

# ДОСЛІДЖЕННЯ УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕЛЕГАЗОВОГО ВИСОКОВОЛЬТНОГО ОБЛАДНАННЯ

Вінницький національний технічний університет

## *Анотація*

*Дослідження елегазу й умов експлуатації елегазових високовольтних вимикачів, приклади їх конструктивно-го виконання та види технічного обслуговування.*

**Ключові слова:** елегаз, вимикач, розподільний пристрій, технічне обслуговування.

## *Abstract*

*Research of SF<sub>6</sub> and operating conditions of SF<sub>6</sub> high-voltage switches, examples of their design and types of maintenance..*

**Keywords:** SF<sub>6</sub>, switch, distributive gear, maintenance.

## Вступ

Основним обладнанням в об'єднаній електроенергетичній системі України є вимикачі, трансформатори, лінії електропередач та розподільчі пристрої, вони повинні забезпечити надійну роботу всієї системи, тому потребують належного догляду під час експлуатації [1].

На сьогоднішній день, в сучасній електроенергетиці, коли підвищується номінальний струм відключення і номінальна напруга, слід модернізувати пристрій вимикачів, а також знайти середовище, яке відрізняється підвищеною електричною міцністю і дугогасильними здібностями. У підсумку через підвищену електричну міцність і добрі дугогасильні характеристики на перше місце вийшла шестифториста сірка SF<sub>6</sub>. Даний газ отримав назву електротехнічний газ або елегаз [2].

Елегаз є електронегативний газ, молекули якого захоплюють електрони. У зв'язку з цим виробляються важкі, малорухливі іони, що повільно розганяються електричним полем. Все це дає можливість елегазу працювати з підвищеною електричною міцністю. Так як елегаз відрізняється хімічною інертністю (до 800 °С), допускається збільшення температури мідних контактів з 75 до 90 °С. Завдяки цьому було підвищено струмове навантаження апарату. Даний газ є негорючим і пожежобезпечною речовиною. Його чудові характеристики дали можливість застосовувати його в багатьох напрямках [3]:

- високовольтні вимикачі,
- силові трансформатори,
- кабелі високої напруги
- герметизовані комплектні розподільчі пристрої.

## Результати дослідження

Елегаз (шестифториста сірка SF<sub>6</sub>) – це неорганічна речовина, один з флуоридів сірки, при нормальних умовах — важкий газ, в 5 разів важчий за повітря. Сполуку було вперше отримано і описано в 1900 році Анрі Муассаном в ході робіт з вивчення хімії фтору.

Елегаз нешкідливий у поєднанні з повітрям. Однак внаслідок порушення технології виробництва елегазу або його розкладання в апараті під дією електричних розрядів (дугових, коронних, часткових), в елегазі можуть виникати надзвичайно активні в хімічному відношенні і шкідливі для здоров'я людини домішки і тверді сполуки, що осідають на стінах конструкції. Інтенсивність утворення таких сполук залежить від наявності в елегазі домішок кисню і особливо парів води. Певна кількість елегазу в електротехнічній апаратурі також розкладається в процесі її нормальної роботи. Наприклад, ко-

мутація струму 31,5 кА у вимикачі 110 кВ призводить до розкладання 5-7 см<sup>3</sup> елегазу на 1 кДж енергії, яка виділяється в дузі.

Практично безбарвний газ, має високу пробивну напругу (89 кВ/см). Електрична міцність елегазу залежить від тиску, вона в 2—4 рази вище, ніж у повітря. У ньому міститься 21,95% сірки і 78,05% фтору. При нормальному тиску елегаз може перебувати у будь-якому з трьох агрегатних станів при температурі до мінус 50,8 °С.

Погано розчинний у воді (1 об'єм SF<sub>6</sub> в 200 об'ємах води), етиловому спирті і діетиловому ефірі<sup>[2]</sup>, добре розчинний у нітрOMETANІ. Густина елегазу при T = 273 К і тиску p = 0,1 МПа становить 6,56 кг/м<sup>3</sup>. Відносна діелектрична проникність - 1,0021.

