

В ПОИСКАХ АЛЬТЕРНАТИВЫ ЭЛЕГАЗОВЫМ ВЫКЛЮЧАТЕЛЯМ

Аннотация. В настоящее время в российских электрических сетях, в том числе и в системах электроснабжения электрифицированных железных дорог, довольно активно используется элегазовая техника, вплоть до применения элегазовых распределительных устройств. Опыт эксплуатации элегазовой техники, в целом в мировой электроэнергетике, положительный. К ее основным преимуществам относят: низкие затраты на обслуживание, непожароопасность, невзрывоопасность, более значительный срок службы. Но вместе с тем, следует учитывать и тот отрицательный эффект, который приносит элегазовая аппаратура в общей потенциал глобального потепления. Известно, что элегаз имеет высокий потенциал в этом отношении. Поэтому весьма актуальной задачей является поиск альтернативных элегазу решений.

В настоящей работе исследованы вопросы, которые возникают при поиске альтернативы гексафториду серы (элегазу). Дано обоснование применения зеленого газа g3 для электросетей, системы AirPlus.

Произведено сравнение элегазовых выключателей с выключателями, которые используют альтернативные системы для гашения дуги, рассмотрены различные газы и их краткие характеристики. Приведены преимущества и недостатки разных систем гашения дуги. На основании технических характеристик сделаны выводы о возможности использования альтернативных газов в электрических сетях в Российской Федерации, в том числе и в системах тягового электроснабжения.

Приведены преимущества выключателей, работающих на альтернативных системах гашения дуги по сравнению выключателями, использующими элегаз для гашения дуги.

Ключевые слова: замена элегаза, элегазовые выключатели, зеленый газ для электросетей, AirPlus, сравнение.

IN SEARCH OF AN ALTERNATIVE TO SF6 SWITCHES

Abstract. Currently, in the Russian electric networks, including in the power supply systems of electrified railways, gas-fired equipment is quite actively used, up to the use of gas-fired switchgears. The experience of operation of gas-fired equipment, in general, in the global electric power industry, is positive. Its main advantages include: low maintenance costs, non-fire hazard, non-explosion hazard, longer service life. But at the same time, it is necessary to take into account the negative effect that the gas equipment brings to the overall global warming potential. It is known that elegaz has a high potential in this regard. Therefore, a very urgent task is to find alternative solutions to the gas.

In this paper, the questions that arise when searching for an alternative to sulfur hexafluoride (elegase) are investigated. The rationale for the use of green gas g3 for power grids, the AirFlus system is given.

The comparison of gas switches with switches that use alternative systems for arc extinguishing is made, various gases and their brief characteristics are considered. The advantages and disadvantages of different arc extinguishing systems are given. Based on the technical characteristics, conclusions are drawn about the possibility of using alternative gases in electrical networks in the Russian Federation, including in traction power supply systems.

The advantages of switches operating on alternative arc quenching systems compared to switches using elegaz for arc quenching are given.

Keywords: Replacement of elegaz, elegaz switches, green gas fo rpower grids, AirFlus, comparison.

Введение

В настоящее время в нашей стране высокое распространение в системе электроснабжения железных дорог получило элегазовое оборудование, например элегазовые выключатели серии ВГТЗ, ВЭБ, элегазовые трансформаторы тока серии ТРГ и т.п. Это объясняется существенно более высокой надежностью данных выключателей в сравнении с маслонаполненной техникой, имеющей довольно большое количество отказов в эксплуатации [1-3], особенно при пропуске тяжеловесных поездов, создающих большие нагрузки на все виды оборудования тяговых подстанций [4-10].

В основе работы элегазовых выключателей лежит принцип гашения дуги элегазом, также известным в электротехнике под названием электрический газ. Его точное название – гексафторид серы. Атомы элегаза обладают способностью захватывать электроны дуги. При этом благодаря большому удельному весу атомов элегаза образуются малоподвижные, тяжелые, отрицательно заряженные ионы, которые медленно передвигаются в электрическом поле. Потеря скорости электронами приводит к неустойчивости дуги, и она легко гаснет в момент естественного перехода тока дуги через ноль.

