

УДК 621.3.048.83

Экологичная альтернатива элегазу

Поздняков М.

Научный руководитель – ПРОТАСЕНЯ М.Л.

В течение примерно 50 лет SF₆ обеспечивала хорошую и надежную работу в отрасли высоковольтного оборудования благодаря хорошим дугогасительным свойствам и возможности работы с высокими напряжениями. Теперь, когда безопасность планеты становится всеобщей проблемой, мировая энергетика ищет ему замену.

Газ SF₆ представляет собой искусственное химическое соединение, молекула которого содержит один атом серы и шесть атомов фтора. Этот газ не встречается в природе в естественном состоянии.

При комнатной температуре SF₆ существует в газообразном состоянии, и он тяжелее воздуха. Благодаря сильным связям атомов серы и фтора, элегаз при нормальных условиях является инертным. Его электрические свойства делают элегаз удобной изолирующей и дугогасящей средой в коммутационном оборудовании распределительных сетей.

При сжигании элегаз распадается на токсические соединения. Это происходит, например, при возникновении внутренней электрической дуги в оборудовании. В таких случаях элегаз и его токсичные продукты высвобождаются в атмосферу. Токсические осадки могут остаться в корпусах оборудования, поэтому при демонтаже и переработке систем после завершения их срока службы требуются специальные меры предосторожности.

Но главная проблема элегаза в том, что у него потенциал глобального потепления (GWP) в 23500 раз больше, чем у CO₂, и он остается в атмосфере в течение 3200 лет. Более того, за последние пять лет его концентрация в атмосфере увеличилась на 20%.

Потенциал глобального потепления (GWP) - это величина, используемая для определения вклада газа в глобальное потепление. Это не абсолютный показатель, но указывает на потенциал потепления парниковых газов в отношении климата по сравнению с потенциалом углекислого газа. В частности, он рассчитывается на основе 100-летнего потенциала потепления на 1 кг газа относительно 1 кг CO₂. ППП включает в себя 2 ключевых параметра: радиационную эффективность газа (поглощение в атмосфере) и временной масштаб (сколько времени требуется для удаления вещества из атмосферы). С учетом такого высокого ППП элегаза было решено найти ему замену в энергетике.

После нескольких лет исследований, был найден достойный вариант - g³ (g в кубе) - газовая смесь, состоящая из CO₂, O₂ и фторнитрила Novac 4710. Примечательно, что эта революционная газовая смесь может снизить воздействие на климат более чем на 99%, по сравнению с SF₆.

Novac 4710 имеет химическую формулу (CF₃)₂CFCN. Газ в чистом виде имеет относительную диэлектрическую прочность в два раза больше, чем у SF₆, при одинаковом давлении. Также он имеет важные экологические свойства, такие как низкий потенциал глобального потепления (GWP) при смешивании с инертными газами и нулевой потенциал истощения озона (ODP).

Газ Novac 4710 имеет основные характеристики и преимущества: отличные диэлектрические свойства для приложений среднего и высокого напряжения; широкий диапазон рабочих температур и сред; не воспламеняется; не разрушает озоновый слой; широкий запас прочности для работников при использовании в соответствии с назначением; совместим с широким спектром компонентов оборудования.

На практике необходимо учитывать некоторые отличия Novac 4710 от SF₆. Было обнаружено, что многие материалы, работающие в настоящее время с элегазом, совместимы с Novac 4710. Но, хотя он совместим с большинством часто встречающихся металлов, на него могут негативно влиять некоторые компоненты, содержащиеся в смазках и эластомерах, используемых в прокладках и уплотнительных кольцах.

Газ Novac 4710 не может быть использован самостоятельно из-за его сжижения при низкой температуре. Было обнаружено, что лучший компромисс достигается, если его смешать с CO_2 (из-за его дугогасящей способности). В результате была создана g^3 – газовая смесь, которая может стабильно работать в разъединителях и выключателях.

В газообразном состоянии фторнитрил, содержащийся в g^3 , совместим с большинством металлов и твердых пластмасс, используемых в высоковольтном оборудовании. Контактная медь, алюминий, латунь, никель, сталь или нержавеющей сталь в течение нескольких месяцев при повышенной температуре (120°C), газ не показывает никаких изменений.