Стосовно вироблення елегазу, то єдиний використовуваний в даний час промисловий процес виробництва SF<sub>6</sub> використовує синтез гексафториду сірки, при якому фтор, отриманий при електролізі, взаємодіє з сіркою згідно екзотермічної реакції (S+3F<sub>2</sub>→SF<sub>6</sub>+262 ккал).

Вартість елегазу досить висока, однак він знайшов досить широке застосування в техніці, особливо в високовольтній електротехніці. Він насамперед використовується як діелектрик, тобто як основна ізоляція для комплектних розподільчих установок<sup>[5]</sup>, високовольтних вимірювальних трансформаторів струму та напруги та ін. Також елегаз використовується як середовище дугогасіння у високовольтних елегазових вимикачах.

Також його застосовують: як ізолятор і теплоносій в високовольтній електротехніці, як технологічне середовище в електронній та металургійній промисловості, в системах газового пожежогасіння в якості пожежогасильної речовини, як холодоагент завдяки високій теплоємності, низькій теплопровідності і низькій в'язкості

Основні переваги елегазу перед його основним «конкурентом», трансформаторною оливою, це: вибухо- і пожежна безпека, зниження масо-габаритних показників конструкції за рахунок зменшення ізоляційних проміжків і поліпшених умов охолодження струмоведучих частин.

У порівнянні з повітрям цей газ має наступні переваги: електрична міцність в 2,5 рази вище, ніж у повітря (при тиску 0,2 МПа електрична міцність елегазу наближається до міцності трансформаторного масла), висока питома об'ємна теплоємність (майже в 4 рази вище, ніж у повітря) дозволяє збільшити навантаження струмоведучих частин і зменшити масу міді в вимикачі, номінальний струм відключення камери поздовжнього дуття з елегазом в 5 разів вище, ніж з повітрям, мала напруженість електричного поля в стовпі дуги (завдяки цьому різко скорочується ефект термодинамічної закупорки сопла, що дозволяє збільшити відстань між контактами, підвищити напругу на кожному контактом проміжку і допустиму швидкість відновлення напруги), елегаз є інертним газом, що не вступає в реакцію з киснем і воднем, слабо розкладається дугою. Елегаз нетоксичний, хоча деякі продукти розкладання небезпечні.

Недоліком елегазу є висока температура скраплення. Так, наприклад, при тиску 1,31 МПа перехід елегазу з газоподібного стану в рідке відбувається при температурі 0 ° С. Це змушує використовувати його або з пристроями для підігріву, або при низькому тиску. При тиску 0,35 МПа температура скраплення дорівнює -40 ° С. Для електричних апаратів застосовується газ з високим ступенем очищення від домішок, що ускладнює і здорожує його отримання.

### **Елегазові високовольтні вимикачі**

Елегазові вимикачі почали розроблятися з 1980 років і мають великі перспективи за напруги від 110 до 1150 кВ і струмах вимкнення до 80 кА. У технічно розвинених країнах елегазові вимикачі високої і надвисокої напруги (110-1150 кВ) практично витіснили всі інші типи комутаційних апаратів. Також провідні закордонні фірми практично повністю перейшли на випуск комплектних розподільчих установок<sup>[1]</sup> з елегазовою ізоляцією (КРУЕ) і елегазових вимикачів для відкритих розподільних установок, на класи напруги 110 кВ і вище.

Переваги: можливість застосування на всі класи напруг вище 1 кВ, гасіння дуги відбувається в замкненому просторі без вихлопу в атмосферу, відносно малі габарити і вага, пожежо- та вибухобезпечність, швидкість дії, висока вимикаюча здатність, надійне вимкнення малих індуктивних і ємнісних струмів в мить переходу струму через нуль без зрізу і виникнення перенапруг, малий знос дугогасильних контактів, безшумна робота, придатність для зовнішнього і внутрішнього встановлення.