Элегаз применяется в качестве дугогасящей и электроизоляционной среды в электрических аппаратах и газоизолированных распределительных устройствах, устанавливаемых на подстанциях с конца 50-х годов прошлого столетия. В России длительное время элегаз не использовался активно, поскольку основное внимание уделялось развитию вакуумной техники. Однако длительный положительный зарубежный опыт использования элегазовых выключателей привел к тому, что российская электроэнергетика вернулась в 90-х годах 20-го века к производству элегазовой техники. К ее основным преимуществам в сравнении, особенно, с маслом наполненной аппаратурой, является высокая надежность работы, малые затраты на эксплуатацию, пожаро- и взрывобезопасность [11]. Но элегазовые аппараты также имеют и некоторые отрицательные характеристики. Речь, в частности, идет о вредном влиянии на окружающую среду, что выражается в усилении ими при утечке элегаза парникового эффекта.

Описание проблемной ситуации и постановка задачи

В настоящее время в энергетической отрасли важное место занимает охрана природы, а также проблема глобального потепления. Несмотря на то, что элегаз является хорошим диэлектриком и эффективно гасит дугу, он также является сильнейшим известным парниковым газом, потенциал глобального потепления (ПГП) которого составляет 23 900. Поэтому исследования по замене элегаза альтернативным газом имеют право на существование.

Предложения по практическому решению поставленной задачи

Потенциальный кандидат замене элегаза должен иметь низкий ПГП, а также соответствовать определенным критериям, которые должно иметь распределительное устройство. Это:

- высокая диэлектрическая прочность;
- высокая теплоотдача;
- возможность быстрого дугового гашения;
- отсутствие разрушения озона (ODP);
- невоспламеняемость;
- совместимость с материалами (не вызывает коррозии);
- химическая инертность;
- габариты оборудования аналогичны подобным аппаратам с SF₆;
- высокая стабильность;
- наличие на рынке;
- простота в обращении во время работ по техническому обслуживанию.

Некоторые иностранные компании действительно ведут разработки в данной области. Такие компании, как Mitsubishi Electric Corporation, Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation, Siemens AG и Siemens Energy Global GmbH & Co. KG и др. - представили совместное заявление о продолжении разработок распределительных устройств для электрических сетей с использованием газов природного происхождения вместо гексафторида серы (SF₆, элегаза), который, по их мнению, влияет на глобальное потепление, несмотря на то, что обладает превосходными изоляционными и дугогасящими свойствами. Однако конкретные результаты разработок ими все еще не представлены.

С другой стороны компания АВВ [12] разработала систему AirPlus, как эко-эффективное решение для электроэнергетической отрасли, применив в колонковом выключателе LTB 145 кВ AirPlus газовую смесь на основе углекислого газа (CO_2) в качестве изоляционной и дугогасительной среды вместо гексофторида серы (рис. 1),



Рис.1. Колонковый выключатель LTB 145 кВ AirPlus

AirPlus представляет собой фторкетон ($\text{C}_5\text{-PFK}$). Фторкетоны – это синтетические органические вещества, в молекуле которых все атомы водорода заменены на прочно связанные с углеродной решеткой атомы фтора (рис. 2). Такие свойства делают вещество инертным во взаимодействии с другими молекулами и ингибитором тепловых реакций. Многочисленные лабораторные исследования и испытания показали, что фторкетоны являются эффективными огнетушащими веществами с положительным экологическим и токсикологическим профилем.

AirPlus - это бесцветная прозрачная жидкость со слабовыраженным запахом, которая тяжелее воды в 1,6 раз. Это эффективный диэлектрик с электрической проицаемостью 2,3. Высокие диэлектрические свойства фторкетона позволяют применять его для защиты оборудования, работающего под напряжением: трансформаторы распределительных подстанций, электрощитовые, центры обработки данных, серверные и аппаратные помещения. Он также может использоваться для защиты бумажных носителей, архивных фото и видеозаписей, произведений искусства, антиквариата и музейных экспонатов.

Еще один проект принадлежит поддерживаемой ЕС компании LifeGRID [13-14]. Это проект green gas for grid – «зеленый» газ для сетей, в основе которого лежит применение диэлектрической жидкости 3M™ Novac™ 4710 из семейства фторонитрилов (рис. 3).

