

Ю. Н. Зацаринная, М. Ф. Габбасов, А. П. Зорин

## ЭЛЕГАЗ И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

*Ключевые слова: элегаз, электротехнический газ, гексафторид серы.**В статье рассматривается использование элегаза в энергетической отрасли промышленности, так же описывается история его открытия, начала использования и дальнейшего развития.**Keywords: electrical gas, sulfur hexafluoride.**There is review of sulfur hexafluoride's application in power engineering industry sphere. Also, the article describes the process of sulfur hexafluoride's discovery, application beginning and following development.*

Впервые в 1941г. советским физиком Б.М. Гохбергом было предложено использование шестифтористой серы в качестве электроизоляционной среды, которая получила название элегаз. Был установлен ряд положительных свойств элегаза, который выделял его на фоне других диэлектрических сред, используемых в электротехнике. Элегаз не поддерживает горение, а его молекулы способны захватывать свободные электроны, превращаясь в тяжелые, малоподвижные ионы, именно поэтому этот газ еще называют "электроотрицательным". При нормальной температуре (20 °С) и давлении 0,1 МПа элегаз представляет собой газ без цвета и запаха. Плотность его почти в 5 раз выше плотности воздуха. Элегаз обладает низкой теплоемкостью в канале столба дуги и повышенной теплопроводностью горячих газов, окружающих столб дуги (2000 К). Это характеризует его, как среду, обладающую высокими теплопроводящими свойствами. Но выявились так же и отрицательные качества элегаза, среди которых высокая температура сжижения (-64 °С) при давлении 0,1 МПа, которая с увеличением давления повышается, а так же тот факт, что под влиянием электрической дуги или коронного разряда происходит разложение элегаза с образованием химически активных соединений, которые могут вызвать разрушение изоляционных и конструктивных материалов, однако, степень этого разложения невысока, вследствие того, что большое количество разложившегося газа немедленно восстанавливается в элегазе. Это вызывает необходимость включения в конструкцию различных фильтров, для поглощения продуктов разложения. Так же при нарушении технологии производства элегаза или при прохождении через него электрического разряда (дугового, коронного, частичного) он разлагается на составляющие газы, в их числе S<sub>2</sub>F<sub>10</sub> – чрезвычайно токсичный газ. Интенсивность образования таких примесей и вредные последствия значительно усиливаются при наличии в элегазе примесей кислорода и, особенно, примесей паров воды. Стабильность молекулярного состава элегаза сильно влияет на экологию экологии: гексафторид серы имеет огромный Потенциал Глобального Потепления (в 24900 раз выше, чем у CO<sub>2</sub>), а время его жизнеспособности составляет 3200 лет.

Поэтому, согласно Киотскому протоколу SF<sub>6</sub> классифицирован как газ ограниченного применения. Так как элегаз тяжелее воздуха, то в низко расположенных закрытых помещениях скопившийся элегаз может вытеснить воздух. Эти недостатки элегаза обуславливают высокие требования к качеству герметичности электротехнического оборудования.

Спустя почти пол столетия в мировой энергетике места привычных высоковольтных электротехнических аппаратов, которые использовали в качестве электроизоляционной среды воздух, масло и вакуум стали постепенно заниматься элегазовым оборудованием. Это вызвано рядом недостатков диэлектрических сред, используемых в электротехнических аппаратах. Среди этих недостатков сравнительно низкая электрическая прочность воздуха (E=20кВ/см), которая компенсируется повышением давления, что вызывает необходимость наличия развитой компрессорной и пневматической систем, отсюда высокая стоимость оборудования и большие затраты энергии на собственные нужды устройства, высокая взрыво- и пожароопасность, большие габариты, дорогостоящее обслуживание, необходимость периодической замены масла в масляных электротехнических устройствах высокого напряжения, сложность и высокая стоимость вакуумного производства, возможность возникновения коммутационных перенапряжений при отключении малых индуктивных токов в вакуумных коммутационных аппаратах, склонность материалов к сварке в условиях глубокого вакуума. Среди элегазового оборудования можно выделить наиболее распространенные виды аппаратов, это высоковольтные выключатели, трансформаторы и комплексные распределительные устройства с элегазовой изоляцией (КРУЭ). Их то мы и рассмотрим в данной статье.

Трансформаторы с элегазовой изоляцией впервые были разработаны в США фирмой Вестингауз в конце 50-х годов. Силовые трансформаторы напряжением до 138 кВ и мощностью до 40 МВ - А были разработаны в 60-х годах. В Европе элегазовые трансформаторы появились в середине 60-х годов. Однако дальнейшего развития ни в США, ни в Европе они не получили. В Японии первый трансформатор с

элегазовой изоляцией напряжением 69 кВ и мощностью 3 МВ · А был изготовлен в 1969 г. Возрастающие требования пожаробезопасного оборудования и запрет применения негорючих изоляционных жидкостей на основе трихлордифенила в 1972 г., стимулировали развитие элегазовых трансформаторов (ЭТ). Их производство постоянно увеличивалось с началом поставок элегазовых трансформаторов напряжением 69 кВ мощностью 3 и 10 МВ·А для комплектных элегазовых подстанций в 1979 г. В 1991 г. элегазовые трансформаторы составляли свыше 8 % в общем производстве силовых трансформаторов. Требования пожаробезопасности мощных высоковольтных подстанций, расположенных в жилых районах могут быть выполнены с установкой элегазовых трансформаторов. Такой трансформатор напряжением 275 кВ мощностью 300 МВ · А впервые был изготовлен в 1990 г. Применение силовых трансформаторов с элегазовой изоляцией в России началось в 2012 г., компания ЗАО «ИСК «Союз-Сети» завершила работы по монтажу двух элегазовых трансформаторов 220/20 кВ мощностью по 63 МВА производства Toshiba (Япония) на строящейся подземной подстанции 220 кВ «Сколково». Работы были осуществлены под руководством представителей шеф-инженеров от фирмы Toshiba. Эти трансформаторы специально разработаны для использования на подземных энергообъектах. Ранее подобные автотрансформаторы в России не применялись.

