

УДК 53.043, 62.76.03

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СОХРАННОСТИ ПРОБ  
ТРАНСФОРМАТОРНОГО МАСЛА В ПРОБООТБОРНОМ УСТРОЙСТВЕ  
С ГИБКОЙ ОБОЛОЧКОЙ****А.Л. Бычков<sup>1</sup>, С.М. Коробейников<sup>1</sup>, Л.А. Дарьян<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Новосибирский государственный технический университет<sup>2</sup>Техническая Инспекция ЕЭС

Известно, что основным диагностическим методом силового высоковольтного маслонаполненного электрооборудования является физико-химический анализ диэлектрической жидкости. Достоверность физико-химического анализа состояния высоковольтного маслонаполненного электрооборудования не в последнюю очередь зависит от пробоотборного устройства. В настоящее время перспективным направлением является разработка пробоотборных устройств с гибкой оболочкой, обладающих, по сравнению со стеклянными устройствами, лучшими эксплуатационными характеристиками. Ранее было предложено использовать в качестве пробоотборников многослойные металл-полимерные пакеты. В статье представлены результаты экспериментальных исследований сохранности пробы в пробоотборниках с гибкой стенкой, которые обеспечили срок хранения до 6 недель без потери представительности.

*Ключевые слова:* диагностика, высоковольтное маслонаполненное электрооборудование, пробоотборное устройство, гибкая оболочка, сохранность, газы, утечка.

DOI: 10.17212/1727-2769-2016-1-15-20

**Введение**

Известно, что как в России, так и за рубежом сложилась тенденция старения парка электрооборудования [1]. Замена всех устаревших единиц электрооборудования зачастую невозможна ввиду экономических и технических сложностей, к тому же не всегда рациональна. Поэтому своевременное выявление развивающихся дефектов является необходимым условием безотказной работы силового электрооборудования. Физико-химическая диагностика, основанная на анализе проб материалов (как правило, изоляционных) электротехнического оборудования, является одним из самых информативных методов оценки состояния этого оборудования. Устройства для отбора, хранения и транспортировки проб играют важную роль в обеспечении достоверности физико-химического анализа, что, в свою очередь, имеет решающее значение для диагностического заключения о состоянии электрооборудования. Вопросам отбора проб из высоковольтного маслонаполненного электрооборудования, как первого этапа проведения любого физико-химического анализа, в последние годы посвящен ряд работ [2–4]. Все эти работы рассматривают отбор, транспортирование и хранение проб изоляционной жидкости – трансформаторного масла (ТМ). В то же время на электроэнергетических объектах все большее применение получает высоковольтное оборудование, в котором изоляционной средой является либо отдельный газ, либо смесь газов. В литературе приводятся данные [7] о том, что отбор проб газов для диагностических мероприятий осуществляется в специальные «мешки», представляющие собой емкости из полимерных материалов с заданной газоплотностью. На наш взгляд, применение емкостей с гибкой оболочкой (газоплотных пакетов) является

перспективным направлением диагностического обеспечения высоковольтного электрооборудования, так как в этом случае достигаются меньшие эксплуатационные расходы за счет малой массы, а также удобство при отборе пробы. Ранее [6] рассматривалась возможность применения одноразовых пробоотборных устройств с гибкой оболочкой не только для транспортировки проб газов, но и для проб жидких диэлектриков (в частности трансформаторного масла). При применении пробоотборных емкостей с гибкой оболочкой основная задача заключается в обеспечении сохранности пробы по ее количеству и составу, т. е. обеспечение предельности пробы. Истечение компонентов пробы из герметичных пробоотборных емкостей в общем случае происходит в результате диффузионных процессов. При этом проницаемость материала оболочек пробоотборных емкостей является важнейшим параметром, определяющим срок сохраняемости пробы.

В работе [6] при помощи математического моделирования проведена оценка изменения концентрации газов в пробе трансформаторного масла с учетом различных факторов, ухудшающих пробу. Такими факторами являются: дефекты в алюминиевом (барьерном) слое, диффузия газов через сварной полимерный шов, диффузия газов через узел отбора пробы. Оценка времени хранения без потери представительности пробы с учетом утечки газов через дефект в металлическом слое диаметром 100 мкм дали времена, значительно превышающие разумные сроки хранения пробы ( $2 \cdot 10^5$  лет). Стоит отметить, что утечкой газов через дефект в барьерном слое можно пренебречь, поскольку поток будет незначительным, даже если в стенке будут десятки, сотни отверстий диаметром до 100 мкм. Оценка времени хранения пробы с учетом диффузии водорода (газа с наименьшей молекулой) через сварной шов дала значение около одного года, учетом диффузии через узел отбора пробы с силиконовым уплотнением можно пренебречь.

