

**МОСКАЛЕНКО**

**Володимир Борисович** –  
головний інженер комплексного  
устаткування Інституту  
прикладної фізики НАН України

**ЧИЖОВ**

**Ігор Григорович** –  
завідувач сектору науково-  
технічних та конструкторських  
розробок Інституту прикладної  
фізики НАН України

**ВАРАКІН**

**Олег Вікторович** –  
завідувач технологічного сектору  
Інституту прикладної фізики  
НАН України

**ПАВЛЕНКО**

**Юрій Анатолійович** –  
провідний інженер Інституту  
прикладної фізики  
НАН України

**САМОЙЛОВ**

**Павло Євгенович** –  
провідний інженер Інституту  
прикладної фізики  
НАН України

**ДРОЗДЕНКО**

**Олександр Олексійович** –  
кандидат фізико-математичних  
наук, головний інженер  
Інституту прикладної фізики  
НАН України

УДК 621.6.07

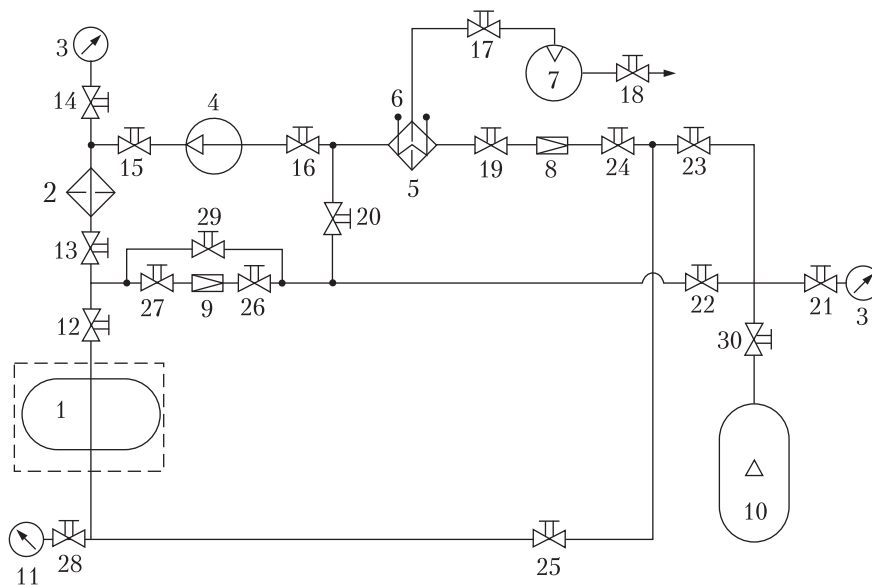
## ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ВИСОКОВОЛЬТНИХ ПРИСТРОЇВ З ЕЛЕГАЗОВОЮ ( $\text{SF}_6$ ) ІЗОЛЯЦІЄЮ

*В Інституті прикладної фізики НАН України розроблено і виготовлено пристрій для осушення і відновлення елегазу, який використовують як ізолювальний газ у прискорювальному мас-спектрометрі. Пристрій забезпечує необхідні параметри елегазу – точку роси, не вищу за  $-55\text{ }^\circ\text{C}$ , і чистоту, не нижчу від 99,8%, що уможливорює безперебійну роботу мас-спектрометра впродовж більш як двох років.*

**Ключові слова:** прискорювальний мас-спектрометр, гексафторид сірки, осушення і відновлення елегазу.

В Інституті прикладної фізики (ІПФ) НАН України розроблено і введено в експлуатацію прискорювальний мас-спектрометр 4110Bo-AMS-1MV Tandetron [1], у прискорювачі якого як ізолювальний газ застосовано гексафторид сірки  $\text{SF}_6$ .