Недоліки: складність і висока вартість виготовлення, високі вимоги до якості елегазу, температурні недоліки SF<sub>6</sub>, необхідність підігріву і використання сумішей елегазу з азотом, хладоном і іншими речовинами, що дозволяють працювати елегазовим вимикачам в умовах низьких температур навко-

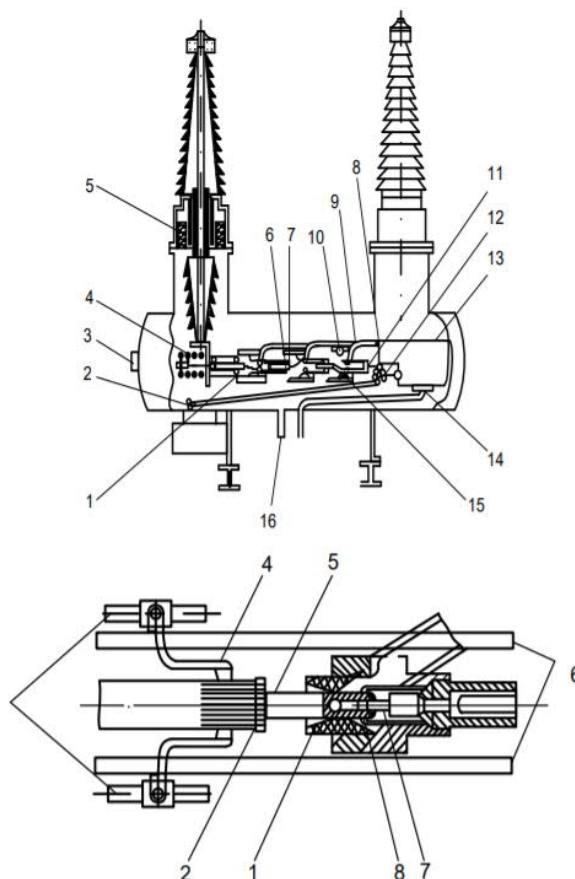
лишнього середовища, необхідність спеціальних пристроїв для наповнення, перекачування і очищення SF6, потрібно більш уважне ставлення до використання і обліку елегазу.

На рис. 1 представлено фото елегазових вимикачів.



**Рис. 1. Елегазовий вимикач на 110 кВ**

Також на рис. 2 проілюстровано полюс елегазового вимикача напругою 230 кВ з позначеннями усіх конструктивних елементів.



**Рис. 2. Полюс елегазового вимикача напругою 230 кВ (фірма «Вестингауз», США)**

Де: а – резервуар з дугогасильним пристроєм і вводами, 1 – третій дугогасильний розрив, 2 - тяга керування, 3 – запобіжна діафрагма, що розривається, 4 – прискорююча пружина, 5 – рухомий кон-

такт, 6 - ламельний контакт, 7- другий дугогасильний розрив, 8 – головний дугтєвий клапан, 9 – газо-проводи, 10 – сопло, 11 – до тяг керування контактами, 12 – клапан керування і клямка, 13 – резервуар елегазу високого тиску, 14 - живильна магістраль високого тиску, 15 – перший дугогасильний розрив, 16 - живильна магістраль газу низького тиску; б – конструкція дугогасильного розриву, 1 – сопло, 2 – проміжний ламельний контакт, 3 – ізоляційна тяга керування контактами, 4 – утримувач рухомого контакту, 5 – рухомий контакт, 6 – несучі ізоляційні штанги, 7 - дугоулавлюючий електрод, 8 – ламельний контакт.

Елегазові вимикачі, що експлуатуються на відкритих розподільних пристроях електроустановок, схильні до утворення конденсаційної вологи, яка накопичується безпосередньо в шафі приводу самого вимикача. Волога в приводі вимикача може привести до пошкодження механізму приводу вимикача і вторинних ланцюгів управління і сигналізації. Тому в приводі вимикача передбачені спеціальні нагрівальні резистори, які повинні бути завжди включені в роботу.

Комутаційні операції (включення і відключення) вимикачем елегазового типу слід робити тільки при наявності мінімально допустимого тиску елегазу  $SF_6$ . В іншому випадку може відбутися пошкодження вимикача. Для запобігання негативних наслідків передбачена сигналізація зниження тиску елегазу у вимикачі, а також блокування ланцюгів керування вимикачем при зниженні тиску елегазу до неприпустимого рівня, при якому не забезпечується ізоляція і гасіння дуги при комутації струмів[4].