Применение пробоотборных устройств в эксплуатации будет сопровождаться воздействиями, снижающими сохранность пробы (перепады температуры, вибрация и др.). К тому же стоит отметить, что при математическом моделировании принимается ряд допущений и неточностей, к примеру, неизвестно количество дефектов в алюминиевом слое. Поэтому актуальной является экспериментальная проверка сохранности проб.

Целью настоящей работы является проведение экспериментальных исследований сохранности проб трансформаторного масла в пробоотборных устройствах с гибкой оболочкой.

## 1. Методика проведения эксперимента

Пробоотборное устройство с гибкой оболочкой (рис. 1) представляет собой емкость, состоящую из трехслойного материала (полиэтилен+алюминиевая фольга+полипропилен) с широкими сварными швами. Толщина полимерных слоев составила ~50 мкм, а барьерного слоя ~10 мкм. Ширина сварного шва 5...7 мм. В верхней части пробоотборного устройства приварена горловина с наконечником луер-лок. Наконечник луер-лок соединяется с медицинской иглой, специализированными кранами «Элхром», что дает возможность отбора проб ТМ, практически не изменяя стандартной методики [7].

Проведение испытаний заключалось в следующем. Трансформаторное масло ГК подвергалось дегазации с последующим насыщением тремя диагностическими газами (водород, метан, этан). После подготовки масла пробоотборные устройства заполнялись и отбирались первые (исходные) пробы для газового анализа. Спустя интервалы времени (1, 2, 4, 6 недель) отбирались последующие пробы масла.

Рис. 1 – Одноразовое пробоотборное устройство  
Fig. 1 – The disposable sampler



## 2. Результаты

Результаты газового анализа за 6 недель представлены на рис. 2.

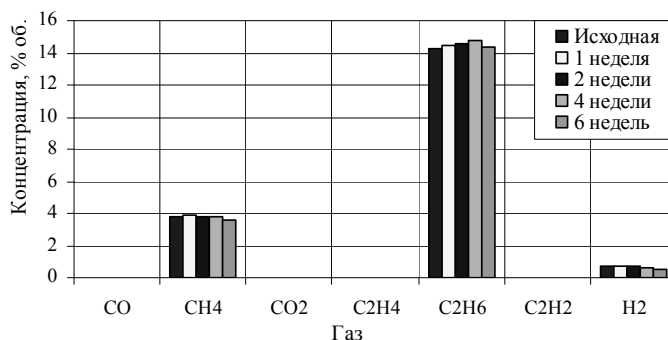


Рис. 2 – Изменение концентрации газов в ПУ с гибкой оболочкой за 1, 2, 4, 6 недель

Fig. 2 – The gas concentration in the sampler after 1, 2, 4, 6 weeks

Анализируя изменения концентраций газов, можно сказать, что с течением времени они изменяются незначительно. Поскольку ошибка определения концентраций растворенных газов значительна только вблизи предела чувствительности хроматографического метода, а в настоящей работе концентрация каждого из трех газов превышает на несколько порядков предел обнаружения хроматографа (см. таблицу) [8], то ошибку в определении концентраций можно исключить.

Таблица / Table

**Предел обнаружения определяемых в масле газов**  
**The detection limit of the gas concentration in transformer oil**

№ п/п	Газы	Предел обнаружения	
		ppm	% об.
1	Водород	5	0,00050
2	Метан, этилен, этан	1	0,00010
3	Ацетилен	0,5	0,00005
4	Оксид и диоксид углерода	20	0,00200
5	Кислород, азот	500	0,05000

