

інницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки
Кафедра електричних станцій і систем

ЗАТВЕРДЖУЮ
завідувач кафедри ЕСС
д.т.н., професор Лежнюк П. Д.

«_____» _____ 2019 р.

Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи
за освітньо-кваліфікаційним рівнем «магістр»

ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕЛЕГАЗО- ВИХ ВИМИКАЧІВ

08-13.МКР.008.00.125 ПЗ

Виконав: студент 2 курсу ОППП магістр,
групи ЕС-18м
галузь знань 14 «Електрична інженерія»
спеціальності 141 – «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
освітня програма «Електричні станції»
Ковальчук В.Л. _____

Керівник: к.т.н., ст. викладач каф. ЕСС
Гулько І.О. _____
«_____» _____ 2019 р.

Рецензент: _____
«_____» _____ 2019 р.

ЗАТВЕРДЖУЮ
завідувач кафедри ЕСС
д.т.н., професор Лежнюк П.Д.

«_____» _____ 201_ р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську кваліфікаційну роботу на здобуття кваліфікації магістра зі спеціальності: 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. Освітньо-професійна програма – Електричні станції

(шифр – назва спеціальності)

Магістр групи ЕС-18м Ковальчук Вадим Леонідович
(назва групи) (прізвище, ім'я і по батькові)

Тема магістерської кваліфікаційної роботи: «Вдосконалення методів та засобів експлуатації елегазових вимикачів»

Початкові дані: Доморошин С.В. Визначення спрацьованого ресурсу елегазового вимикача типу H G D 100/2 D, CGECALSTHOM за нечіткою моделлю / Доморошин С.В., Махлін П.В. // Електротехніка та електроенергетика - 2016. №2. ISSN 1607-6761., Афонин В.В. Элегазовые выключатели распределительных устройств высокого напряжения: учебное пособие/ В.В. Афонин, К.А. Набатов: Изд-во Тамб. Гос. ун-та, 2009, 96с., Аметисов Е.И. Основы современной энергетики под общей редакцией чл.-корр. РАН. Е.В. Аметисова. Москва: Издательство МЭИ, 2004, 822С., Неклепаев Б.Н. Электрическая часть электростанции и подстанции / Б.Н. Неклепаев, И.П. Крючков. Москва: Энергоатомиздат, 1989, 605с., Усов С.В. Электрическая часть станции // С.В. Усов [и др.]. М: Энергия, 1977, 420 с.

Короткий зміст частин магістерської кваліфікаційної роботи:

1. Графічна: слайди, які відображають основні результати та зміст розрахунково-пояснювальної записки;

2. Текстова (пояснювальна записка): Вступ. 1. Аналіз методів експлуатації елегазових вимикачів. 2. Дослідження особливостей ремонту високовольтних вимикачів. 3. Аналіз методів та засобів ремонту елегазових вимикачів. 4. Дослідження якості елегазу в електрообладнанні 5. Обґрунтування доцільності впровадження елегазових вимикачів. 6. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. Висновки. Список використаних джерел. Додатки.

3. Консультанти з окремих розділів магістерської кваліфікаційної роботи:

Науковий керівник

(підпис)

канд. техн. наук., ст. викл. кафедри ЕСС
наук. ступінь, вчене звання (посада)

“ ____ ” _____ 2019 р.

І. О. Гунько

Економічна частина

(підпис)

канд. техн. наук, доц., доцент кафедри ЕСС
наук. ступінь, вчене звання (посада)

“ ____ ” _____ 2019 р.

В. В. Нетребський

(ініціали та прізвище)

Охорона праці та безпека
в надзвичайних ситуаціях

(підпис)

д-р. техн. наук, доц, професор кафедри ЕСС
наук. ступінь, вчене звання (посада)

“ ____ ” _____ 2019 р.

Є. А. Бондаренко

(ініціали та прізвище)

Дата попереднього захисту роботи “ ____ ” _____ 2019 р.

Рецензент

(підпис)

(наук. ступінь, вчене звання , посада)

“ ____ ” _____ 2019 р.

(ініціали та прізвище)

Завдання видав

(підпис)

канд. техн. наук, ст. викл. кафедри ЕСС
наук. ступінь, вчене звання (посада)

“ ____ ” _____ 2019 р.

І. О. Гунько

(ініціали та прізвище)

Завдання отримав магістрант

(підпис)

В.Л. Ковальчук

(ініціали та прізвище)

“ ____ ” _____ 2019 р.

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ.....	6
ANNOTATION	7
СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ	8
ВСТУП.....	9
1 АНАЛІЗ МЕТОДІВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕЛЕГАЗОВИХ ВИМИКАЧІВ	12
1.1 Класифікація методів та засобів експлуатації елегазових вимикачів	13
1.2 Дослідження особливостей елегазу та елегазового обладнання	17
Висновки до першого розділу	21
2 ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ РЕМОНТУ ВИСОКОВОЛЬТНИХ ЕЛЕ- ГАЗОВИХ ВИМИКАЧІВ	22
2.1 Аналіз парку високовольтних вимикачів в світі та Україні.....	22
2.2 Конструктивні особливості елегазових вимикачів.....	26
2.3 Підготовка до ремонту елегазового обладнання	32
2.4 Технічні вимоги на ремонт деталей загального призначення	33
Висновки до другого розділу.....	35
3 АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ РЕМОНТУ ЕЛЕГАЗОВИХ ВИМИКАЧІВ	37
3.1 Вимоги до монтажу елегазових вимикачів	37
3.2 Можливі несправності і способи їх усунення.....	40
3.3 Технічне обслуговування вимикача	41
3.4 Планування ремонтів	45
3.4.1 Підготовка виконавців ремонту.....	45
3.4.2 Підготовка виробничих потужностей	46
3.5 Вибір вимикачів.....	47
Висновки до третього розділу	49
4 ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РОБОТИ ЕЛЕГАЗОВИХ ВИМИКАЧІВ ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ.....	50
4.1 Дослідження проблеми якості елегазу	50
4.2 Вибір нормованих параметрів	51

4.3 Вплив процедури підготовки вимикача до заповнення на якісь елегазу в вимикачі.....	53
4.4 Дослідження зміни якості елегазу під час підготовки елегазового вимикача до експлуатації	55
4.5 Вплив вологи ізоляційних матеріалів на якість елегазу в вимикачеві	58
4.6 Визначення тиску в вимикачеві для нижньої і верхньої границь температури навколишнього середовища	62
4.7 Дослідження розчинності елегазу в воді	69
4.8 Дослідження елегазу під дією електричних розрядів.....	71
4.9 Вибір конструктивних матеріалів для елегазових вимикачів.....	76
Висновки до четвертого розділу	82
5 ОБГРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ ЕЛЕГАЗОВИХ ВИМИКАЧІВ	83
5.1 Визначення поточних витрат.....	83
5.2 Розрахунок заробітної плати.....	83
5.3 Розрахунок затрат на матеріали при капітальному та середньому ремонті	87
5.4 Порівняння показників впровадження.....	87
Висновки до п'ятого розділу	89
6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	90
6.1 Задачі розділу	90
6.2 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкта.....	91
6.3 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії	97
6.3.1 Мікроклімат	97
6.3.2 Склад повітря робочої зони	99
6.3.2.1 Вказівка заходів безпеки при роботі з чистим елегазом	99
6.3.2.2 Вказівка заходів безпеки при роботах з елегазом, забрудненим продуктами його розкладання	101
6.4 Розрахунок параметрів заземлюючого пристрою підстанції 220-330 кВ.....	103

6.5	Безпека у надзвичайних ситуаціях. Дослідження стійкості роботи електричної підстанції 330 кВ в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій.....	109
6.5.1	Дослідження стійкості роботи електричної підстанції 330 кВ в умовах дії іонізуючих випромінювань.....	111
6.5.2	Дослідження стійкості роботи електричної підстанції 330 кВ в умовах дії електромагнітного імпульсу.....	113
6.5.3	Розробка заходів по підвищенню стійкості роботи електричної підстанції 330 кВ в умовах надзвичайних ситуацій.....	117
	Висновки до шостого розділу.....	119
	ВИСНОВКИ	120
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	122
	ДОДАТОК А	127
	ДОДАТОК Б.....	

АНОТАЦІЯ

Ковальчук Вадим Леонідович «Вдосконалення методів та засобів експлуатації елегазових вимикачів». Магістерська кваліфікаційна робота. – Вінниця : ВНТУ. 2019. – 125 с. Бібліогр.: 42. Рис.: 9. Табл.: 19.

В магістерській кваліфікаційній роботі проведено аналіз особливостей експлуатації елегазових вимикачів. Досліджено фізичні особливості елегазу та елегазового обладнання. Розглянуто конструктивні особливості елегазових вимикачів та проаналізовано загальні методи та завдання експлуатації високовольтного елегазового обладнання. Обґрунтовано доцільність впровадження елегазових вимикачів. У розділі охорони праці було визначено умови безпеки при роботі з чистим елегазом та при забрудненні його продуктами розкладання. Також в даному розділі було досліджено стійкість роботи (ВДПМІ) в умовах НС.

Ключові слова: елегазовий вимикач, комплексний розподільчий пристрій з елегазовою ізоляцією, газова суміш, елегаз, комутаційний вимикач, дугогасильний пристрій.

ANNOTATION

Kovalchuk Vadim Leonidovych "Improvement of methods and means of operation of gas switches". Master's qualification work. - Vinnytsia: VNTU. 2019 - 125 p. Bibliogr .: 42. Fig .: 9. Tabl .: 19.