Примерно в 1955г. в компании Merlin Gerin была начата исследовательская работа по применению элегаза для изоляции и отключения цепей, в результате чего был разработан элегазовый выключатель Fluag FB4 на напряжение  $U_n = (7,2-36)кВ$ , номинальный ток отключения  $I_n = 25кА$ , номинальный ток  $I_n = (630-1250) А$ . Давление внутри корпуса 1,5 МПа, время гашения дуги 15 мс, полное время отключения 60-80 мс, срок службы - 20 лет. В 1956 году компанией "Вестингауз" был сконструирован первый высоковольтный автоматический выключатель, который мог отключать ток силой 5 кА под напряжением 115 кВ, но он имел 6 камер прерывания тока. Спустя несколько этапов развития, в 1983 г. появились первые выключатели, в которых применялись дугогасительные камеры с одиночным разрывом при напряжении 220 кВ, а так же от 440 кВ до 500 кВ и для 750 кВ, соответственно с 2, 3 и 4 камерами на каждый полюс, что привело к их широкому распространению. Такие преимущества элегазовых выключателей, как простота дугогасительной камеры, короткое время отключения, относительно малые габариты и масса, пожаро- и взрывобезопасность, малый износ дугогасительных контактов и др. обусловили широкое распространение элегазовых выключателей. Элегазовым выключателям отдается предпочтение на напряжения от 70 до 800 кВ, токи отключения до 50 кА, времена отключения 0,04-0,06 с,

апериодическая составляющая менее 60 %, в климатических районах с минимальными минусовыми температурами выше минус 30 °С.

В крупном городе или, к примеру, в жестких северных условиях, где площади помещений обходятся очень дорого целесообразно устанавливать небольшое по размерам оборудование. С началом внедрения практики использования КРУЭ – комплектного распределительного устройства с элегазовой изоляцией – в семидесятых годах 20 века, стало возможным сочетать компактность и большую эффективность электроснабжения. Задача КРУЭ – прием и распределение электроэнергии. Они состоят из шкафов и соединительных элементах, которые также заключены в шкафы или в блоки из шкафов. Отечественные образцы КРУЭ впервые были опробованы в 1974 году. В 1978 году в Москве была запущена ПС «Елоховская» на 110/220 кВ, КРУЭ для которой были изготовлены на базе завода «Электроаппарат». В Москве не менее 10 подстанций, в которых КРУЭ этого производителя работают по сей день. В последующие годы развитие производства КРУЭ в нашей стране шло медленно, и к 21 столетию на рынок начали внедряться такие производители, как Siemens, АBB, Alstom и другие с КРУЭ собственных разработок. На сегодняшний день отечественные КРУЭ выпускаются в классе напряжения до 330 кВ. В конце 1990-х начале 2000-х по заказу южнокорейской организации Hyundai Heavy Industries ОАО НИИВА разработал и провел успешное испытание КРУЭ на классы напряжения 362, 500 и 800 кВ. В отечественной практике принята установка КРУЭ в закрытых и подогреваемых (для поддержания температуры не ниже минус 5 °С) помещениях для защиты от атмосферных осадков и предотвращения коррозии. При этом обеспечивается круглогодичное удобство монтажа и эксплуатации оборудования, нет необходимости в устройствах для подогрева элегаза. Экономически это вполне оправданно с учетом небольших габаритов КРУЭ.

На основе анализа научно-технической литературы можно сделать следующий вывод. Элегаз, как дугогасительная среда нашла широкое применение в различных электротехнических устройствах, в силу ряда своих преимуществ перед уже существующими диэлектрическими средами, используемых в электротехническом оборудовании. Это такие характеристики, как пожаро- и взрывобезопасность, высокая диэлектрическая прочность, высокая теплопроводность, способность захватывать свободные электроны и малое время, необходимое для восстановления электрической прочности после пробоя и др. Благодаря этим свойствам, у оборудования, использующего элегаз, существенно уменьшаются масса и габариты, безопасность, срок службы, а так же снижаются затраты на обслуживание. Таким образом, элегазовое оборудование имеет хорошие перспективы для дальнейшего распространения, развития и усовершенствования.

## Литература

1. Балобанов Р.Н., Лопухова Т.В., Зацаринная Ю.Н. Влияние времени эксплуатации элегазового оборудования на состояние изоляции / Балобанов Р.Н., Лопухова Т.В., Зацаринная Ю.Н.// Вестник Казанского технологического университета. . – 2012. – №14
2. Балобанов Р.Н., Лопухова Т.В., Зацаринная Ю.Н. Особенности конструкции трансформаторов с элегазовой изоляцией / Балобанов Р.Н., Лопухова Т.В., Зацаринная Ю.Н.// Вестник Казанского технологического университета. – 2013. – №4, стр.218
3. Кох Д., «Свойства SF6 и его использование в коммутационном оборудовании среднего и высокого напряжения» / Д. Кох – г. Гренобль, 2006.

---

© **Ю. Н. Зацаринная** – канд. тех. наук, доц. каф. электрических станций КГЭУ, доц. каф. автоматических систем сбора и обработки информации КНИТУ, [zac\\_jul@mail.ru](mailto:zac_jul@mail.ru); **М. Ф. Габбасов** – студ. КГЭУ; **А. П. Зорин** – студ. КГЭУ.