диапазоне от  $15/\sqrt{3}$  до  $24/\sqrt{3}$  кВ, номинальное напряжение основной вторичной обмотки  $100/\sqrt{3}$  В, номинальное напряжение дополнительной вторичной обмотки  $100/3$  В. Класс точности основной вторичной обмотки составляет 0,2; 0,5; 1, а дополнительной вторичной обмотки – 3Р и 6Р. Номинальная мощность основной вторичной обмотки составляет от 2 до 30 В·А в классе точности 0,2, от 5 до 90 В·А в классе 0,5 и от 5 до 120 В·А в классе 1. Номинальная частота работы трансформатора составляет 50 Гц. Габаритные размеры трансформатора составляют 372×230×300 мм, масса — 38 кг. Рабочие условия эксплуатации трансформатора предусматривают диапазон температуры окружающего воздуха от –45 до +55 °С при относительной влажности воздуха до 90 %.

Испытания трансформатора напряжения проводились в соответствии с требованиями нормативных документов государственной системы обеспечения единства измерений. В частности, организация и проведение испытаний осуществлялись в соответствии с требованиями национального стандарта СТ РК 2.21-2019 «Порядок проведения испытаний и утверждения типа средств измерений». Согласно данному стандарту испытания средств измерений проводятся с целью подтверждения соответствия средств измерений установленным метрологическим и техническим требованиям, а также для принятия решения о возможности утверждения типа средства измерений.

Методика проведения испытаний включала анализ технической документации трансформатора, проверку комплектности и маркировки средства измерений, подготовку испытательного оборудования, подключение трансформатора к измерительной системе, проведение экспериментальных измерений и последующую обработку полученных результатов. Перед началом испытаний проводилась проверка соответствия условий окружающей среды установленным требованиям, включая контроль температуры, влажности и атмосферного давления. Соблюдение данных условий необходимо для обеспечения стабильности измерений и минимизации влияния внешних факторов на результаты эксперимента.

Для проведения испытаний использовалась специализированная испытательная система для проверки измерительных трансформаторов

напряжения VOTANO 100. Данная система предназначена для измерения коэффициента трансформации, погрешности коэффициента трансформации и угловой погрешности трансформаторов напряжения. Испытательная система имеет действующий сертификат калибровки, что подтверждает ее метрологическую прослеживаемость к эталонным средствам измерений. Калибровка измерительной системы выполнялась с использованием эталонных трансформаторов напряжения, как показано на рисунке 1.

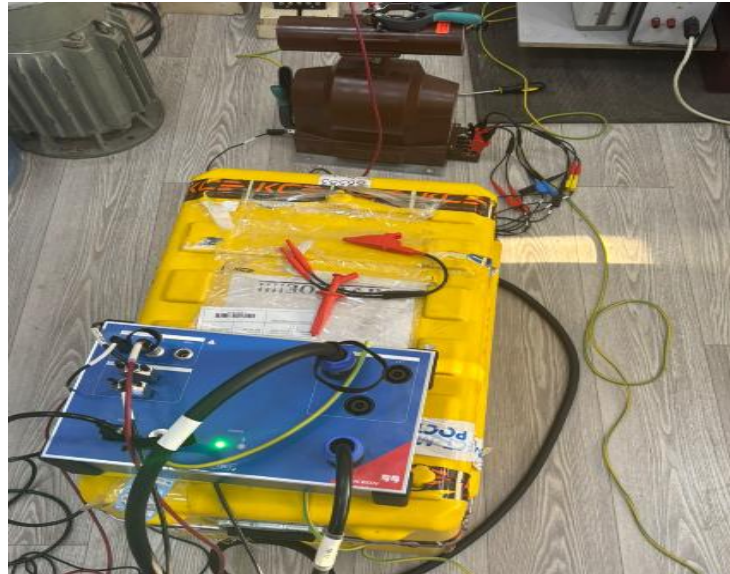


Рисунок 1-Системы испытательные трансформаторов напряжения

Условия калибровки включали температуру окружающего воздуха 23,4 °С, относительную влажность воздуха 48,6 % и атмосферное давление 100,6 кПа.

Процедура испытаний включала последовательное подключение трансформатора напряжения к испытательной установке и проведение серии измерений его метрологических характеристик. В процессе испытаний измерялись значения вторичного напряжения, коэффициент трансформации и отклонения измеренных значений от номинальных характеристик. Для повышения точности и достоверности результатов измерения выполнялись многократно, после чего вычислялись средние значения измеряемых параметров.