In master's qualification work the analysis of peculiarities of operation of gas switches was carried out. Physical peculiarities of elegend and gas equipment have been investigated. The design features of gas switches are considered and the general methods and tasks of operation of high-voltage gas-fired gas equipment are analyzed. The feasibility of introducing electric-gas switches is substantiated. The section on occupational safety has defined the safety conditions when working with pure sludge and contamination with its decomposition products. Yes, everyone in this section was investigated the stability of work (VDPMI) in the conditions of emergency.

Keywords: gas switch, integrated switchgear with gas insulation, gas mixture, gas, switch, arc extinguisher.

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

ВГТ – вимикач електричний колонковий

ВРУ – відкрита розподільча установка

КАГ – клапан автономної герметизації

КР – капітальний ремонт

КРУЕ – комплексний розподільчий пристрій з електричною ізоляцією

ПМС – поліметилсилоксанова рідина

ПР – поточний ремонт

ПУЕ – правила улаштування електроустановок

У1 – електрика

УГТ – електрично-технологічна установка

УСЕ – сервісно - електрична установка

УХЛ1* – газова суміш

ЧР – часткові розряди

ВСТУП

Сьогодні перед енергорозподільними компаніями України стоять дуже важливі завдання модернізації автоматизації мереж, перехід на нові моделі ринка, впровадження кращих світових технологій та досягнення максимально високих показників ефективності та надійності.

Відомим фактом є те, що більшість обладнання електричних мереж працювало понад 25 років, а тому відпрацювало свій паспортний ресурс. Забезпечення надійності роботи електричних станцій, підстанцій та систем електропостачання промислових підприємств значною мірою визначається безвідмовною роботою вимикачів високої напруги.

Вимикач відіграє важливу роль в постачанні енергії та являється одним з основних пристроїв в електричних установках. Аналіз літератури підтверджує, що на більшості підстанцій України старі повітряні вимикачі замінюють на сучасні елегазові, переважно фірм АВВ та Siemens. В залежності від режиму роботи вимикач виконує функцію як відключення, так і включення кола живлення. Елегазові вимикачі мають багато переваг в експлуатації у порівнянні з іншими видами вимикачів. Вимикач з елегазовою ізоляцією швидко і надійно виконує операцію відключення струмів при короткому замиканні (далі КЗ), має більший ресурс роботи.

Як зазначається в [1] під час експлуатації елегазових вимикачів, в них також з'являються пошкодження. Так, зокрема, найчастіше пошкоджуються наступні вузли елегазових вимикачів:

- привід;
- дугогасильна камера;
- ущільнення;
- опорно-стрижнева ізоляція та вводи.

Отже, для оцінювання ризику виникнення пошкодження елегазових вимикачів в електроенергетичній системі (ЕСС) необхідно враховувати найбільш вірогідні сценарії їх розвитку.

Тому, тема магістерської кваліфікаційної роботи, а саме вдосконалення методів та засобів експлуатації елегазових вимикачів є актуальною.

Мета і задачі дослідження. Метою магістерської роботи є вдосконалення методів та засобів експлуатації елегазових вимикачів.

Для досягнення мети магістерської кваліфікаційної роботи поставлені та розв'язані наступні наукові задачі досліджень:

- дослідити конструктивні особливості елегазових вимикачів;
- виконати аналіз існуючих методів експлуатації елегазового обладнання;
- провести дослідження особливостей елегазу та елегазового обладнання;
- дослідити особливості ремонту високовольтних елегазових вимикачів;
- визначити економічні показники впровадження нового елегазового обладнання;
- дослідження заходів з безпечної експлуатації елегазових вимикачів та забезпечення безпеки в надзвичайних ситуаціях.

Об'єктом дослідження є елегазове обладнання, а **предметом** дослідження є методи та засоби експлуатації елегазових вимикачів.

Методи дослідження.

В роботі використані методи теорії електричних вимикачів для дослідження конструктивних особливостей елегазових вимикачів, а також теорії експлуатації високовольтного обладнання електричних станцій та систем для дослідження методів та засобів експлуатації елегазових вимикачів.

Наукова новизна отриманих результатів:

Отримав подальший розвиток метод визначення складу елегазу, що дозволило обґрунтувати доцільність дозаправки вимикача елегазом або заміни елегазу.

Практичне значення полягає у наведених прикладах розрахунку волого-вмісту в елегазі та розрахунку складу елегазу, який змінюється під час експлуатації, що дає можливість визначити його склад в різних умовах експлуатації.

Апробація результатів роботи і публікації. Основні наукові результати опубліковані у 1 тезі доповідей (Науково-технічна конференція факультету електроенергетики та електромеханіки (2016) ВНТУ).

Особистий внесок здобувача. Усі результати, які складають основний зміст магістерської роботи, отримані автором самостійно.

1 АНАЛІЗ МЕТОДІВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕЛЕГАЗОВИХ ВИМИКАЧІВ

Елегазові вимикачі входять до складу електричних комутаційних вимикачів високої напруги. Елегаз або елегазова суміш являються середовищем, що виконують функцію гасіння дуги та ізоляції. Завдяки своїм високим електроізолюючим властивостям, високою напругою пробою, элегаз являється практично інертним.



Рисунок 1.1 –Елегазовий вимикач 110 кВ

Принцип роботи вимикачів базується на процесі гасіння електричної дуги безпосередньо потоком элегазу (газової суміші). При перепадах тиску, що виникають внаслідок теплової енергії самої дуги з'являється потік элегазу. Дета-

льніше про конструктивні особливості даного вимикача описано в наступному розділі.

1.1 Класифікація методів та засобів експлуатації елегазових вимикачів

Під експлуатацією вимикачів розуміють міжремонтне обслуговування і ремонт вимикачів. Міжремонтне обслуговування включає в себе комплекс робіт з підтримки справності або тільки працездатності вимикачів в процесі його використання за призначенням, а також при зберіганні на складі, в процесі транспортування і підготовки до експлуатації.

Для підвищення надійності експлуатації елегазового вимикача на місці монтажу проводять передмонтажну ревізію, в ході якої виявляють і усувають дефекти збірки, перевіряють герметизацію із суміжними газоізоляційними відсіками, контролюють якість епоксидних ізоляторів. В результаті ревізій виявляються такі найбільш характерні дефекти: сліди електричних розрядів на ізоляторах; недостатню затяжку ущільнень струмоведучих частин між суміжними газоізоляційними відсіками; пошкодження гумових прокладок кільцевих ущільнень.

Пусконаладжувальні роботи починають на стадії ревізії полюсів вимикача, а саме з вимірювання перехідних опорів струмоведучих частин. Далі перевіряють герметичність вимикача і повторно вимірюють перехідний опір; сушать внутрішні порожнини вимикача, проводять вакуумування і заповнюють їх елегазом; регулюють вимикач і визначають його швидкісні характеристики; перевіряють схеми допоміжних ланцюгів включаючи систему блокування. Після завершення робіт проводять випробування високою напругою.

Досвід монтажу елегазових вимикачів показує, що найбільш часто місцями витoku елегазу, які виявляються під час перевірки герметичності, є ущільнення кришок, газорозподільні трубки і зварні шви фланців.

Для виконання газотехнологічних робіт використовують установки УГТ (газотехнологічна) і УСЕ (сервісно - елегазова) і установку для підживлення елегазом герметичних обсягів вимикачів. Установка УГТ призначена для сушки внутрішніх порожнин вимикача шляхом вакуумування і промивання азотом, а також для вимірювання герметичності робочих об'ємів, Установку УСЕ використовують для перекачування елегазу з робочих обсягів вимикача в загальну ємність, а також для вакуумування, очищення елегазу від механічних домішок, його сушіння і зберігання, наповнення сухим повітрям.

В ході газотехнологічних робіт з налагодження елегазових вимикачів виконуються такі операції: установка фільтрів, що заповнені сорбентом, всередину бака вимикача; вакуумування внутрішнього обсягу бака до залишкового тиску, що не перевищує 65-90 Па; заповнення бака елегазом до надлишкового тиску 0,65 МПа.

В даний час створені спеціальні методики проведення налагоджувальних, приймально-здавальних випробувань елегазових вимикачів і діагностики ізоляції під час їх роботи.

В процесі експлуатації періодично проводять технічні огляди (1 раз в рік і після відключення струму КЗ) і технічне обслуговування (не рідше 1 разу на 3-4 роки) елегазових вимикачів в установленому обсязі.

Під час експлуатації елегазові вимикачі можуть демонтувати без зняття напруги зі збірних шин, причому до приміщень підстанції пред'являються певні вимоги: установка крана-балки, що перекриває всю площу залу; приміщення для потреб монтажного персоналу, що має водопостачання для охолодження вакуумної печі при регенерації сорбенту, приміщення для зберігання елегазу, запасних частин і пристосувань.

Вимикачі, які використовуються на відкритих розподільних пристроях електроустановок, схильні до появи конденсату, який частіше з все утворюється в шафі приводу самого вимикача. Це може призвести до пошкодження механізму приводу вимикача і вторинних ланцюгів управління і сигналізації. Через

це необхідно забезпечити наявність нагрівальних резисторів, які завжди включені.

Операції включення і виключення необхідно проводити тільки за умови, що система має необхідний тиск елегазу. У зворотньому випадку відбудеться пошкодження вимикача. Для ліквідації таких випадків передбачена система, що сигналізує про зниження тиску, а також блокує ланцюги керування вимикачем при зниженні тиску елегазу до критичного значення, при якому не здійснюється ізоляція і гасіння дуги при комутації струмів [2].