Green gas for grid – это устойчивая альтернатива элегазу для изоляции электрооборудования и гашения дуги. Газ Novac 4710 имеет превосходные диэлектрические свойства, широкий диапазон рабочих температур и значительное снижение воздействия на окружающую среду по сравнению с SF_6 . Этот газ в чистом виде имеет относительную диэлектрическую прочность, вдвое превышающую прочность SF_6 при заданном давлении. Как и в случае с другими экологически чистыми газами, добавление фтора увеличивает

диэлектрическую способность за счет повышения температуры кипения. Для аппаратов среднего класса напряжения Novac 4710 смешивается с сухим воздухом. При высоком напряжении добавляют CO_2 и сухой воздух для улучшения электрических свойств газа.

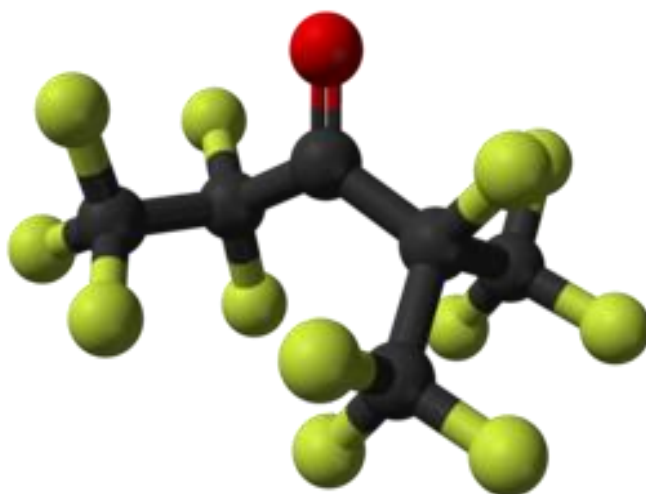


Рис.2. Модель фторкетона

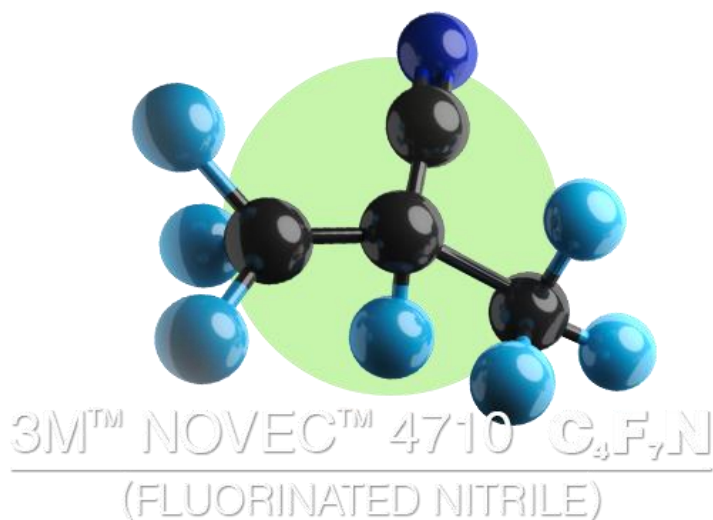


Рис.3. Модель газа 3M™ Novac™ 4710

Этот газ, как альтернатива SF_6 , также обладает важными экологическими свойствами, такими как низкий потенциал глобального потепления в смеси с инертными газами и нулевой потенциал разрушения озонового слоя (ODP), т.е. снижение мощности парниковых газов в коммерческом сетевом оборудовании более чем на 99%. Газ Novac 4710 не горюч, обладает высокой диэлектрической прочностью и имеет большой запас безопасности для рабочих при использовании его по назначению.

Сравнение элегаза с альтернативными системами

В сравнении с элегазом рассмотренные выше вещества [15-16] почти на 100% уменьшают потенциал глобального потепления, для них характерны большая безопасность для персонала в случае утечки газа или внезапном снижении избыточного давления, минимальное воздействие на окружающую среду, более высокая диэлектрическая прочность

для некоторых из них, низкая токсичность. Сравнение рассмотренных газов с элегазом приведено в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнение альтернативных систем с элегазом

Показатели	Элегаз	G ³	AirPlus	CO ₂
Потенциал глобального потепления	23 900	0	Менее 1	1
Воспламеняемость	нет	нет	нет	нет
Диэлектрическая плотность относительно элегаза	1	2	1	0,3

При анализе отечественных систем электроснабжения, применяемых в железнодорожной отрасли, не найдено информации о применении в аппаратах для гашения дуги других газов, кроме элегаза. Таким образом, отечественные аналоги этих систем отсутствуют.