### Заключение

Таким образом, экспериментально показана сохранность проб трансформаторного масла в пробоотборных устройствах с гибкой оболочкой в течение 6 недель. Это дает основание утверждать, что одноразовые пробоотборные устройства с гибкой оболочкой на металл-полимерной основе пригодны для использования в диагностике электрооборудования с бумажно-масляной изоляцией.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Дарьян Л.А. Научные основы физико-химической диагностики высоковольтного маслонаполненного электрооборудования с изоляцией конденсаторного типа: дис. ... д-ра техн. наук: 05.14.12. – Новосибирск, 2009. – 437 с.
2. Darian L.A., Sung J.S. Influence of the gas tight samplers of Insulating oil on the accuracy of GC analysis // High Voltage Engineering: Proceedings of the 13<sup>th</sup> International Symposium on High Voltage Engineering, Delft, Netherlands, 25–29 August 2003 / ed. by J. Smit. – Rotterdam: Millpress, 2003. – ISBN 90-77017-79-8.
3. Дарьян Л.А., Коробейников С.М. Анализ качества устройства отбора проб, применяемых для хроматографического анализа газов, растворенных в изоляционных жидкостях // Электричество. – 2006. – № 12. – С. 62–64.
4. Дарьян Л.А., Бушмина Н.В. Оптимизация отбора проб из маслонаполненного электрооборудования // Электроэнергия. Передача и распределение. – 2012. – № 2. – С. 82–86.
5. Трансформатор с элегазовой изоляцией [Электронный ресурс] // TOSMA. – URL: [http://www.tosma.ru/docs/git\\_catalog\\_rus.pdf](http://www.tosma.ru/docs/git_catalog_rus.pdf) (дата обращения: 06.04.2016).
6. Дарьян Л.А., Коробейников С.М., Бычков А.Л. Моделирование утечки газов из пробоотборных емкостей с гибкой оболочкой // ЭЛЕКТРО. Электротехника, электроэнергетика, электротехническая промышленность. – 2013. – № 1. – С. 28–31.
7. ГОСТ Р МЭК 60475–2013. Жидкости изоляционные. Отбор проб. – Введ. 2014–01–01. – М.: Стандартинформ, 2014.
8. СТО 56947007-29.180.010.094–2011. Методические указания по определению содержания газов, растворенных в трансформаторном масле / ОАО «Федеральная сетевая компания единой энергетической системы». – Введ. 02.06.2011. – М.: ФСК ЕЭС, 2011.

### EXPERIMENTAL STUDY OF TRANSFORMER OIL SAMPLE SAFETY IN A SAMPLER WITH A FLEXIBLE SHELL

**Bychkov A.L.<sup>1</sup>, Korobeynikov S.M.<sup>1</sup>, Darian L.A.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia*

<sup>2</sup>*CJSC “Technical Inspection of UES”, Moscow, Russia*

Accuracy of a physical and chemical analysis of oil-filled high voltage equipment depends on the sampler reliability. Earlier it was proposed to use boxes with multilayer metal-plastic flexible shells as samplers. In this paper the results of experimental studies of the transformed oil sample safety using such a sampler are presented. It was demonstrated that the concentration of dissolved gases did not change on storage during six weeks.

*Keywords:* diagnostics high voltage oil-filled equipment; sampler; flexible shell, safety; gases; leakage.

DOI: 10.17212/1727-2769-2016-1-15-20

### REFERENCES

1. Darian L.A. *Nauchnye osnovy fiziko-khimicheskoi diagnostiki vysoko-vol'nogo maslonapolnennogo elektrooborudovaniya s izolyatsiei kondensatornogo tipa*. Diss. dokt. tekhn. nauk [The basement of physical technical diagnostics of high voltage oil filled equipment with the capacitive insulation. Dr. eng. sci. diss.]. Novosibirsk, 2009. 437 p.