У разі зниження тиску елегазу в комутаційному апараті слід вивести його в ремонт (вжити відповідних заходів у відповідності з діючими правилами та інструкціями з експлуатації електроустановок), з'ясувати причину зниження тиску, при наявності причини - усунути її і доповнити відсутню кількість газу. Для наповнення вимикача елегазом передбачено спеціальне приєднання, розташоване всередині шафи приводу. Для контролю робочого тиску газу встановлений манометр.

Оперативний персонал підстанції повинен проводити огляд елегазового вимикача щодня і додатково один раз на два тижні в темний час доби, переважно в сиру погоду на предмет коронації. При несприятливих погодних умовах, сильному забрудненні, а також у разі аварійної ситуації, тобто після автоматичного відключення комутаційного апарата необхідно проводити додаткові огляди.

Під час огляду перевіряється: щільність зачинення дверей шафи (шаф) привідного механізму, положення покажчика заведення пружини для вимикання привідного механізму, відсутність підтікань мастила з редуктора двигуна заведення пружини привідного механізму, помпи гідравлічної (пневматичної) системи привідного механізму та гідроамортизаторів привідного механізму, відсутність пошкоджень в електричних колах. У гідравлічних привідних механізмах перевіряється рівень гідрорідини в збірниках. За необхідності проводиться дозаправлення гідрорідини до відповідного рівня.

На рис. 3 показано фрагменти роботи по ремонту елегазового високовольтного вимикача.



**Рис. 3. Ремонт елегазового високовольтного вимикача**

Елегазовий вимикач розрахований на певну кількість комутацій в залежності від величини струму що вимикався, після чого має бути здійснене технічне обслуговування. Для обліку кількості комута-

цій на підстанціях ведеться журнал обліку кількості операцій з вимикачем. В цей журнал фіксуються як автоматичні відключення, так і планові.

Деталі елегазового вимикача в процесі експлуатації піддаються зносу, що, може призвести до виникнення аварійної ситуації. Для того щоб продовжити термін служби комутаційного апарата і запобігти негативним наслідкам, слід своєчасно, відповідно до встановлених графіків, робити технічне обслуговування.

Перевірка герметичності елегазового вимикача щодо витoku елегазу або суміші виконується приладом галогенної групи - течешукачем шляхом наближення щупа течешукача на відстань 2-5 см до місць ущільнень, під'єднань густиноміра або манометра елегазової системи та давача густини елегазу і вздовж трубок елегазової системи. Крім того, перевіряються щодо витoku елегазу або суміші полюси вимикача. За необхідності виконується підтягування з'єднань динамометричними ключами із зусиллями, вказаними в інструкції заводу-виробника [5-6].

Хімічно чистий елегаз не має запаху. Так як він важчий за повітря, то при витoku скупчується на рівні підлоги, в кабельних каналах, підвалах і т. п. Накопичуючись, елегаз витісняє повітря, і персонал, опинившись в місці скупчення елегазу, відчує тільки недолік кисню, в результаті чого може наступити задуха. Необхідно пам'ятати, що протигаз в цьому випадку не може надати потерпілому допомогу. Йому необхідно забезпечити доступ свіжого повітря. Тому черговий персонал при вході в приміщення РП (розподільний пристрій), де виявлено витік елегазу, повинен обов'язково включити вентиляцію. Перевірка відсутності елегазу в приміщенні повинна проводитися за допомогою палаючого сірника або свічки. Горіння сірники або свічки на рівні підлоги показує відсутність небезпечної концентрації елегазу і дозволяє вхід в приміщення.

