

**Е.С. Мухлина**

**E.S. Muhlina**

*mukhlinaelizaveta@gmail.com*

**Р.Н. Балобанов**

**R.S. Balobanov**

*rassel\_ipek@mail.ru*

ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», Россия

г. Казань, Республика Татарстан

Kazan State Power-Engineering University, Kazan, Russia

**ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВТОРИЧНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕГАЗА В  
ОБОРУДОВАНИИ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ  
ECOLOGICAL ASPECTS OF SECONDARY USE OF ELEGAS IN HIGH-VOLTAGE  
EQUIPMENT**

**Аннотация:** Статья посвящена проблеме устранения дефектов изоляции, обнаруженных в ходе эксплуатации комплектных распределительных устройств с элегазовой изоляцией. Был проведен анализ наиболее эффективных методов диагностики элегазового оборудования и изучены различные методы очистки до уровня чистоты 99,99 %, соответствующего техническому порогу, определенному в IEC 60376 (стандарт по производству нового газа).

**Abstract:** The article is devoted to the problem of eliminating insulation defects found during operation of gas-insulated switchgear. More effective methods for diagnosing SF<sub>6</sub> gas equipment are analyzed and various domestic and foreign methods for cleaning to a purity level of 99.99%, corresponding to the technical threshold defined in IEC 60376 (standard for the production of new gas), are considered.

**Ключевые слова:** КРУЭ, элегаз SF<sub>6</sub>, диагностирование дефектов изоляции, методы очистки элегазовой изоляции.

**Keywords:** Switchgear, SF<sub>6</sub> gas, insulation fault diagnosis, gas-insulated insulation cleaning methods.

Гексафторид серы SF<sub>6</sub> (элегаз) – электроотрицательным газом, что подразумевает, что его молекулы взаимодействуют с электроном, и благодаря этому происходит образование

устойчивого отрицательного иона. Молекулы же элегаза являются максимально компактным и симметричным образованием отрицательных атомов с большой молекулярной массой.

Промышленный процесс производства SF<sub>6</sub> состоит из синтеза гексафторида серы, при котором уже полученный ранее благодаря электролизу фтор взаимодействует с серой, вследствие чего происходит экзотермическая реакция:



В процессе реакции образуются другие фториды серы, такие как SF<sub>4</sub>, SF<sub>2</sub>, S<sub>2</sub>F<sub>2</sub>, S<sub>2</sub>F<sub>10</sub>, а также примеси (они формируются из-за присутствия влажности, воздуха и угольных анодов, используемых для электролиза фтора). Благодаря очистке эти побочные продукты легко удаляются (рис. 1).

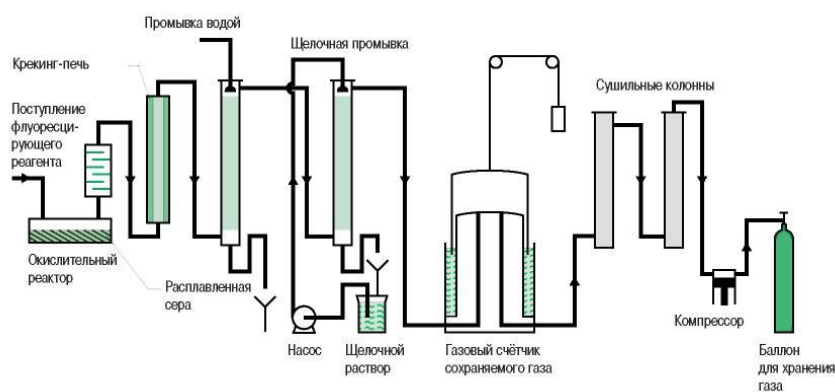


Рис. 1. Процесс производства SF<sub>6</sub>

Элегаз чаще всего применяется в высоковольтных распределительных устройствах (ВРУ) благодаря его многочисленным положительным характеристикам: высокая компактность, хорошая техническая надежность, минимальные потери трансмиссии в результате размещения вблизи узлов нагрузки, низкий уровень шумов и длительный срок службы.

Однако по данным Межправительственной группы экспертов по изменению климата, SF<sub>6</sub> является наиболее мощным парниковым газом, который оценивается с потенциалом глобального потепления в 22 800 раз больше, чем у CO<sub>2</sub> по сравнению со 100-летним периодом [4]. Применение SF<sub>6</sub> в Европейских странах с января 2008 года строго регулируется.

По истечении времени ухудшение герметичности устройств неизбежно, и благодаря этому могут появиться нежелательные примеси. В связи с этим дальнейшее использование элегаза невозможно [1].

Во время эксплуатации элегазового оборудования вероятно возможность столкнуться с загрязненным элегазом, содержащим токсичные примеси. С точки зрения охраны здоровья персонала, окружающей среды и по экономическим причинам, выгодно проводить очистку этого газа и использование его повторно. В совокупности всех этих причин за период с 1992 по 2008 год наблюдается стремительный рост переработки элегаза (см. рис. 2).