Затем особое внимание было уделено материалу прокладки. EPDM – это типичный эластомер, используемый в качестве прокладочного материала в высоковольтном оборудовании, заполненном SF_6 . Сочетание свойств материалов в сочетании с конструкцией прокладки позволяет газонепроницаемым подстанциям быть надежно изолированными в течение всего срока их службы и соответствовать максимально допустимому уровню утечки 0,5% на отсек в год. Поскольку молекула CO_2 намного меньше, чем молекула SF_6 , было обнаружено, что стандартный EPDM не подходит для обеспечения низкой скорости проникновения g^3 . Для этих целей была успешно испытана разновидность бутилкаучука – эластомерного материала, широко используемого в автомобильной промышленности для шин. Результаты испытаний ясно показали, что скорость проникновения смеси g^3 была в допустимых пределах. Кроме того, новый материал прокладки был пригоден для того, чтобы выдерживать нагрузки окружающей среды.

Изоляция: диэлектрические показатели были проверены в распределительном оборудовании на 145 кВ, использующем газовую изоляцию. Полученные результаты находятся в диапазоне 87-96 % от того, что показывает SF_6 . Выявленное различие может быть минимизировано незначительной модификацией конструкции либо повышением давления.

Рост температуры: теплопроводность газовой смеси незначительно ниже, чем у SF_6 , но намного превышает теплопроводность чистого CO_2 . Испытания показывают, что различие в росте температуры составляет от 5 до 6°C . Это может быть компенсировано добавлением охлаждающих радиаторов на корпус, или пазов на проводниках, которые улучшат конвекционное охлаждение.

Выключение: газовая смесь обладает хорошими свойствами отключения тока в шине и пригодна в качестве замены элегаза. Испытания по гашению дуги проводились с использованием колонкового выключателя на 145 кВ, и показали достаточно хорошие результаты. Суть заключалась в использовании газовой смеси в дугогасительной камере, но из-за различного поведения потока газа и газовой смеси, конструкцию дугогасительной камеры пришлось усовершенствовать для использования g^3 . На разрывную способность газовой смеси g^3 в значительной степени влияет содержание CO_2 в ней. По сравнению с SF_6 , CO_2 представляет собой меньшую молекулу с более низкими показателями термического разрушения. Размер молекулы CO_2 влияет на поток газа и снижает повышение давления внутри дугогасительной камеры. Благодаря модернизации сердца камеры можно поддерживать нужное давление в тепловом потоке в течение всего процесса искрения. Испытания в модернизированной камере показали успешные результаты во всех необходимых опытах, таких как отказы клемм, короткие замыкания и тесты емкостного переключения. Размер модернизированной камеры сравним с существующими камерами самонастройки SF_6 .

При воздействии электрической дуги образуются побочные продукты разложения. Они в основном образуются в виде CO_2 . Что касается токсичности побочных продуктов, были проведены сравнительные испытания g^3 и SF_6 во время срабатывания автоматического выключателя. Побочные продукты были проанализированы независимыми фармацевтическими лабораториями, и сделан вывод, что от дуги в g^3 они имеют тот же класс токсичности, что и те, которые вырабатываются SF_6 в тех же условиях.

Мониторинг газа g^3 осуществляется так же, как это было с SF_6 . Традиционные датчики (реле давления с температурной компенсацией) должны быть адаптированы только к обнов-

ленному давлению. Цифровые датчики для онлайн-мониторинга не требуют изменений: только программное обеспечение нуждается в обновлении в соответствии с физическими свойствами смеси g^3 .

Чтобы адаптировать существующие ГИП на 35-145 кВ к новой газовой смеси необходимы некоторые приспособления - главным образом, в камере выключателя. Однако, основной корпус и габариты g^3 -ГИП имеют те же размеры, что и его предшественник SF₆. Таким образом, она остается самой компактной ГИП на рынке.

В случае открытия устройства сброса давления и последующего выброса, загрязненного g^3 , сначала необходимо проветрить подстанцию для удаления загрязненных газов, а работники должны носить соответствующее автономное дыхательное оборудование, как в случае с SF₆.