Якщо тиск в комутаційному вимикачі падає, то необхідно відключити його і направити на ремонт, визначити причину зниження тиску, при виявленні причини - ліквідувати її і відновити різницю газу. Для добавки газу існує спеціальне приєднання, яке знаходиться всередині шафи приводу. Для спостереження за тиском встановлений манометр.

Оперативний персонал зобов'язаний здійснювати огляд елегазового вимикача щодня і додатково один раз в два тижні в темну пору доби, переважно в сиру погоду. При несприятливих погодних умовах, сильному забрудненні, а також в разі аварійної ситуації, тобто після автоматичного відключення комутаційного вимикачу необхідно робити додаткові огляди.

Під час аварійних ремонтів, викликаних струмом КЗ, і капітальних ремонтів на персонал можуть впливати продукти розкладання елегазу, які є токсичними речовинами. Повної герметизації елегазового вимикача досягти практично неможливо, тому необхідно контролювати концентрацію елегазу в приміщенні (елегаз зменшує концентрацію кисню, людина може втратити свідомість без тривожних симптомів).

У елегазових вимикачів випробування високою напругою проводять з одночасним вимірюванням часткових розрядів, так як в період експлуатації наявність всередині корпусу вимикача малих частинок, стружки, задирок може привести до пошкодження.

Під час технічного обслуговування манометри і мановакуумметри використовуються тільки після видалення з їх масла до промивання.

Поточний ремонт електричних вимикачів виробляють 1 раз на рік без демонтажу основних елементів і без зняття тиску. При поточному ремонті крім загальних для всіх вимикачів вказівок перевіряють тиск електричного газу у вимикачі і при необхідності приводять електричний газ до потрібного тиску; переконуються за допомогою детектора у відсутності витоків, а в разі їх виявлення підтягують з'єднання (без тиску газу всередині) або демонтують його для ремонту; перевіряють стан системи заземлення та ізоляційних прокладок.

Капітальний ремонт електричних вимикачів проводять через 10 років після початку експлуатації. При цьому виконують повне розбирання всіх вузлів, ремонт арматури і чистку фаз, ремонт або заміну рухомих і нерухомих контактів, регулювання контактів та ін. Крім того, до місця ремонту проводять трубопровід з чистим сухим стисненим повітрям; відкачують електричний газ.

Будь-які операції виконують в чіткій відповідності до вказівок заводських інструкцій. При складанні вимикача після капітального ремонту проводять ревізію всіх елементів; продувають всі трубки, встановлені між полюсами і шафою керування; відновлюють їх монтаж.

Під час огляду комутаційного вимикачу слід:

- дослідити цілісність ошиновки і контактних з'єднань, а також відсутність їх нагрівання;
- перевірити відсутність зовнішніх пошкоджень комутаційного вимикачу, забруднень;
- переконатися у відсутності сторонніх шумів і потріскувань всередині полюсів вимикача, розрядів;
- оглянути стан металевих конструкцій, майданчики обслуговування вимикача, цілісності заземлюючого контуру;
- перевірити відповідність тиску електричного газу в комутаційному вимикачі номінального значення, зазначеному в паспортних даних (відповідно до температури навколишнього середовища);

- провести огляд приводу вимикача, звернути особливу увагу на ущільнення дверцят, працездатність обігріву, стан проводів вторинної комутації, відсутність вологи і корозії.

При наявності даних несправностей електричного вимикача, необхідно відразу повідомити керуючий персонал. Залежно від рівня несправностей вжити заходів, що ліквідують аварійну ситуацію [3].

1.2 Дослідження особливостей електричного та електричного обладнання

В середині ХХ століття вперше запропонували використовувати шестифтористу сірку в якості електроізоляційного середовища, яка пізніше отримала назву електричний газ. Було проведено дослідження, яке відзначило ряд позитивних властивостей електричного газу, що в порівнянні з низкою інших електроізоляційних середовищ, виявився найбільш ефективним та актуальним в використанні. Дане діелектричне середовище не підтримує горіння. Щодо його властивостей, молекули електричного газу здатні захоплювати вільні електрони, внаслідок чого перетворюючись в важкі, малорухомі іони. Завдяки цій властивості цей газ також називають «електронегативним». Нормальна температура електричного газу - 20°C і тиск - $0,1\text{ МПа}$, також він не має ні кольору, ні запаху, його щільність майже в 5 разів більша за густину повітря. Також до його позитивних властивостей відносять низьку теплоємність в каналі стовпа дуги і підвищену теплопровідність гарячих газів, що оточують стовп дуги (2000 К). Отже це середовище, якому властиві високі теплопровідні властивості.

Серед негативних властивостей електричного газу можна відзначити високу температуру скраплення (-64°C) при тиску $0,1\text{ МПа}$, яка зі збільшенням тиску підвищується. Під впливом електричної дуги або коронного розряду відбувається розкладання електричного газу, що супроводжує утворенням хімічно активних сполук, які можуть викликати руйнування ізоляційних і конструктивних матеріалів. Проте, внаслідок того, що велика кількість газу, що розклався, швидко відновлюється в даному середовищі, ступінь цього розкладання не являється високим. Це ви-

кликає необхідність включення в конструкцію різних фільтрів, для поглинання продуктів розкладання. При порушенні технології виробництва елегазу або при проходженні через нього електричного розряду (дугового, коронного, часткового) він розкладається на складові гази, в їх числі S_2F_{10} - надзвичайно токсичний газ. При наявності в елегазі домішок кисню і, особливо, домішок парів води інтенсивність утворення таких домішок і шкідливі наслідки значно посилюються.

Лише через півстоліття в світовій енергетиці звичні ізоляційні середовища, такі як повітря, масло і вакуум, що використовувались в високовольтних електричних вимикачах, почалось впровадження обладнання вже з елегазовим середовищем, оскільки в порівнянні з вищеперерахованими середовищами, а саме їхнім рядом недоліків, елегаз виявився доцільнішим.

Серед цих недоліків першою виявилась порівняно низька електрична міцність повітря ($E = 20\text{кВ} / \text{см}$), яка компенсується підвищенням тиску, що викликає необхідність наявності розвиненої компресорної і пневматичної систем. Внаслідок чого впливають такі мінуси: висока вартість обладнання, великі витрати енергії на власні потреби пристроїв, висока вибухо- і пожежонебезпека, великі габарити, дороге обслуговування, зокрема необхідність періодичної заміни масла в масляних електротехнічних пристроях високої напруги, складність і висока вартість вакуумного виробництва, можливість виникнення комутаційних перенапруг при відключенні малих індуктивних струмів в вакуумних комутаційних вимикачах, схильність матеріалів до зварювання в умовах глибокого вакууму.

В даний час до складу елегазового електричного обладнання можна віднести такі найбільш поширені види вимикачів: трансформатори, високовольтні вимикачі, комплексні розподільчі пристрої з елегазовою ізоляцією (далі КРУЕ).

Функцією високовольтних вимикачів є включення і виключення високовольтної лінії, з метою регулювання роботи системи електропостачання, а також для відключення обладнання при аварійних режимах.

Елегазові високовольті вимикачі - це пристрої оперативного управління для спостереження за високовольтною лінією енергопостачання. Їх конструктивні особливості не сильно відрізняються від масляних, але основною відмінністю є те, що середовищем, яке гасить електричну дугу є газ, а не масло, досить поширеним випадком є застосування сірки. Масляні вимикачі складні і не вигідні в експлуатації через їхню часту необхідність заміни масла і очищення робочих контактів. При експлуатації елегазових вимикачів такі вимоги не вимагаються. Важливою перевагою елегазу є його довговічність: він не втрачає своїх властивостей з часом і мінімально забруднює механічні частини пристрою. Елегазові вимикачі класифікуються на:

1) колонковий;

Даний тип використовується лише в мережі з класом напруги 220 кВ. Конструкція механізму виконана таким чином, що він працює на одну фазу і складається з двох систем, що встановлюються в ємності з елегазом - це контактна і дугогасильна система. Ці системи можуть працювати як в ручному режимі, так і в дистанційному, оскільки вони мають достатньо великі габарити.

2) баковий;

В порівнянні з колонковими, бакові елегазові вимикачі мають менші габаритні розміри. В будові конструкції додано ще один привід, що дає йому змогу працювати з декількома фазами. Через це з'являється можливість плавно управляти процесом включення і виключення напруги. Також конструктивна система обладана трансформатором струму, завдяки якому пристрій може переносити великі навантаження [4].

Крім конструктивних відмінностей, вимикачі елегазового типу діляться за способом гасіння дуги на автокомпресійні або повітряні, обертаючі, поздовжнього дуття, поздовжнього дуття з додатковим розігріванням елегазу.

Надійність роботи елегазових вимикачів високої напруги відбувається за рахунок ізоляції фаз один від одного за допомогою елегазу. Коли система сигналізує про необхідність відключення обладнання, контакти кожної камери (якщо пристрій колонковий) роз'єднуються. Так з'являється дуга, яка знахо-

диться в газі, при реагуванні вбудованих контактів. Внаслідок чого відбувається розділення газу на окремі елементи, збільшується тиск в ємності, відповідно дуга знижується. Якщо установка функціонує лише на низькому тиску, то використовуються допоміжні компресори, що збільшують тиск і створюють газове дуття. При необхідності вирівнювання струму додатково застосовується шунтування [5]. Деталі вимикача піддаються зносу, що при врешті – решт може привести до появи аварійної ситуації. Для запобігання виникнення такої ситуації рекомендується проводити своєчасне технічне обслуговування.