Рис. 2. Рост переработанного SF<sub>6</sub> (кг)

Чаще всего примеси, возникающие при эксплуатации элегаза, принято делить на две группы: низкокипящие и высококипящие. Со второй группой примесей нет особых сложностей в плане их удаления из элегаза, так как они удаляются хемосорбцией на щелочах (удаляются кислые фториды при использовании 40%-ных растворов или гранулированных КОН, NaOH) и алюмогеле, сорбционной сушкой на цеолитах или фильтрацией.

Основными способами синтеза элегаза в наше время являются:

1. Процесс сжигания серы в потоке фтора;
2. Реакция фтора с четырёхфтористой серой SF<sub>4</sub> в присутствии катализатора;
3. Термическое разложение SF<sub>5</sub>Cl (при температуре 200–300 °C);
4. Фторирование соединений серы.

Самым распространённым является процесс сжигания серы, однако при нём образуются такие примеси как HF, SF<sub>2</sub>, S<sub>2</sub>F<sub>10</sub>, S<sub>2</sub>F<sub>2</sub> и другие низшие фториды серы. Концентрация этих примесей получается достаточно небольшой, однако если чистый элегаз является инертным, то эти примеси оказывают прямое влияние на качество элегаза и чаще всего делают его непригодным к дальнейшему использованию.

В Евросоюзе был издан ряд директив, благодаря которым в 28 странах Евросоюза работу с шестифтористой серой могли производить только работники, имеющие

сертификацию и обязанные проводить отчетность о количестве использованного элегаза. Эти директивы были введены в 2007 году, однако это не помогло хотя бы на небольшую часть остановить выбросы SF<sub>6</sub> в атмосферу, и обеспокоенность глобальным потеплением подталкивает Евросоюз на возможность введения более жестких директив, предполагающих полный отказ от элегаза.

Чтобы предотвратить выбросы SF<sub>6</sub> в атмосферу и вторично использовать элегаз, компания AREVA T&D Messwandler GmbH, Германия, создала собственную технологию очистки использованного элегаза. Благодаря лабораторным исследованиям SF<sub>6</sub> инженеры смогли спроектировать и испытать специальное оборудование, позволяющее повторно использовать элегаз [3].

Очистка состоит из нескольких этапов: с помощью пневматического насоса загрязненный элегаз передвигается по трубе, далее поднимается по столбцу, преодолевая слои абсорбентов, и в итоге проходит фильтрацию через пятимикронный фильтр. Оценить чистоту элегаза можно благодаря клапану сверху трубы.

Сложнее происходит процесс очистки элегаза, если содержание воздуха в нем превышает 7500 миллионных долей на единицу объема. Тогда происходит регенерация элегаза в жидкой фазе, и необходим переход к газообразному состоянию, что является не выгодным в экономическом плане.

Для того чтобы решить проблему очистки элегаза с высоким уровнем загрязнения трудноудаляемыми примесями, компанией ABB из Австралии был начат новый научно-исследовательский проект по разработке более безопасного, лучше контролируемого и в значительной степени автоматизированного процесса. Итогом этого проекта служит первая полностью автоматизированная криогенная установка очистки SF<sub>6</sub> в мире [2].

Состоит процесс переработки загрязненного элегаза из криогенной стадии удаления неконденсирующихся газов (азота) из использованного газа, и из процесса фильтрации для удаления загрязнений, включая воду, различные кислоты, токсичные побочные продукты и нефть.

Ввод в эксплуатацию абсолютно нового завода по переработке и очистке элегаза сосредоточен на трубопроводе, электрике, программном обеспечении и системах управления. Так как вся система является новой, поначалу тестировались отдельные процессы, сначала с азотом, а потом с углекислым газом, прежде чем началось обширное тестирование с использованием SF<sub>6</sub>. Эти испытания позволили уточнить модели параметров

процесса, а также доказали, что технология способна отделять загрязняющие вещества от SF<sub>6</sub>.

Преимущество нового процесса по сравнению с ранее существующими технологиями заключается в том, что эффективная очистка и переработка SF<sub>6</sub> может происходить независимо от уровня и типа загрязнений элегаза.

Для обеспечения безопасности все процессы на заводе были внедрены для предотвращения воздействия на человека и исключения вероятности случайного воздействия жидкого азота. Перерабатывающая установка работает почти полностью автоматически, чтобы снизить риск ошибки оператора и обеспечить максимальную безопасность.

Таким образом, применяются различные способы устранения примесей в элегазовой изоляции.

### Список литературы

1. *Балобанов, Р. Н.* Влияние времени эксплуатации элегазового оборудования / Р. Н. Балобанов, Т. В. Лопухова, Ю. Н. Зацаринная // Вестник Казанского технологического университета. – 2012. – Т. 15, № 16. – С. 122–124.
2. *Alexander, B.* SF<sub>6</sub> gas management & recycling / B. Alexander, D. Robbie, M. Marengi. – BB Ltd, 2017.
3. Utility services and technologies – gas analysis, management, and recycling / J. L. Bessede, E. Huet, G. F. Montillet, E. Barbier, J. Micozzi // Scottsdale, AZ. – 2004. – December 1–3.
4. SF<sub>6</sub> End-of-life Recycling for Medium and High Voltage (MV & HV) Equipment // Schneider Electric. – 2013.