Также возможно заполнить газоизолированные линии, вводы и соединения трансформатора смесью g^3 . Поскольку газовая смесь стабильно работает до -25°C, вполне возможна установка на улице. По-прежнему существует вероятность того, что температура работы g^3 может быть увеличена до отметки -30° C, но экономические показатели будут намного хуже, поэтому разработка g^3 для этого не планируется. Для конкретных применений, таких как автоматические выключатели с рабочей температурой до -40 ° C, можно использовать g^3 с нагревательным ремнем, чтобы избежать сжижения при -30 ° C.

Ведется разработка решений для утилизации g^3 . Цель состоит в том, чтобы использовать g^3 в замкнутом контуре, как это уже имеет место для SF₆. Однако для g^3 процесс является более сложным, поскольку он представляет собой газовую смесь. Есть 2 варианта последующего обращения: либо повторно использовать смесь и сохранить соотношение исходных газов; или отделить компоненты и затем повторно смешать их для дальнейшего использования.

На основе оценки полного жизненного цикла, принимая во внимание всю подстанцию, при использовании можно уменьшить выбросы CO₂ более чем на 50%. Таким образом, ГИП 35-145 кВ с g^3 имеют на сегодня самый низкий уровень выбросов CO₂ среди всех ГИП в мире.

Сейчас g^3 уже активно используется на:

- 5 участках ЛГИ 420 кВ, протяженностью более 2 километров;
- 12 ГИС 145 кВ в сумме на 70 отсеков с выключателями;
- 6 площадках с трансформаторами тока AIS 245 кВ.

В заключение хотелось бы сказать, что g^3 является намного более экологически безопасным, и отвечает всем очень жестким спецификациям для распределительного устройства высокого напряжения: высокая диэлектрическая прочность, хорошая дугогасительная способность, низкая температура кипения, высокая теплоотдача, совместимость с существующими материалами распределительного устройства, простота в обращении. За последние годы прослеживается тенденция роста профессионализма у управляющих активами в компаниях электрических сетей. Этот рост приводит к более сбалансированному подходу, при котором в процессе принятия решений учитываются качество сети, управление затратами, риски безопасности и устойчивость развития. Компании все больше концентрируются на общих затратах владения (ТСО), вместо стоимости первоначального приобретения.

Управляющие активами в крупных электрических компаниях, учитывают применение элегаза и с финансовой точки зрения. При расчетах они вводят определенный процент в качестве компенсации потенциального риска использования SF₆ и его побочных продуктов в течение времени эксплуатации. Технологии, не использующие SF₆, получают дополнительные 5-10 процентов преимущества за счет возможной экономии в течение срока эксплуатации. Это приводит к более сбалансированному процессу принятия решений в таких компаниях, поскольку при расчете затрат учитываются не только первичные затраты. Недавно проведенные независимые исследования показали, что коммутационное оборудование, не использующее элегаз, не только технически эквивалентно элегазовому оборудованию, но также и наиболее конкурентоспособно по затратам всего времени использования. Компании электрических сетей, промышленные пользователи, владельцы железных дорог и подземной инфраструктуры, а также общественные частные инвесторы в области здравоохранения

становятся все больше озабоченными аспектами здоровья и безопасности, связанными с элегазом и его токсичными побочными продуктами, равно, как и его влиянием на глобальное потепление. Применение SF₆ должно прекратиться независимо от того, доступны ли на рынке альтернативные технологии.

Для Беларуси эта технология имела бы смысл, можно переходить от масляного оборудования сразу к газонаполненному с g³, перешагнув ступень с элегазовым наполнением. Однако, чаще по-прежнему выбираются более экономичные варианты модернизации нашей энергосистемы.

Литература

1. Подстанции с газовой изоляцией переходят на g³, решение без SF₆ // Информ. Портал «Think Grid». - Режим доступа: <https://think-grid.org/gas-insulated-substations-are-switching-g%C2%B3-sf%E2%82%86-free-solution/>
2. Порт, В. и Шунеберг Г.С. «Зеленые переключения - возможность избежать выбросов SF₆ из электрических сетей», Пятый международный симпозиум по газам не-CO₂ (НСДУ-5), Вагенинген, Нидерланды 2009.
3. Смит, К. «Тенденции SF₆ и его конечного применения. 1961-2003», Конференция по SF₆ и окружающей среде, Скоттсдейл, штат Аризона, 1-3 декабря 2004 года.
4. Пауэлл, АН. «Экологические аспекты использования гексафторида серы», ERA технологджи Лтд, 2002.