Графіки поточного і капітального ремонту рекомендується складати в залежності від кількості вироблених комутаційних операцій. Існують визначені терміни, в яких чітко вказані строки на необхідний ремонт, в незалежності від операцій комутації. Відповідно до вимог заводу-виготовлювача ці термін становлять 25 років. Крім цього, здійснюється огляд вимикача по закінченню 12 років після введення його в експлуатацію або в разі виробництва 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.

Основні переваги елегазових високовольтних вимикачів представлені нижче:

- універсальність. Такі вимикачі застосовуються для управління мережами різних класів напруг;
- швидкість дії. Реакція елегазу на наявність електричної дуги відбувається за долю секунди, що гарантує миттєве відключення всієї системи або окремого обладнання в аварійній ситуації;
- допустима експлуатація в умовах пожежонебезпеки і вібрації;
- довговічність. Дугогасильні контакти практично не зношуються, газові суміші не потребують заміни, а зовнішня частина вимикачів мають високі показники захисту;

Також дані вимикачів використовуються і для відключення змінного і постійного струму високого класу напруги, в той час, як вакуумні моделі не використовуються на високовольтних мережах [6].

Також є такі недоліки:

- висока ціна, пов'язана з труднощами виробництва і вартістю елегазової суміші;
- монтаж проводиться безпосередньо на фундаменті або спеціальному електрощиті з наданням інструкції;
- вимикачі не функціонують при низьких температурах;
- для обслуговування необхідне спеціальне обладнання.

Дугогасильний пристрій вимикача з елегазовим середовищем характеризується малими розмірами і легкістю конструкції. В наступному розділі детальніше представлені конструктивні особливості та фізичні властивості ізолюючого середовища.

Висновки до першого розділу

В даному розділі проведено аналіз умов експлуатації, зокрема розглянуто операції, які проводять для підвищення надійності експлуатації обладнання.

Аналіз вітчизняних та іноземних літературних джерел показав, що елегаз, як дугогасильне середовище, має ряд переваг у порівнянні з масляним та повітряним середовищами.

Зокрема, до переваг елегазу відноситься: пожежо- і вибухобезпечність, висока діелектрична міцність, висока теплопровідність, швидкість відновлення електричної міцності після пробою і інші. Завдяки цим властивостям, в елегазовому обладнанні істотно зменшуються маса і габарити, підвищуються безпека та термін служби, а так само знижуються витрати на обслуговування. Таким чином, елегазове обладнання має хороші перспективи для подальшого розвитку та вдосконалення.

2 ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ РЕМОНТУ ВИСОКОВОЛЬТНИХ ЕЛЕГАЗОВИХ ВИМИКАЧІВ

2.1 Аналіз парку високовольтних вимикачів в світі та Україні

В сучасних енергосистемах відбувається поступове введення високовольтного обладнання з елегазовим ізоляційним середовищем та заміна електричного устаткування на основі масляної та повітряної ізоляції на новий, більш вигідний і актуальний варіант.

В багатьох енергорозвинених країнах вже давно почато вдосконалення комутаційних вимикачів шляхом впровадження в енергосистеми елегазових пристроїв. В першу чергу це пов'язано з високим ступенем надійності і низькими експлуатаційними витратами даного виду обладнання [7].

Перед впровадженням і застосуванням елегазової апаратури було проведено багато техніко – економічних розрахунків з приводу його доцільності при виробництві, а також створення технологічних баз. Порівнюючи з вакуумними вимикачами, що також часто використовуються, елегазові не потребують потужні приводи і мають, як правило, більш високий комутаційний ресурс. Останні, при комутаціях створюють менші перенапруги і, відповідно, полегшують роботу ізоляції іншого енергетичного обладнання. Проаналізувавши сучасний стан енергетичних систем світу, виявлено що частка елегазового обладнання на середні класи напруги на світовому ринку стійко становить 20-30% від усього числа необхідних комутаційних вимикачів. Однак захист від аварійних ситуацій на високих, надвисоких і ультрависоких класах напруги (від 110 кВ до 1150 кВ) повністю забезпечує елегазові вимикачи [9].

Основні переваги елегазового обладнання характеризують унікальні фізико-хімічними властивості елегазу:

- при атмосферному тиску електрична міцність елегазу в 3 рази вище, ніж у повітря, а вже при тиску елегазу 0,3-0,4 МПа його електрична міцність вище, ніж у трансформаторного масла;

- здатність відключення комутаційних кіл елегазових вимикачів при однакових умовах на 2 порядки вище, ніж у інших дугогасильних середовищах [10].

Впровадження суто елегазового обладнання в енергосистемах високих класів напруги (від 110 кВ до 1150 кВ) обумовлене тим, що ні одне інше існуюче дугогасильне середовище не здатне забезпечити більш ефективне відключення аварійних режимів (табл. 2.1). Наприклад, в США і європейських країнах дане ізоляційне середовище практично витіснило всі інші типи.

Таблиця 2.1 – Динаміка заміни вимикачів в світі

Рік	Кількість, шт.	Доля в % від кількості встановлених вимикачів
2001-2005	9017	34,4
2006-2010	3659	13,9
2011-2015	2742	10,4
До 2015	15418	58,7

Хоча переваги елегазових вимикачів очевидні, повний перехід на їх використання займе багато часу. При постійно зростаючій частці сучасних вимикачів в експлуатації залишається ще чимало застарілих вимикачів. Далі розглянемо існуючу кількість обладнання інших видів.

Повітряні вимикачі експлуатуються в розподільчих пристроях всіх класів напруги. Їх кількість становить 15,6% від загального числа вимикачів. Ці вимикачі не відповідають сучасним вимогам по надійності комутаційного і механічного ресурсів, за обсягами ремонтних робіт, масам і габаритам.

Наприкінці 90-х років ХХ століття в Україні можна було виявити поодинокі випадки введення в експлуатацію елегазового обладнання. Протягом початку впровадження і до сьогодні, частка елегазового обладнання стабільно зростає і в даний час складає близько 20%. Значна частина повітряних вимикачів,

що експлуатуються, перш за все напругою 110 кВ і 220 кВ, згідно встановленим нормативним документам вичерпала свій термін служби. Зараз число таких вимикачів становить близько 40%.

Програма технічного переозброєння і реконструкції передбачає заміну вимикачів, які відпрацювали свій термін служби. Перш за все, повинна проводитися заміна повітряних і масляних вимикачів серій: ВВН, ВВ, У, МКП, ММО. В першу чергу при заміні повинні використовуватися елегазові вимикачі, звертаючи увагу на актуальні вітчизняні розробки колонкових і бакових елегазових вимикачів типів ВГТ, ВГК, ВГБ і ін. , а також вимикачі провідних зарубіжних фірм: ABB, Siemens, AREVA. За даними SIGRE - Conseil Internationale des Grandes Reseaux Electriques a Haute Tension (міжнародна рада по електричним системам високої напруги) в зарубіжних мережах частка елегазових вимикачів становить 56% від загальної кількості встановлених вимикачів. В таблицях 2.2 та 2.3 представлено аналіз сучасних комплексних розподільчих установок з елегазовою ізоляцією, що впроваджені в Україні.

Елегазове комутаційне обладнання повністю відповідає вимогам споживачів і забезпечує компактність, надійність, скорочення часу обслуговування, безпеку персоналу та термін служби.

Існують методи зниження механічної енергії для відключення вимикача, що полягають у застосуванні нових способів гасіння дуги (обертання і дугтя дуги), що призводить до більш високої надійності.

Один із них полягає у зниженні тиску при заповненні, що в свою чергу сприяє оптимальній безпеці персоналу. Запропоновано підвищення якості обслуговування, шляхом оновлення діагностичних можливостей, що дозволяють здійснювати моніторинг стану обладнання в режимі реального часу і надавати інформацію користувачеві про необхідність обслуговування.

Вдосконалення розвитку комутаційного обладнання високих класів напруг відбувається в менш інтенсивному темпі – приблизно від 0,1 до 0,5% від загальної кількості за рік. Проводяться дослідження над повторним використанням SF₆, в нього входить визначення частоти речовини, що була встановле-

на в тому чи іншому високовольтному обладнанні . Запропоновано використання SF6 в закритому циклі, що сприяє зниженню його викидів в навколишнє середовище [12]. В перспективі розглядають можливість створення моделей вимикачів, що дасть змогу розглянути природу електричного поля та його поведінки при різних навантаженнях.

Таблиця 2.2 – Установлені в електромережах України КРУЕ компанії АВВ[10]

Назва проекту	Місце розташування	КРУЕ	Уном, кВ	К-сть комірок	Дата проведення
Київенерго - ПС «Центр»	м. Київ	ЕХК-0	110	5	06.2000
Волиньцемент	м. Злобунів	ЕХК-0	110	5	03.2008
ВАТ «Подільський цемент»	с. Гуменці, м. Кам'янець-Подільський	ЕХК-0	110	6	04.2009
Дністровська ГАЕС	м. Новодністровськ	ЕЛК-3	330	4	07.2009
ГТС Алчевського металургійного комбінату	м. Алчевськ	ЕЛК-3	110	26	У стадії монтажу

Таблиця 2.3 – Енергетичні системи електроенергетики України, що впроваджують елегазове комутаційне обладнання [13]

Назва енергосистем	Всього вимикачів	У тому числі елегазових	Елегазові вимикачі напругою, кВ						
			До 20	35	110-154	220	330	400-500	750
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Дніпровська	805	20	-	-	15	-	5	-	-

Продовження таблиці 2.3 – Енергетичні системи електроенергетики України, що впроваджують елегазове комутаційне обладнання [13]

Назва енергосистем	Всього вимикачів	У тому числі елегазових	Елегазові вимикачі напругою, кВ						
			До 20	35	110-154	220	330	400-500	750
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Західна	780	49	-	-	28	10	6	-	5
Донбаська	917	43	-	-	24	-	17	2	-
Кримська	500	15	-	-	-	5	10	-	-
Південна	368	31	-	-	14	2	15	-	-
Південно-західна	262	34	1	-	26	-	6	-	1
Північна	549	9	-	-	4	-	5	-	-
Центральна	468	48	-	6	22	-	13	-	7
Всього	4649	249	1	6	133	17	77	2	13

2.2 Конструктивні особливості елегазових вимикачів

Вимикач ВГТ-110 відноситься до електричних комутаційних вимикачів високої напруги, середовищем, що гасить і ізолює служить елегаз SF_6 або газова суміш (елегаз SF_6 + тетрафторметан CF_4).