Гексафторид сірки вперше було отримано Анрі Муссаном у 1900 р. У 30-х роках минулого століття відомий учений Б.М. Гохберг, досліджуючи електричні властивості різних газів, звернув увагу на унікальні особливості  $\text{SF}_6$ , завдяки яким ця речовина може бути хорошим електричним ізолятором, зокрема у високовольтних пристроях – прискорювачах [2]. Згодом за гексафторидом сірки закріпилася назва «елегаз», як скорочення від «електричний газ». За нормальних умов  $\text{SF}_6$  – безбарвний, інертний, негорючий і нетоксичний газ з великою густиною ( $6,56\text{ кг/м}^3$ ), високим коефіцієнтом теплового розширення та електричною міцністю, майже втричі більшою за повітря. Елегаз не старіє, тобто не змінює своїх властивостей з часом; в умовах електричного розряду розпадається, але швидко рекомбінує, відновлюючи початкову діелектричну міцність. Основні фізико-хімічні характеристики елегазу наведено у роботі [3].



Принципова схема пристрою для осушення і відновлення елегазу, що використовується в процесі роботи прискорювального мас-спектрометра 4110Vo-AMS-1MV Tandetron: 1 – бак прискорювача; 2 – фільтр механічних частинок; 3 – манометри; 4 – безмасляний елегазовий компресор; 5 – фільтр осушення і відновлення; 6 – нагрівач; 7 – вакуумний насос; 8, 9 – редуктори; 10 – балон для зберігання елегазу; 11 – мановакуумметр; 12–30 – кульові крани

З технічного, економічного і екологічного погляду альтернативи використанню елегазу в приладах високої напруги на сьогодні немає, але під час роботи з ним слід уникати виділення газу в атмосферу; відкачувати і очищувати використаний елегаз для повторного використання; оцінювати параметри газу і вивчати методи його регенерації.

У прискорювальному мас-спектрометрі напруга може досягати 1,5 МВ, тому для запобігання пробією ізолювальний газ має бути сухим і чистим. Його чистота повинна бути не меншою ніж 99,8%, а точка роси – не вищою за  $-55^{\circ}\text{C}$ . У всіх поширених системах прискорювачів осушення і очищення ізолювального газу здійснюють періодично. При цьому в кожному циклі частково осушений газ доводиться зріджувати і закачувати в проміжну ємність.

Фахівці ІПФ НАН України запропонували нову економічну схему, в якій ізолювальний газ можна безперервно осушувати в замкнутій системі за низького тиску і при досягненні

необхідних параметрів знову повертати в бак прискорювача приладу.

Принципову схему розробленого приладу ІПФ5.880.010 для осушення і відновлення елегазу наведено на рисунку. Бак прискорювача 1 наповнюється з ємності (балона) 10, в якому елегаз зберігають під високим тиском у рідкому стані. Газ при цьому проходить по лінії: 10–30–23–8–19–5–20–26–27–12–1 крізь фільтр осушення і відновлення 5.

У разі зниження тиску в балоні 10 (нижче за 7 бар) елегаз проходить по лінії: 10–22–20–16–4–15–2–13–12–1 через безмасляний елегазовий компресор 4 і фільтр механічних частинок 2.

У режимі осушення і відновлення елегаз відбирають з бака прискорювача 1, прокачують через фільтри 2, 4 і повертають назад у бак по лінії: 1–25–24–8–19–5–16–4–15–2–13–12–1.

Контроль точки роси і чистоти газу здійснюють у певній ділянці бака прискорювача 1 з ви-

користанням штатного обладнання прискорювального мас-спектрометра.

Фільтр осушення і відновлення 5 заповнено силікагелем та алюмогелем у пропорції 1:2. Через 100–200 годин роботи фільтр очищують від сорбованих продуктів розпаду елегазу і води за допомогою нагрівання нагрівачем 6 і відкачування вакуумним насосом 7 по лінії: 5–17–7–18.

Під час промислового випробування пристрою при осушенні елегазу в ємності прискорювального мас-спектрометра за 10 годин точка роси знизилася з  $-35$  до  $-55^{\circ}\text{C}$ . Завдяки циркуляції елегазу за низьких тисків енергомісткість процесу осушення зменшилася майже вдвічі, скоротилася кількість додатко-

вих ємностей для зберігання елегазу (15 шт.) і звільнився один вакуумний насос. Усе це істотно знизило собівартість процесу осушення.