Заключение

Для замены элегаза в высоковольтных выключателях доступны альтернативные решения. Так, AirPlus и g³ в настоящее время проходят испытания и были протестированы в соответствии со спецификациями Международной электротехнической комиссии, в связи с чем могут быть рассмотрены для модернизации уже существующих распределительных устройств. В области безопасности окружающей среды эти газы имеют неоспоримые преимущества по сравнению с элегазом. При сравнении газов друг с другом, видим, что их характеристики являются близкими, поэтому при выборе той или иной системы, целесообразно учитывать экономическую составляющую [17].

Российские железные дороги являются крупнейшим энергопотребителем, который использует высоковольтные выключатели с дугогасительными аппаратами на базе элегаза, и, следовательно, к сожалению, вносит определенный отрицательный эффект в увеличение потенциала глобального потепления. Поэтому, и для ОАО РЖД является актуальным вопрос проведения исследований в области поиска альтернативных решений элегазовым аппаратам.

Все вышеизложенное свидетельствует о необходимости проведения исследований, связанных с применением альтернативных газов в аппаратах для подстанций систем тягового электроснабжения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пузина Е.Ю., Алексеенко В.А. Регрессионный анализ повреждаемости измерительных трансформаторов // Повышение эффективности производства и использования энергии в условиях Сибири. Иркутск, 2010. С. 421-423.
2. Пузина Е.Ю., Алексеенко В.А. Анализ времени наработки до отказа измерительных трансформаторов // Транспорт-2010. Ч. 2. 2010. С. 307-309.
3. Алексеенко В.А., Пузина Е.Ю. Анализ повреждений измерительных трансформаторов на тяговых подстанциях ВСЖД//Транспортная инфраструктура Сибирского региона. Иркутск. Т. 2. 2009. С. 4-9.
4. Черепанов А.В., Куцый А.П., Есауленко А.С. Применение технологии виртуальной сцепки для поездов повышенной массы. Молодая наука Сибири. 2020. № 2 (8). С. 191-199.
5. Куцый А.П. Снижение несимметрии и несинусоидальности в линиях электропередачи, питающих тяговые подстанции. Транспортная инфраструктура Сибирского региона. 2018. Т. 1. С.692-696.
6. Пузина Е.Ю. Усиление системы тягового электроснабжения участка Якурим-Звездная ВСЖД/ Транспорт-2013: труды международной научно-практической конференции. –Ростов-на-Дону: Изд-во РГУПС, 2013. – С. 176-178.
7. Банщикова А.А., Базилевский М.П., Тихомиров В.А. Прогнозирование объема пропуска перевозимых на нетяговом подвижном составе крупнотоннажных контейнерах в экспортно-

импортном сообщении в направлении РФ – КНР. Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2017. № 2 (54). С. 185-190.

8. Пузина Е.Ю. Оценка потенциала повышения энергоэффективности системы тягового электроснабжения Абаканской дистанции электроснабжения / Транспорт: наука, образование, производство: сборник научных трудов Международной научно-практической конференции. – Ростов-на-Дону: Изд-во РГУПС, 2017. – С. 149-153.

9. Лундалин А.А., Пузина Е.Ю., Худоногов И.А. Направления развития релейной защиты и автоматики в Российских электрических сетях. Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2019. № 2 (62). С 77-85.

10. Cherepanov A., Kutsiy A. Modeling of tractive power supply systems for heavy-tonnage trains operation// International Russian Automation Conference, RusAutoCon2018. С.8501734.

11. Попов А.Ю., Пузина Е.Ю., Кашин А.А. Сравнительный анализ выключателей для сетей класса 6-35 кВ. Техничко-экономические проблемы развития регионов. Материалы научно-практической конференции с международным участием. 2019. С. 162-171.