Принцип роботи вимикача полягає в гасінні електричної дуги потоком елегазу або газової суміші, яка виникє в процесі розмикання контактів (під дією пружини відключення вимикачу), як за рахунок зменшення об'єму однієї з порожнин поршневого пристрою, так і за рахунок теплового розширення газу під дією самої електричної дуги (тобто за рахунок автогенерації). Включення вимикача здійснюється за рахунок пружин приводу, які при увімкненні вимикача реагують на його пружину відключення.

Вимикач складається з рами, трьох полюсів, приводу, передавального механізму, що відключає пружини, буферного пристрою, а також системи заправки полюсів елегазом або газовою сумішшю і контролю її щільності контролю щільності елегазу або газової суміші (детальніше на рис. 2.1).

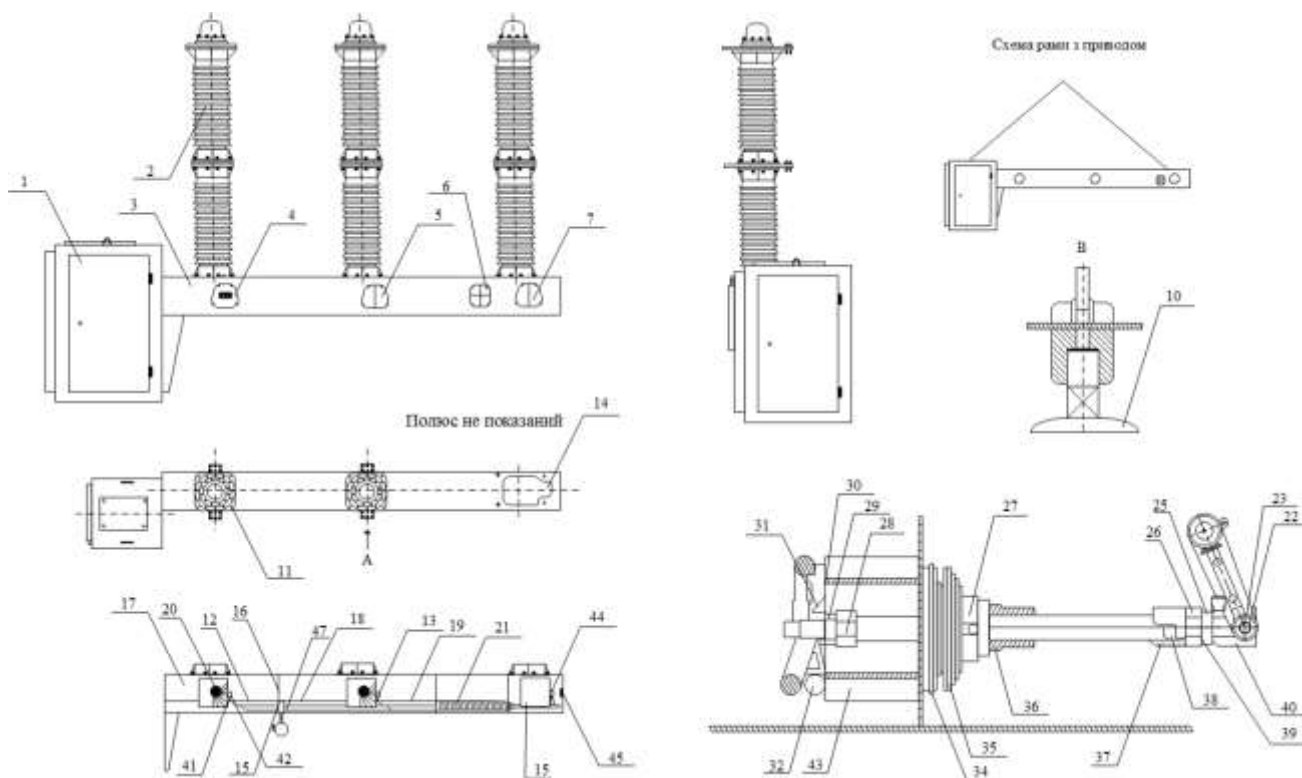


Рисунок 2.1 – Загальна будова ВГТ-110

На рисунку 2.1 зображено: 1 – привід, 2 – полюс, 3 – рама, 4,5,6,7 – кришки, 10 – сигналізатор (датчик) щільності, 11 – гвинт спеціальний, 12,13,14 – трубки, 15 – кабель, 16 – корпус, 17, 18, 19 – тяг, 20 – важелі, 21 – пружина відключення, 22- вісь, 23 – фіксатор, 24 – планка стоопорна, 25, 26, 28, 29 – гайки, 27 – колпачок, 30 – кільце, 31, 39 – шайби, 32 – диск, 33 – опора буфера, 34 – шайба, 35 – пружина тарілкоподібна, 36, 37 – втулки, 38, 46 – кільце резинове, 40, 42 – серезки, 41 – вилка, 43 – скоба транспортна, 44 – заглушка, 45 – пробка, 47 – газопровідний стакан.

Рама вимикача являє собою зварену конструкцію, що складається з сталевих листових і профільних матеріалів. Усередині рами розміщуються відключаюча пружина, передавальний механізм, буферний пристрій, трубки

системи заправки вимикача елегазом або газовою сумішшю, показчик положення контактів вимикача. Також на рамі розташовуються сигналізатор щільності елегазу або газової суміші і болт заземлення з відповідною табличкою.

Основні технічні характеристики вимикача ВГТ-110 приведені в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Основні технічні характеристики вимикача ВГТ-110

Найменування параметру	Значення
Номінальна напруга, кВ	110
Найбільша робоча напруга, кВ	126
Номінальний струм відключення, кА	2500
Номінальне відносне значення аперіодичної складової струму, %	40
Ємнісний струм ненавантажених ліній	31,5
Індуктивний струм шунтуючого реактора, А	500
Витрати елегазу на витоки в рік, % від маси елегазу	1,0
Власний час відключення, с	0,0035-0,005
Повний час відключення, с	0,005
Статичне навантаження на одну фундаментну опору, Н	9500
Маса елегазу, кг	6,3
Маса вимикача (з приводом), кг	1650

Поліс вимикача є заповненою елегазом або газовою сумішшю колоною, що складається з двох покришок з фланцями, дугогасильного пристрою з контактними виводами, фільтра - вологопоглинача, мембранного запобіжного клапана, поворотного механізму і ізоляційної тяги.

Дугогасильний пристрій включає в себе покришку з фланцями, всередині якої розміщені (з кріпленням до фланців ізолятора) нерухомий контакт і механізм рухомого контакту. Кожен контакт має свій фланець з контактними виводами.

Фільтр - вологопоглинач являє собою кожух у вигляді циліндричної ємності з перфорованої кришкою, в який поміщений мішок з активованим адсорбентом (синтетичний цеоліт). Фільтр призначений для поглинання вологи і продуктів розкладання (під дією дуги) газової суміші.

Мембранний запобіжний пристрій призначений для захисту полюса від небезпечного підвищення внутрішнього тиску, розташований у верхній його частині з кріпленням до фланця корпусу нерухомого контакту і являє собою тонкостінну мембрану, яка розривається при надмірному тиску в полюсі від 1,7 до 1,9 МПа.

В склад поворотного механізму входять зварений корпус, корпус гідравлічного затвора з пробкою, встановлений на підшипниках і шліцьовий вал, ущільнений манжетами та поліметилсилоксановою рідиною ПМС-200, важіль, що приєднується до ізоляційної тяги полюса, і клапан автономної герметизації (КАГ) полюса. КАГ складається з корпусу, що має два зовнішні виходи – для під'єднання до датчика щільності (закривається на час транспортування і зберігання заглушкою) і заправний (закритий за допомогою накидної гайки заглушкою, видаляється лише при заправці полюса газовою сумішшю); клапана-золотника з надітим на нього кільцем ущільнювача і пружиною, що притискає кільце до сидла при нижньому положенні накидної гайки.

Ізоляційна тяга, передає рух від поворотного механізму рухомого контакту, виконана у вигляді труби, по кінцях якої вкручені наконечники для з'єднання (за допомогою осей) з важелем поворотного механізму і штоком рухомого контакту.

Привід вимикача - пружинний, односторонньої дії, з кулачковим заводом включають пружин на одну операцію включення. Його пристрій, технічні характеристики і правила експлуатації наведені в інструкції з експлуатації.

Передавальний механізм включає в себе важелі, встановлені на вихідних кінцях шліцьових валів поворотних механізмів полюсів, і тяги, що з'єднують важелі між собою, з приводом і з відключаючою пружиною, для чого один кінець тяги повертає вихідний важіль приводу, на інший кінець її наведена вил-

ка. Вилки мають отвори 4 мм для контролю мінімальної довжини їх накручення на тяги.