### **Результаты и обсуждение**

В ходе проведенных испытаний были определены основные метрологические характеристики измерительного трансформатора напряжения GSE 20. Испытания проводились при различных значениях приложенного напряжения и при различных значениях нагрузки вторичной обмотки в соответствии с требованиями нормативной документации. В частности, измерения выполнялись при напряжениях 80

%, 100 % и 120 % от номинального значения, а также при нагрузках 25 % и 100 % от номинальной мощности вторичной цепи.

Результаты измерений погрешности по напряжению и угловой погрешности трансформатора представлены в таблице 1.

Таблица 1 -Результаты определения основной и угловой погрешности трансформатора

Вторичная обмотка	% от U ном.	Нагрузка (В·А) при 25% и 100%	Основная погрешность при нормальных условиях эксплуатации		Предел допускаемой погрешности		
			Клемма а-п		Класс точности	Напряжения, %	Угловой, '
			По напряжению, %	По углу, мин'			
(класс 0,2)	120	10 В·А (100%)	-0,135	1,63	0,2	± 0,2	10 '
	100		0,172	0,89		± 0,2	10 '
	80		-0,185	0,70		± 0,2	10 '
	120	2,5 В·А (25%)	0,158	0,91		± 0,2	10 '
	100		-0,165	0,16		± 0,2	10 '
	80		0,173	-0,03		± 0,2	10 '
Клемма da-dn							
ЗР	100	60 В·А (100%)	2,5	115,6	ЗР	± 3,0	± 120
	5		2,7	-108,8		± 3,0	± 120
	2		5,5	211,3		± 6,0	± 240
ЗР	100	15 В·А (25%)	2,1	-103,5	ЗР	± 3,0	± 120
	5		2,9	113,2		± 3,0	± 120
	2		5,7	178,5		± 6,0	± 240

В процессе испытаний определялись значения основной погрешности при нормальных условиях эксплуатации для различных режимов работы трансформатора.

Как видно из данных, приведенных в таблице 1, при нагрузке 100 % от номинальной (10 В·А) значения погрешности по напряжению составили -0,135 %, 0,172 % и -0,185 % при напряжениях соответственно 120 %, 100 % и 80 % от номинального значения. Угловая погрешность при этом составила 1,63', 0,89' и 0,7' соответственно. Полученные

результаты показывают, что фактические значения погрешностей находятся значительно ниже установленных пределов допускаемой погрешности для класса точности 0,2, который предусматривает допустимую погрешность по напряжению  $\pm 0,2\%$  и угловую погрешность не более  $10'$ .

Аналогичные исследования были проведены при нагрузке 25 % от номинальной мощности вторичной цепи (2,5 В·А). В данном режиме погрешность по напряжению составила 0,158 %,  $-0,165\%$  и 0,173 % при напряжениях 120 %, 100 % и 80 % от номинального значения соответственно. Угловая погрешность составила 0,91', 0,16' и  $-0,03'$ . Как и в предыдущем режиме, полученные значения также находятся в пределах допустимых значений для трансформаторов напряжения класса точности 0,2.

Кроме того, были исследованы характеристики защитной вторичной обмотки трансформатора, относящейся к классу точности 3Р. При номинальной нагрузке 60 В·А погрешность по напряжению составила 2,5 % при напряжении 100 % от номинального значения, а угловая погрешность достигала  $115,6'$ . При пониженных значениях напряжения наблюдалось увеличение погрешности, что объясняется особенностями работы трансформаторов защитного класса. Однако полученные значения также не превышают установленных нормативных ограничений для класса точности 3Р, для которого допустимая погрешность по напряжению составляет  $\pm 3\%$ , а угловая погрешность не должна превышать  $\pm 120'$ .

Аналогичные измерения были проведены и при нагрузке 25 % от номинальной мощности защитной обмотки (15 В·А). Полученные результаты показали, что значения погрешности по напряжению изменяются в диапазоне от 2,1 % до 5,7 %, а угловая погрешность — от  $-103,5'$  до  $178,5'$  в зависимости от уровня приложенного напряжения. При этом все значения остаются в пределах допустимых значений, установленных для данного класса точности.

## **ЛИТЕРАТУРА**

1 ISO/IEC 17025-2019 "General requirements for the competence of testing and calibration laboratories". – International Organization for Standardization/International Electrotechnical Commission, 2017. — 30 p.

2 JCGM 200:2008. International Vocabulary of Metrology — Basic and general concepts and associated terms, 3rd Edition. — Joint Committee for Guides in Metrology (JCGM), 2008. — 90 p.

3 JCGM 200: 2012 – "International vocabulary of metrology — Basic and general concepts and associated terms (VIM)" – 3rd ed. – Joint Committee for Guides in Metrology, 2012. – 91 p.