Розроблений і виготовлений в Інституті прикладної фізики НАН України пристрій ІПФ5.880.010 для осушення і відновлення елегазу забезпечує безперебійну роботу прискорювального мас-спектрометра 4110Во-AMS-1MV Tandetron упродовж як мінімум двох років. Швидкість осушення в точці роси становить  $2^{\circ}\text{C}/\text{год}$ . На пристрій одержано патент [5]. Обладнання є простим за конструкцією і зручним в експлуатації, його можна використовувати для обслуговування високовольтних установок і фізичних приладів, у яких як ізолювальний газ застосовують  $\text{SF}_6$ .

## REFERENCES

1. Moskalenko V.B., Danylchenko S.N., Sukhodub L.F., Ignatiev V.R. In: *Proc. X Conf. High-Energy Physics, Nuclear Physics and Accelerators*. (Kharkiv, 2012). [in Ukrainian].  
[Москаленко В.Б., Данильченко С.Н., Суходуб Л.Ф., Ігнат'єв В.Р. Інсталяція і статус прискорювального мас-спектрометричного комплексу мегавольтних енергій Інституту прикладної фізики НАН України. В кн.: *Матер. X конф. з фізики високих енергій, ядерної фізики та прискорювачів*. (Харків: ННЦ ХФТІ, 2012)].
2. Gokhberg V.M. *Advances in Physical Sciences (Physics-Uspekhi)*. 1940. 24(1): 11.  
[Гохберг В.М. Ленинградский физико-технический институт Академии наук СССР. *Успехи физических наук*. 1940. Т. 24, № 1. С. 11–20].
3. Opalovskii A.A., Lobkov E.U. Sulphur Hexafluoride. *Russ. Chem. Rev.* 1975. 44(2): 97.  
[Опаловский А.А., Лобков Е.У. Гексафторид серы. *Успехи химии*. 1975. Т. 44, № 2. С. 193].
4. <http://www.doc4net.ru/doc/1250559254126>. [in Russian].  
[Оборудование и приборы для работы с элегазом. D1LO D-87727].
5. *Patent 106430. Ukraine*. Chyzhov I.G., Moskalenko V.B., Pavlenko Yu.A., Drozdenko O.O. Method for maintenance of high-voltage apparatus with hexafluorated sulfur ( $\text{SF}_6$ ) insulation. 10.07.2014.  
[Патент України № 106430. Чижов І.Г., Москаленко В.Б., Павленко Ю.А., Дрозденко О.О. Спосіб технічного обслуговування високовольтних пристроїв з елегазовою ( $\text{SF}_6$ ) ізоляцією. 10.07.2014].

Стаття надійшла 05.12.2014.

В.Б. Москаленко, І.Г. Чижов, О.В. Варакин, Ю.А. Павленко, П.Е. Самойлов, А.А. Дрозденко

Институт прикладной физики Национальной академии наук Украины (Сумы)

## ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ УСТРОЙСТВ С ЭЛЕГАЗОВОЙ ( $\text{SF}_6$ ) ИЗОЛЯЦИЕЙ

В Институте прикладной физики разработано и изготовлено устройство для осушки и восстановления елегаза ( $\text{SF}_6$ ), применяемого в качестве изолирующего газа в ускорительном масс-спектрометре. Устройство поддерживает требуемые параметры елегаза — точку росы не выше  $-55^{\circ}\text{C}$  и чистоту не ниже 99,8%, что обеспечивает безперебійную работу масс-спектрометра на протяжении более двух лет.

**Ключевые слова:** ускорительный масс-спектрометр, гексафторид серы, осушка и восстановление елегаза.

*V.B. Moskalenko, I.G. Chizhov, O.V. Varakin, Y.A. Pavlenko, P.E. Samoiloв, A.A. Drozdenko*

Institute of Applied Physics of National Academy of Sciences of Ukraine (Sumy)

EQUIPMENT FOR MAINTENANCE OF HIGH-VOLTAGE DEVICES  
WITH SULFUR HEXAFLUORIDE (SF<sub>6</sub>) INSULATION

Developed and manufactured device for dehydration and recovery of sulfur hexafluoride (SF<sub>6</sub>) used as an insulating gas in the accelerator mass spectrometer. The device supports the required parameters of compartments: dew point not higher than -55 °C, purity not worse than 99.8%. The device ensures the smooth operation of the mass spectrometer for more than 2 years.

**Keywords:** accelerator mass spectrometer, sulfur hexafluoride, dehydration and recovery of insulating gas.