Буферний пристрій призначений для гальмування рухомих частин вимикачу за фіксованим включеним становищем і обмеження їх ходу, являє собою пакет тарілчастих пружин з ковпачком, встановлених за допомогою шайби на направляючої гільзі опори, прикріпленою до перегородці короба рами за допомогою 3-х гвинтів. Пружини взаємодіють з тягою (вступаючи в роботу після досягнення вихідним важелем приводу фіксованої включеного положення) за допомогою встановлених на ній втулок і ковпачка. Встановлення необхідної кількості шайб на тязі дозволяє налаштувати момент вступу пружин в роботу з необхідною точністю.

У систему заправки вимикача елегазом або газової сумішшю входять:

- клапани автономної герметизації;
- корпус, що під час роботи вимикача забезпечує зв'язок газових порожнин полюсів між собою і з сигналізатором зміни щільності (датчиком щільності);
- заправочний клапан для під'єднання шланга від газозаправного комплекту;
- датчик щільності (представляє собою манометр, забезпечений пристроєм температурної компресії, що призводить показання манометра до температури 20 ° С, і має три пари контактів, одна з яких призначена для сигналізації про небезпечне рівні зниження щільності елегазу або газової суміші через його виток (і необхідності поповнення), а дві інших - для автоматичного відключення вимикачу з блокуванням ланцюга включення або для блокування управління вимикачем взагалі, що визначається проектом підстанції);
- з'єднувальні трубки з ніпелями.

Вимикач заповнюється елегазом (У1) або газовою сумішшю і їх вологість не перевищує 8,8 ррт по масі, що відповідає 71 ррт за обсягом і точці роси - мінус 45 ° С.

При подачі командного імпульсу на включаючий електромагніт, його шток через кінематичний зв'язок впливає на засувку включення, тим самим звільняючи важіль включення, який під впливом включаючих пружин переміщує вихідну тягу приводу так, що з'єднані з ним тяги зовнішні і внутрішні важелі полюсів повертаються за годинниковою стрілкою, а ізоляційна тяга передає рух рухомим контактам. Останні рухаються прямолінійно вгору, що направляються втулками. Хід головних рухомих контактів після змикання з нерухомими становить (з урахуванням перельоту, необхідного для фіксації у включеному положенні, і гальмівного шляху, залежить від величини деформації пакета тарілчастих пружин буферного пристрою) близько 40 мм. При русі рухомих контактів вгору порожнина механізму рухомого контакту збільшується в об'ємі, тиск у ній падає, що призводить до закриття зворотного клапана, відкриття зворотного клапана і, як наслідок, всмоктуванню в порожнину свіжої порції газу.

Для відключення командний імпульс подається на один з відключаючих електромагнітів приводу, що знімає з засувки його вихідний важіль і дозволяє відключає пружині повернути важелі полюсів проти годинникової стрілки до упору сережки приводу в обмежувач ходу введеного (вихідного) їх важеля. При цьому рухливі контакти всіх трьох полюсів синхронно перекладаються в нижній (відключений) стан. В ході руху контактів спочатку відбувається розмикання головних контактів (переривається зв'язок циліндра з ламелями), а потім розмикаються і дугогасильні контакти. Схеми гасіння електричної дуги при відключенні малих і великих струмів різні.

На першій стадії розбіжності контактів (до розмикання дугогасильних контактів), коли виходу елегазу або газової суміші з порожнини практично немає, процес гасіння протікає однаково - тиск в порожнині підвищується за рахунок перетікання газу з порожнини через зворотний клапан, а при сходженні розеточного контакту з нерухомого дугогасительного(коли виникає дуга) газ спрямовується у новостворений зазор, охолоджуючи дугу. Далі процеси гасіння дуги протікають по-різному.

Якщо струм невеликий та енергії дуги недостатньо для нагріву елегазу або газової суміші до температури, при якій тиск в порожнині А перевищить його значення в порожнині Б (що привело б до закриття зворотного клапана), охолодження дуги і силовий вплив на неї тиску газу триває аж до гасіння.

При відключенні великих струмів при розмиканні дугогасильних контактів виникає потужна електрична дуга, що швидко нагріває елегаз або газову суміш в порожнині А, що призводить до підвищення тиску в ній і закриття зворотного клапана. При цьому елегаз або газова суміш спрямовується в кільцеву щілину між соплами, а також через отвори сопла в зону розмикання контактів. Профіль каналів в соплах рухомого контакту такий, що спочатку потік газу направляється через розетковий контакт в порожнистий шток (і далі - через його вікна в зону низького тиску рухомого контакту), а при втраті механічного контакту сопла з нерухомим дугогасильним контактом, крім того, - і в порожнину Б (низького тиску) нерухомого контакту.

Розмикання контактів в режимі, при якому зворотний клапан поршня закритий, призводить до підвищення тиску в порожнині Б дугогасильного пристрою, що може перешкоджати (при істотному зниженні швидкості розмикання контактів) гасінню дуги. Щоб цього не сталося, надмірній компресії газу в порожнині Б перешкоджає відкриття розвантажувального клапана, характеристики пружин якого ретельно підбираються.

2.3 Підготовка до ремонту елегазового обладнання

Для того, щоб підвищити надійність, якість і високу ефективність високовольтного обладнання необхідно чітко виконувати необхідні вимоги при його експлуатації. Для прикладу, для підготовки до ремонту елегазового вимикача необхідно дотримуватись ряду дій, які розглянуто далі.

Всі старі деталі та вузли очистити від пилу, старого мастила, продуктів корозійно-механічного зносу, промити в бензині Б-70, насухо протерти.

Очистку зовнішньої і внутрішньої поверхней, а також торців ізоляторів проводити серветками (без ворсу), змоченими в спирті (тільки внутрішні поверхні), потім сухими серветками.

Напилення міді на внутрішній поверхні ізоляторів камер і відділювачів омивати 50%-вим розчином азотної кислоти за допомогою ватного тампону, після чого очищену поверхню ретельно промити водою.

Роботу з кислотою потрібно проводити в резинових рукавицях і фартуху. В випадку попадання на шкіру кислоти, її необхідно змити великою кількістю води.

2.4 Технічні вимоги на ремонт деталей загального призначення

Стан різьби перевіряти зовнішнім оглядом, а також накручуванням гайки від руки. Шпильки, які не мають дефектів, не рекомендується накручувати з деталей. Щільність посадки перевіряється відстукуванням [14].

Деталі потрібно замінити при наявності наступних дефектів:

- вм'ятини, забоїни, викрашування і зрив більше двох ниток;
- наявність люфтів при накручуванні гайки;
- тріщини і корозія, що не змивається;
- ушкодження граней і кутів на головках болтів і гайок або зношення граней більше 0,5 мм(від номінального розміру).

Деталі підлягають ремонту при наявності наступних дефектів:

- місцеві ушкодження по різьбі не більше половини висоти різьби;
- місцеві пошкодження загальною протяжністю не більше 10% довжин гвинта.

Такі дефекти усувати прогонкою різьбонарізним інструментом.

Шплінти, стопорні і пружинні шайби підлягають заміні при:

- наявності тріщин, зломів;
- втраті пружності;
- розводі пружинних шайб менше половини її товщини.

Пружинні шайб, колишні в експлуатації, допускаються до повторного використання тільки в випадку, якщо вони не втратили своєї пружності, яка характеризується величиною розводу кінців шайб. Нормальний розвод шайб рівний двійній її товщині.

Пружини підлягають заміні при наявності наступних дефектів:

- надломи, тріщини, засвітлення, корозія, що не змивається;
- нерівномірність кроку витків пружини більше 10% по всій довжині;
- втрата пружності більш допустимої, вказаної в заводській характеристиці (для пружин механізмів камери і відділювача).

Стан резини визначається зовнішнім оглядом. Гумові деталі підлягають заміні при наявності наступних дефектів:

- тріщини, зрізи, розшаровування;
- кінцева деформація;
- втрата пластичності;
- сторонні включення.

При капітальному ремонті повторно можуть бут використані гумові деталі, якщо вони не мають перелічених дефектів і відновили початкові розміри і форми після їх демонтажу. В зимній період перед встановленням гуми рекомендується прогріти приміщення до кімнатної температури.

Клапани, клапанні сідла, направляючі втулки штоків підлягають заміні при наявності наступних дефектів:

- тріщини, сколи будь – якого розміру;
- ослаблення посадок клапанних сідел;
- раковини на штоках, що займають більше 10% площі ущільнених поверхнею.

Ущільнюючі кільця, прокладки, паронітові шайби підлягають заміні при наявності наступних дефектів:

- пориви, зрізи, тріщини;
- зморшки, складки, надломи;
- нерівномірність товщини прокладок більше 0,1 мм.

Ущільнюючі прокладки повні бути рівномірно зажаті між деталями, не допускаються виступи прокладок за краями фланців кришок, корпусів більше ніж на 0,5 мм як зовні, так і всередині.

Контакти підлягають заміні при наявності наступних дефектів:

- тріщини;
- деформації;
- значне зношення.

Зовнішні контактні поверхні (місця приєднання з'єднувальних струмоведучих шин, вимикачні виводи) зачистити до металічного блиску і змастити вазеліном або іншим мастилом. Невеликі напливи зачистити шабером або опилити. Срібні контактні поверхні щільно промити бензином, плями, що не змиваються зняти тупим шабером.

Фарфорові ізолятори підлягають заміні при наявності наступних дефектів:

- кільцеві тріщини по всьому ізолятору;
- тріщини, сколи на внутрішній і торцевій поверхнях ізоляторів колонок камери і відділювала;
- осипання глазурі або утворення на ній волосяних тріщин на внутрішній поверхнях ізоляторів колонок камери і відділювала;
- плавлення фарфору в зонах дії електричної дуги;
- поверхнєве накрашування цементної замазки загальним об'ємом у двох фланців;
- поверхнєві сколи на ребрах ізоляторів, що перевищують допустимі значення.