4 IEC 61869-3:2011 Instrument transformers – Part 3: Additional requirements for inductive voltage transformers. – International Electrotechnical Commission, Geneva, 2011. – 110 p.

## REFERENCES

1 ISO/IEC 17025-2019 "General requirements for the competence of testing and calibration laboratories". – International Organization for Standardization/International Electrotechnical Commission, 2017. — 30 p.

2 JCGM 200:2008. International Vocabulary of Metrology — Basic and general concepts and associated terms, 3rd Edition. — Joint Committee for Guides in Metrology (JCGM), 2008. — 90 p.

3 JCGM 200: 2012 – "International vocabulary of metrology — Basic and general concepts and associated terms (VIM)" – 3rd ed. – Joint Committee for Guides in Metrology, 2012. – 91 p.

4 IEC 61869-3:2011 Instrument transformers – Part 3: Additional requirements for inductive voltage transformers. – International Electrotechnical Commission, Geneva, 2011. – 110 p.

**Ермек Б.Қ.,**  
магистрант,  
ermekbakbergen1@bk.ru<sup>1</sup>

**Серикбаев А.А.,**  
магистрант  
serikbayev.alisher.a@gmail.com<sup>1</sup>

**Джасинбеков О.А.,**  
бас маман  
o.dzhasinbekov@ksm.kz<sup>2</sup>

*Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық  
зерттеу университеті  
050000, Алматы қ., Қ. Сәтбаев көше, 22<sup>1</sup>*

*«ҚазСтандарт» РМК ФАА  
050000 Алматы қ., Әл-Фараби даң., 40<sup>2</sup>*

## КЕРНЕУ ТРАНСФОРМАТОРЫНЫҢ МЕТРОЛОГИЯЛЫҚ СИПАТТАМАЛАРЫН СЫНАҚТАН ӨТКІЗУ ЖӘНЕ ТАЛДАУ

*Аңдатпа. Жұмыста GSE 20 кернеу трансформаторына жүргізілген сынақтардың нәтижелері қарастырылған. Сынақтар Қазақстан Республикасының СТ РК 2.275–2013 «Өлшеуіш кернеу трансформаторлары. Түпін бекіту мақсаттарына арналған*

сынақтардың типтік бағдарламасы» стандартының талаптарына сәйкес жүргізілді. Зерттеу барысында техникалық құжаттамаға сараптама жасалып, трансформатордың негізгі метрологиялық сипаттамалары бойынша эксперименттік сынақтар орындалды. Алынған нәтижелер GSE 20 кернеу трансформаторының нормативтік құжаттар талаптарына сәйкестігін бағалауға мүмкіндік берді. Сынақ нәтижелері бойынша аталған трансформаторды өлшеу құралдары ретінде электр энергиясын есепке алу және өлшеу ақпаратын беру жүйелерінде қолдануға болатындығы расталды.

**Түйінді сөздер:** кернеу трансформаторы, сынақтар, метрологиялық сипаттамалар, өлшеу құралдары, типін бекіту, өлшеу техникасы.

**Yermek B.K.,**  
master's student,  
ermekbakbergen1@bk.ru<sup>1</sup>

**Serikbaev A. A.,**  
master's student,  
serikbayev.alisher.a@gmail.com<sup>1</sup>

**Jasinbekov O. A.,**  
chief specialist,  
o.dzhasinbekov@ksm.kz<sup>2</sup>

*Kazakh National Research Technical University  
named after K.I. Satpayev  
050000 Almaty, St.K. Satpayev, 22<sup>1</sup>*

*FAA RSE "KazStandard"  
050000 Almaty, ave. Al-Farabi, 40<sup>2</sup>*

## **TESTING AND ANALYSIS OF THE METROLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE GSE 20 VOLTAGE TRANSFORMER**

**Abstract.** *The paper presents the results of testing the GSE 20 voltage transformer. The tests were carried out in accordance with the requirements of the national standard of the Republic of Kazakhstan ST RK 2.275–2013 “Measuring voltage transformers. Typical test program for type approval purposes”. During the study, an examination of the technical documentation was performed and experimental tests of the main metrological characteristics of the voltage transformer were conducted. The obtained results made it possible to evaluate the compliance of the GSE 20 voltage transformer with the requirements of regulatory documents. The test results confirmed the*

*possibility of using this transformer as a measuring instrument in measurement data transmission systems and electrical energy metering systems.*

**Keywords:** *voltage transformer, testing, metrological characteristics, measuring instruments, type approval, measurement technology.*