2. Darian L.A., Sung J.S. Influence of the gas tight samplers of Insulating oil on the accuracy of GC analysis. *High Voltage Engineering: Proceedings of the 13<sup>th</sup> International Symposium on High Voltage Engineering*, Delft, Netherlands, 25–29 August 2003. ISBN 90-77017-79-8
3. Darian L.A., Korobeinikov S.M. Analiz kachestva ustroystva otbora prob, primenyaemykh dlya khromatograficheskogo analiza gazov, rastvorenykh v izolya-tcionnykh zhidkostyakh [Analysis of quality of samplers used for DGA]. *Elektrichestvo – Electrical Technology Russia*, 2006, no. 12, pp. 62–64. (In Russian)
4. Darian L.A., Bushmina N.V. Optimizatsiya otbora prob iz maslonapolnennogo elektrooborudovaniya [Optimization of sampling from oil-filled equipment]. *Elektroenergiya. Peredacha i raspredelenie*, 2012, no. 2, pp. 114–118.
5. *Transformator s elegazovoi izolyatsiei* [Gas insulated transformer]. Available at: [http://www.tosma.ru/docs/git\\_catalog\\_rus.pdf](http://www.tosma.ru/docs/git_catalog_rus.pdf) (accessed 06.04.2016)
6. Darian L.A., Korobeynikov S.M., Bychkov A.L. Modelirovanie utechki gazov iz probotobornyykh emkosti s gibkoi obolochkoi [Modeling of gas leakage from sampler with flexible shell]. *ELEKTRO. Elektrotehnika, elektroenergetika, elektrotehnicheskaya promyshlennost'*, 2013, no. 1, pp. 28–31.
7. *GOST R MEC 60475–2013. Zhidkosti izolyatsionnye. Otkor prob* [State Standard R IEC 60475–2013. Insulating liquids. Sampling]. Moscow, Standartinform Publ., 2014. (In Russian)
8. *STO 56947007-29.180.010.094–2011. Metodicheskie ukazaniya po opredeleniyu sodержaniya gazov, rastvorenykh v transformatornom masle* [Standard Organization 56947007-29.180.010.094–2011. Recommendation for DGA in transformer oil]. Moscow, FSK UES Publ., 2011.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ



**Бычков Александр Леонидович** – родился в 1988 году, канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры «Безопасность труда» Новосибирского государственного технического университета. Область научных интересов: техника высоких напряжений. Опубликовано 10 научных работ. (Адрес: 630073, Россия, Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20. E-mail: [aleksandr\\_nstu@ngs.ru](mailto:aleksandr_nstu@ngs.ru)).

**Bychkov Aleksandr Leonidovich** (b. 1988) – PhD, Senior Lecturer at the Industrial Safety Department in the Novosibirsk State Technical University. His research interests are currently focused on high voltage engineering. He is author of 10 scientific papers. (Address: 20, Karl Marx Av., Novosibirsk, 630073, Russia. E-mail: [aleksandr\\_nstu@ngs.ru](mailto:aleksandr_nstu@ngs.ru)).



**Коробейников Сергей Миронович** – родился в 1950 году, д-р физ.-мат. наук, заведующий кафедрой «Безопасность труда» Новосибирского государственного технического университета. Область научных интересов: электрофизика и техника высоких напряжений. Опубликовано более 90 научных работ. (Адрес: 630073, Россия, Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20. E-mail: [korobeynikov@corp.nstu.ru](mailto:korobeynikov@corp.nstu.ru)).

**Korobeynikov Sergey Mironovich** (b. 1950) – Doctor of Sciences (Phys.&Math), Professor, Head of Industrial Safety department in the Novosibirsk State Technical University. His research interests are currently focused on electro-physics and high voltage engineering. He is author of more than 90 scientific papers. (Address: 20, Karl Marx Av., Novosibirsk, 630073, Russia. E-mail: [korobeynikov@corp.nstu.ru](mailto:korobeynikov@corp.nstu.ru)).



**Дарьян Леонид Альбертович** – родился в 1959 году, д-р техн. наук, заместитель директора ЗАО «Техническая инспекция ЕЭС». Область научных интересов: техника высоких напряжений. Опубликовано более 50 научных работ. (Адрес: Россия, 109240, Москва, Славянская площадь, д. 2/5, стр. 5. E-mail: ldarian@rambler.ru).

**Darian Leonid Albertovich** (b. 1959) – Doctor of Sciences (Eng.), Professor, Deputy Director of CJSC «Technical Inspection UES». His research interests are currently focused on high voltage engineering. He is author of more than 50 scientific papers. (Address: block. 5, 2/5, Slavyanskaya Sq, Moscow, 109240, Russia. E-mail: ldarian@rambler.ru).

*Статья поступила 05 октября 2015 г.  
Received October 05, 2015*

---

To Reference:

Bychkov A.L., Korobeynikov S.M., Darian L.A. Eksperimental'noe issledovanie sokhrannosti prob transformatornogo masla v probotbornom ustroistve s gibkoi obolochkoi [Experimental study of transformer oil sample safety in a sampler with a flexible shell]. *Doklady Akademii nauk vysshei shkoly Rossiiskoi Federatsii – Proceedings of the Russian higher school Academy of sciences*, 2016, no. 1 (30), pp. 15–20. doi: 10.17212/1727-2769-2016-1-15-20