Висновки до другого розділу

Елегазове комутаційне обладнання повністю відповідає вимогам споживачів і забезпечує компактність, надійність, скорочення часу обслуговування, безпеку персоналу та термін служби.

Для того, щоб підвищити надійність, якість і високу ефективність високовольтного обладнання необхідно чітко виконувати необхідні вимоги при його експлуатації. Необхідно дотримуватись ряду дій для підготовки до ремонту та для виконання ремонту електричного обладнання.

3 АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ РЕМОНТУ ЕЛЕГАЗОВИХ ВИМИКАЧІВ

3.1 Вимоги до монтажу елегазових вимикачів

Для того, щоб правильно експлуатувати елегазове обладнання, виробничий персонал повинен дотримуватись чітко встановлених вимог до монтажу [15]. Перед тим як розпочати монтаж вимикача, потрібно виконати наступні дії.

Необхідно підготувати фундамент у відповідності до проекту (різниця рівнів опорних поверхонь фундаментальних стійок не повинна перевищувати 10мм), підготувати дерев'яний настил або бетонну площадку, гумові ковбики для збірних одиниць і забезпечити умови, які запобігають попаданню атмосферного осаду на збірні одиниці в процесі монтажу. Далі потрібно підготувати підйомні засоби і необхідний інструмент, а також кабельні канали. Після відкриття упаковки необхідно перевірити комплектність вимикача у відповідності до відомості комплектації, цілісності заводської пломби на шкафу привода, переглянути збірні одиниці з ціллю виявлення можливих ушкоджень. Вм'ятин шкафу привода, сколів на ізоляторних полюсах, слідів корозії, підтікань масла на днищі шкафа не повинно бути. Перевірити наявність надлишкового тиску елегазу або газової суміші в полюсах, видаливши штатні заглушки з їх клапанів автономної герметизації і по результатах перегляду скласти акт. Якщо виявлено відхилення від нормального стану упаковки і збірних одиниць вимикача чи відсутність надлишкового тиску в полюсах необхідно повідомити заводу-виробнику.

Наступним кроком, необхідно встановити полюси вимикача на раму (схема приведена на рис. 3.1), дотримуючись заводського маркування, забезпечити паралельність бокових кромek фланців корпусу поворотних механізмів до осі рами. При установці полюса, опускати його поворотний механізм між швелерами рами строго вертикально, слідкуючи за тим, щоб не пошкодити шліцевий вал. Також прослідкувати за тим, щоб при кріпленні кожного полюса був

використаний спеціальний болт (отвір для нього помічено червоною фарбою). Надіти на вали полюсів важелі, контролюючи правильність установки по співпаданню вісей отворів під шплінт. При цьому кожен важіль повинен бути встановлений на попереднє місце. Повернувши важелі полюсів проти часової стрілки до упору, а далі назад до положення, при якому всі тяги не змінюючи їх встановленої на заводі довжини, можна з'єднати між собою і з важілями легко вставивши вісі. Вставити вісі і зафіксувати їх планками, не відгинаючи кутів планок на грані головок болтів.

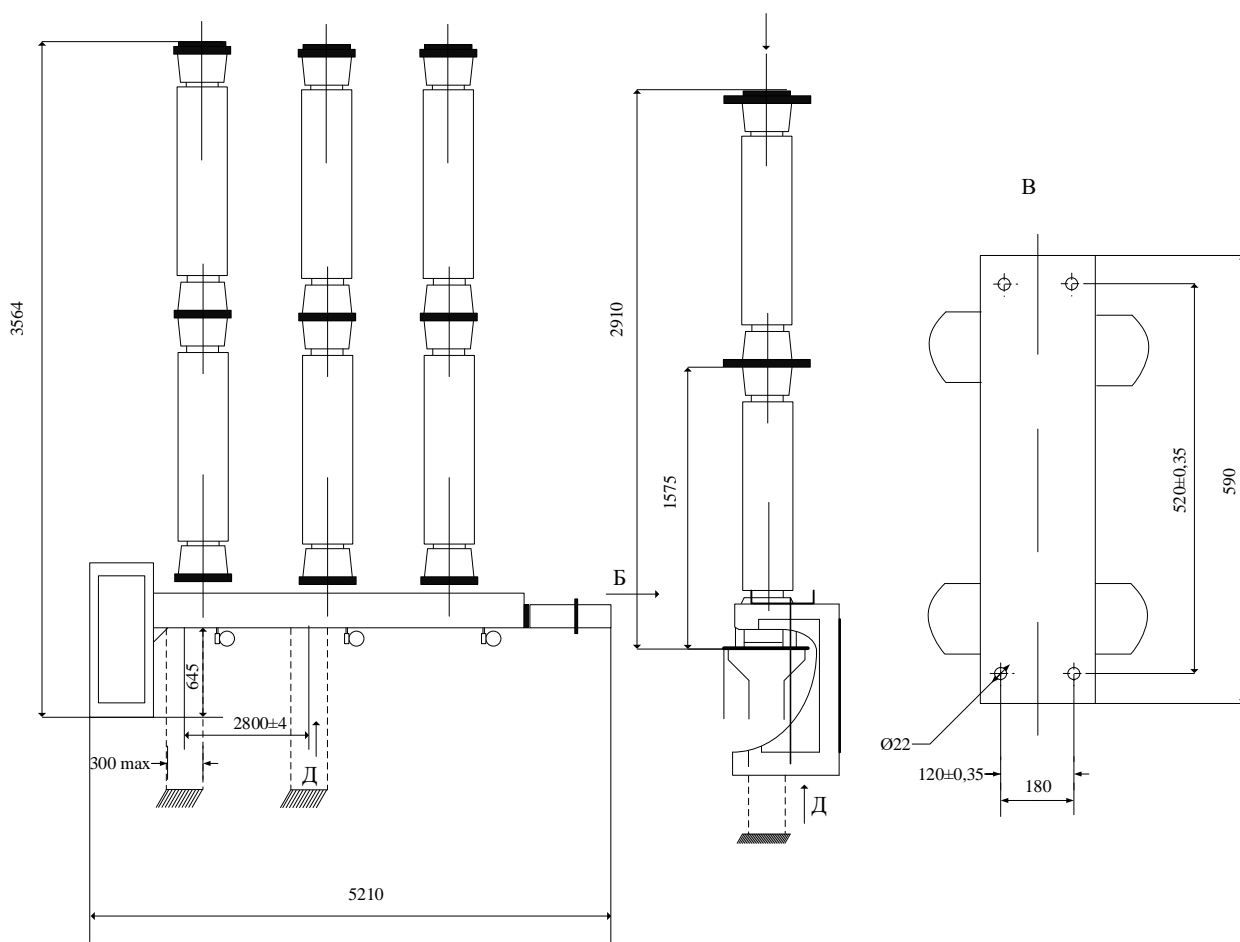


Рисунок 3.1 – Загальний вигляд вимикача ВГТ -110

Заглушки і фланці, які їх утримують, потрібно зберегти. Після під'єднання трубок підтягнути ослаблене їх кріплення до рами. Затягнути болти на фланцях трубок, під'єднавши до клапанів автономної герметизації полюсів. Користуючись управлінням по експлуатації привода, підвести живлення до

його електричних ланцюгів. Перевірити правильність під'єднання фаз до електродвигуна пружин: велика зірочка ланцюгової передачі повинна обертатися в напрямку нанесеної на неї стрілки.

Перед підготовкою до роботи вимикача необхідно перевірити наявність обладнання, інструмента і матеріалів, необхідних для заповнення вимикача елегазом або газовою сумішшю, перевірити на герметичність всі стики фланців полюсів, які знаходяться під транспортним тиском елегазу або газової суміші. Заповнення вимикача елегазом або газовою сумішшю виконувати зібравши схему. Зняти ніпеля в комплекті з гайками з клапанів автономної герметизації полюсів, ослабити накидну гайку а датчику щільності, утримуючи сам пристрій від обертань гайковим ключем. Привідкрити вентилі балона і редуктора до появи потоку на виході шланга. Вентилем редуктора встановити тиск на виході 0,1 МПа і пропускати газ через шланг протягом 1 хвилини. Не перериваючи потоку газу швидко затягнути накидну гайку біля датчика щільності. Також почергово і швидко встановити зняті ніпеля з гайками 8 на клапани автономних герметизації полюсів, вкручуючи накидні гайки на штуцери КАГ до упору а всіх полюсах. Установити на виході редуктора тиск 0.25 МПа. Не раніше ніж через 10 хвилин установити тиск на виході редуктора в межі 0.45 – 0,5 МПа і продовжувати заповнення. Заповнити колону до тиску 0.5 МПа (У1) або 0.7 МПа (УХЛ1*) по показникам датчика щільності, закрити вентиль редуктора. Від'єднати шланг від заправ очного клапана. Через 15-20 хвилин зняти показники датчика щільності і при необхідності доповнити схему елегазом або газовою сумішшю до абсолютного тиску. Через деякий час перевірити всі елементи газової системи на відсутність витоків за допомогою витокосукача.