13. <https://www.lifegrid.eu/>

14. https://www.3mnorge.no/3M/no_NO/company-ndc/

15. <https://forca.ru/novosti/proizvoditeli-raspredelitel'nogo-oborudovaniya-prodolzhat-razrabotku-ru-bez-elegaza.html>

16. <https://leg.co.ua/stati/alternativa-elegazu.html>

17. Боброва Ю.М., Пузина Е.Ю. Необходимость активизации энергосбережения в России//Повышение эффективности производства и использования энергии в условиях Сибири/ Материалы Всеросс. науч.-практ. конф. с междунар. участием. - Иркутск: ИРНТУ, 2016. -Т.2. - С. 142-147.

REFERENCES

1. Puzina E.Yu., Alekseenko V.A. Regression analysis of instrument transformer damage // Increasing the efficiency of energy production and use in Siberia. Irkutsk, 2010.Pp. 421-423.

2. Puzina E.Yu., Alekseenko V.A. Analysis of the operating time to failure of measuring transformers // Transport-2010. Part 2. 2010. Pp. 307-309.

3. Alekseenko V.A., Puzina E.Yu. Analysis of damage to measuring transformers at traction substations of the ESR // Transport infrastructure of the Siberian region. Ir-Kutsk. 2009. Vol.2. Pp. 4-9.

4. Cherepanov A.V., Kutsyy A. P., Esaulenko A. S. Application of virtual coupling technology for high-mass trains. Young Science of Siberia. 2020. No. 2 (8). pp. 191-199.

5. Kutsyy A.P. Reduction of asymmetry and non-sinusoidality in power transmission lines feeding traction substations. Transport infrastructure of the Siberian region. 2018. Vol. 1. pp.692-696.

6. Puzina E. Yu. Strengthening of the traction power supply system of the Yakurim-Zvezdnaya section of the VSZHD / Transport-2013: proceedings of the international scientific and practical conference. Rostov-on-don: RSUPS Publishing house, 2013, Pp. 176-178.

7. Banshchikova A.A., Bazilevsky M.P., Tikhomirov V.A. Forecasting the volume of passage of large-capacity containers transported on non-traction rolling stock in export-import traffic in the direction of the Russian Federation – China. Modern technologies. System analysis. Modeling. 2017. No. 2 (54). pp. 185-190.

8. Puzina E.Yu. Assessment of the potential for improving the energy efficiency of the traction power supply system of the Abakan power supply distance / Transport: science, education, production: collection of scientific papers of the International scientific and Practical Conference. – Rostov-on-Don: Publishing House of RSUPS, 2017. - pp. 149-153.

9. Lundalin A.A., Puzina E.Yu., Khudonogov I.A. Directions of development of relay protection and automation in Russian electric networks. Modern technologies. System analysis. Modeling. 2019. No. 2 (62). from 77-85.

10. Cherepanov A., Kutsiy A. Modeling of tractive power supply systems for heavy-tonnage trains operation// International Russian Automation Conference, RusAutoCon2018. С.8501734.

11. Popov A.Yu., Puzina E.Yu., Kashin A.A. Comparative analysis of circuit breakers for class 6-35 kV networks. Technical and economic problems of regional development. Materials of the scientific and practical conference with international participation. 2019. pp. 162-171.
12. <https://www.lifegrid.eu/>
13. <https://forca.ru/novosti/proizvoditeli-raspreditel'nogo-oborudovaniya-prodolzhat-azrabotku-ru-bez-elegaza.html>
14. <https://leg.co.ua/stati/alternativa-elegazu.html>
15. https://www.3mnorge.no/3M/no_NO/company-ndc/
16. <https://global.abb/group/en>
17. Bobrova Yu.M., Puzina E.Yu. The need to intensify energy conservation in Russia//Improving the efficiency of production and use of energy in Siberia/Materials of the All-Russia. scientific-practical. conf. with international participation. - Irkutsk: IRNITU, 2016. - Vol. 2. - S. 142-147.

Информация об авторе

Кузнецов Кирилл Евгеньевич - студент гр. СОД.1-19-2, специальность «Системы обеспечения движения поездов», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск e-mail: 2001kuznetsov@gmail.com

Information about the author

Kuznetsov Kirill Evgenievich – student g. SOD.1-19-2, specialty "Train traffic management Systems", Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: Thank.1999@mail.ru