Тому проведення робіт (у тому числі і оперативних перемикачів) у приміщеннях РП, де виявлено витік елегазу, можливо тільки при включеній припливно-витяжної вентиляції і застосуванні індивідуальних засобів захисту. Це пояснюється тим, що викиди елегазу в атмосферу у випадку пропалювання резервуарів вимикача, розривів запобіжних мембран і т.д. можуть бути забруднені продуктами розкладання. У продуктах розкладання елегазу електричною дугою містяться активні високотоксичні фториди і сірчисті з'єднання. Наявність продуктів розкладання виявляється за неприємним їдким запахом. Ці хімічні сполуки в газоподібному і твердому станах надзвичайно небезпечні для людини.

При складанні графіків проведення технічного обслуговування - поточного та капітального ремонтів, керуються даними про кількість комутаційних операцій. Встановлено певні терміни, після закінчення яких, незалежно від того, зроблено допустиму кількість комутацій чи ні, проводиться технічне обслуговування. Відповідно до вимог заводу-виготовлювача цей термін складає 25 років. Крім цього проводиться додатковий контрольний огляд вимикача по закінченню дванадцяти років після введення його в експлуатацію або у разі проведення 50% допустимих операцій включення / відключення.

Технічне обслуговування передбачає ревізію деталей вимикача, при необхідності їх заміну, а також вжиття заходів щодо попередження подальшого окислення і пошкодження деталей.

Міжремонтний період елегазових вимикачів становить 15 років. В реальних виробничих умовах передбачуваний термін експлуатації елегазового устаткування становить не менше 30 років.

## Висновки

Під час дослідження умов експлуатації елегазового обладнання, ми виявили явну перевагу елегазу, як ізоляційного так і дугогасильного середовища для різного роду обладнання нашої ЕМ на напругу 110-750 кВ. Розглянувши особливості роботи з даним газом, можна стверджувати, що він є зручним та надійним при експлуатації та має відмінні робочі характеристики, з якими не в змозі конкурувати старе електрообладнання.

Головним його конкурентом є вакуум, але це стосовно напруг до 110кВ, де вакуум має в певних аспектах більше переваг. Що стосовно напруг більше 110 кВ, елегаз зарекомендував себе як найкраще, і не тільки в Україні, але й за її межами, про що свідчить масове виробництво відомими закордонними компаніями обладнання з його наповненням.

Не дивлячись на високу вартість елегазу, і відповідно обладнання з його наповненням, слід продовжувати модернізацію обладнання енергосистеми України, задля надійної роботи та зменшення втрат електроенергії, що в майбутньому дасть змогу заощаджувати кошти та застосовувати їх в інших сферах енергетики нашої країни.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. О.Є. Рубаненко, В.О. Лесько, С.В. Пугач Особливості цифрових ВРП електричних станції Матеріали XV міжнародної конференції "Контроль і управління в складних системах (КУСС-2020)", м. Вінниця, 8-10 жовтня 2020 р.
2. <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%95%D0%BB%D0%B5%D0%B3%D0%B0%D0%B7%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D0%B9%D0%B2%D0%B8%D0%BC%D0%B8%D0%BA%D0%B0%D1%87>
3. <https://universalexport.com.ua/ua/blog/elegaz-i-ego-svoystva>
4. <inmad.vntu.edu.ua/portal/static/368E8219-C8A0-4B89...EBB-3D8E962BC420.pdf>
5. Норми випробування електрообладнання. СОУ-Н ЕЕ 20.302:2007, офіційне видання, Київ 2007.
6. <uchika.in.ua/5-rozrahunok-viboru-elegazovih-vimikachiv-41.html?page=7>
7. <https://uk.answersexpress.com/gas-insulated-transmission-line-gil-30403>.

**Поліщук Андрій Володимирович** — студент групи 2ЕЕ-18б, факультет електроенергетики та електромеханіки.

**Малогулко Юлія Володимирівна** — доцент, канд. техн. наук, доцент кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

**Лесько Владислав Олександрович** — доцент, канд. техн. наук, доцент кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

**Malogulko Yuliia V.** - Associate Professor, Ph.D., Associate Professor of power stations and systems department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

**Lesko Vladyslav O.** — Associate Professor, Ph.D., Associate Professor of power stations and systems department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

**Polishchuk Andriy V.** — student in 2EE-18b group, Vinnytsia National Technical University