Після цього потрібно перевірити на відповідність до паспортних даних величину електричного опору кіл електромагнітів керування; величини зазорів між верхніми торцями включаючи пружин приводу і коромислами, через які вони від'єднані з траверсою приводу; висоту болта – роз'єднувача ланцюгів важелів приводу, довжину відключаючої пружини. Зробити 4-5 пробних операцій ввімкнення і вимкнення вимикача зі щита управління, 2 з яких виконати при

контрольних значеннях напруги 176 (88) В – для вмикаючого або 143 (71) В – для вимикаючого електромагнітів (при $U_{ном}=220$ (110) В) відповідно. Увімкнути вимикач і заміряти вільний хід втулки або зазор між втулками, розведеними в різні сторони до упору. Результат заміру повинен бути в межах від 3,5 до 5,5мм.

Наступним кроком, перевірити справність роботи вимикача, виконавши 4-5 операцій увімкнення і вимкнення при номінальній напрузі на зажимах електромагнітів управління (при цьому кожен із вимикаючих електромагнітів повинен бути задіяний не менш, ніж в двох вимиканнях), і по два цикла ВВ, ВВ і ВВВ.

3.2 Можливі несправності і способи їх усунення

Однією з найбільш розповсюджених несправностей є збільшення електричного опору головного ланцюга струмопроводу [15]. Причиною цього може бути окислення поверхностей контактних з'єднань. Для усунення цієї несправності потрібно провести ремонт полюсу з зачисткою контактних з'єднань (проводиться на заводі-виробнику). Через неякісний абсорбент фільтрів може виникнути висока вологість елегазу або газової суміші в полюсах, яку можна визначити за показниками гігрометра. Дану несправність виводять заміною абсорбенту (проводиться на заводі-виробнику). Для того, щоб уникнути порушення герметичності вимикачу (показники датчика щільності за добу помітно падають), потрібно закрити КАГи полюсів, знайти місця витoku і затягнути болти. Порушення герметичності виникають внаслідок слабої затяжки болтів на фланцях трубок газової розводки або негерметичності одного з полюсів. Можливі несправності приводу і способи їх усунення описані в керівництві по його експлуатації.

3.3 Технічне обслуговування вимикача

Вимикач має високі ресурси по комутаційній і механічній стійкості і при правильній експлуатації може не потребувати ремонту до 25 років. Однак в міжремонтний період необхідно періодично проводити технічне обслуговування вимикача, включаючи його візуальний огляд; контроль окремих параметрів, які змінюються в ході експлуатації, проведення деяких профілактичних робіт, які виконуються задля підтримки стабільності характеристик вимикача і надійності його роботи [16].

На рахунок окремих характеристик вимикача, можна розглянути низку операцій, які необхідно виконувати протягом певного часу. Наприклад, контроль тиску елегазу або газової суміші по показникам датчику щільності потрібно проводити як кожного місяця, так і через 10-20 років експлуатації. Знімати показники лічильника механічних операцій рекомендовано від 5 років експлуатації. Контроль забруднення і відсутності фарфорових покриттів також являється необхідною операцією для перевірки та відбувається після 10-15 років експлуатації вимикача. Також відбувається контроль ущільнень корпусу передаточного механізму (правого швелера рами), контроль і підтяжка різьбових з'єднань, контроль вологості елегазу і газової суміші у всіх колонах вимикача, вимірювання власного часу вмикання і вимикання вимикача, які також рекомендовано перевіряти. Після 10 років експлуатації рекомендовано виконувати огляд шарнірних з'єднань горизонтальної передачі, а також вузлів тертя вимикаючого приладу, виконувати виміри опору головного кола струмопроводу, перевіряти тиск попереджувальної сигналізації і блокування.

Об'єм і інтервали між обслуговуваннями можуть змінюватися в залежності від умов експлуатації вимикача і результатів огляду. Контроль рівня елегазу або газової суміші в полюсах при вводі вимикача в роботу протягом першого тижня проводиться кожного дня. Технічне обслуговування вимикача повинен виконувати персонал, який пройшов спеціальну підготовку і ознайомився з мірами безпеки.

При техобслуговуванні необхідно дотримуватись нижче приведених правил:

1. Знімати покази датчика тиску слід з врахуванням рекомендацій. При зниженні абсолютного тиску в полюсах до 0,45 МПа для елегазу і 0,62 МПа для газової суміші поповнити вимикач елегазом або газовою сумішшю до тиску 0,5 або 0,7 МПа.
2. Перед оглядом ізоляторів з метою виявлення тріщин, сколів, встановлення ступені забруднення, необхідно знизити абсолютний тиск в полюсах до значення в межах від 0,14 до 0,15 МПа.

Якщо регламентом обслуговування передбачений контроль вологості елегазу або газової суміші в полюсах, зниження тиску виконати після операції вимірювання.

3. При виявленні на ізоляторі сколів, як можуть впливати на його електротехнічні характеристики, або тріщин – він повинен бути замінений.
4. При необхідності очистки зовнішньої поверхності ізоляторів – потрібно промити їх водою з додаванням миючих засобів, а потім ще раз – чистою водою.
5. По завершенню робіт з ізоляторами поповнити вимикач елегазом до абсолютного тиску 0,5 МПа або газовою сумішшю до 0,7 МПа.
6. Стан ущільнення на кришках рами контролюється візуально після їх зняття. При виявленні слідів води в швелері (коробі), розтріскування або викрашування полос резини, останнє повинне бути замінене.
7. Перевірку затяжки елементів кріплення на фланцях полюсів проводити в наступній послідовності – спочатку перевірити затяжку двох (будь-яких) діаметрально протилежних, потім послідовно-діаметрально протилежних елементів максимально віддалених від перевірених.
8. Для перевірки стану вісей передаточного механізму і їх мастила починати повільне вмикання вимикача, діючи відповідно вказівкам Керівництва по експлуатації приводу. «Підключити» вимикач на 15-20 мм по ходу тяг, встановити під диск відключаючої пружини скобу, після чого змінити

направлення обертання рукоятки редуктора. Рукоятку обертати (по часовій стрілці) до положення, при якому скоба виявиться зажатою між диском пружини і перегородкою короба рами, а дія відключаючої пружини на тяги передаточного механізму знімається.

Середні ремонти вимикача проводяться після 25 років його експлуатації і (або) по використанню механічних або комутаційних ресурсів вимикача.

Ступінь використання комутаційного ресурсу визначається роздільно для операцій вимикання і вмикання за формулою (3.1):

$$\sum_i \frac{k_i}{n_i} \leq 1 \quad (3.1)$$

де i – струм відключення або включення;

k_i - число операцій відключення або включення струму i ;

n_i - допустиме число операцій відключення при струмі i .

Необхідність проведення ремонту наступає в випадку, коли буде вичерпаний комутаційний ресурс по операціям відключення або по операціям включення.

Виконано 4 відключення і 2 включення при струмі 40 кА, 10 відключень і 5 включень при струмі 20 кА, 35 відключень і 17 включень при струмі 12 кА, 60 відключень при струмі 5 кА, 850 відключень і 110 включень при навантажувальному струмі 2500 А.

Оскільки по кількості операцій відключення комутаційний ресурс вичерпаний, ремонт варто проводити, незважаючи на те, що по кількості операцій включення комутаційний ресурс не вичерпаний.

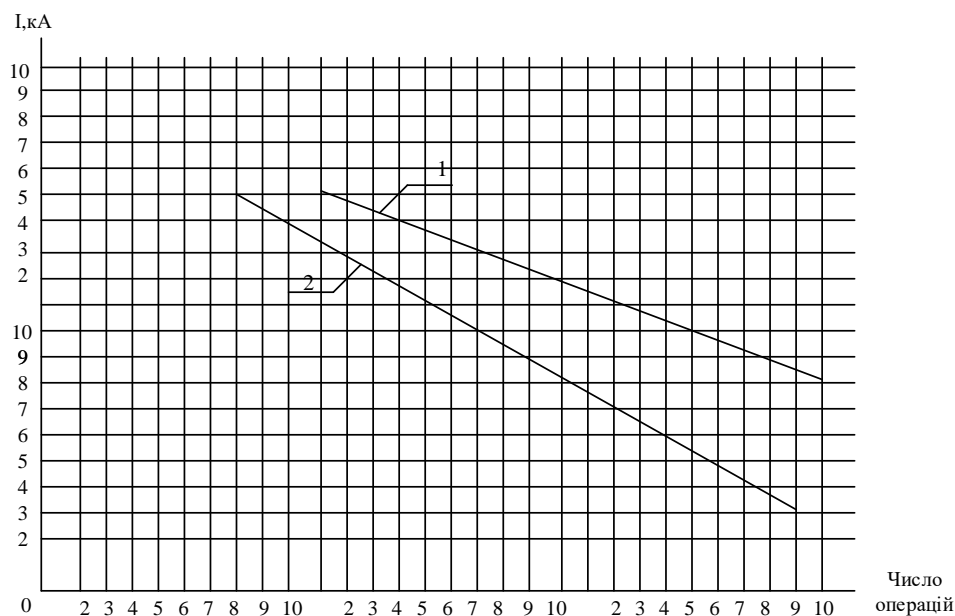
Позапланові середні ремонти можуть мати місце в випадку аварії або відмов які повторюються. Необхідність їх проведення визначається експлуатаційною організацією самостійно, або по узгодженню з підприємством – виробником.

Для кривої 1 (рис. 3.2):

$$\begin{aligned}
 K_{40} &= 4; K_{20} = 10; K_{12} = 35; K_5 = 60; K_2 = 850; \\
 n_{40} &= 20; n_{20} = 60; n_{12} = 150; n_5 = 600; n_2 = 2500; \\
 \sum_i \frac{ki}{ni} &= \frac{4}{20} + \frac{10}{60} + \frac{35}{150} + \frac{60}{600} + \frac{850}{2500} \geq 1.
 \end{aligned}
 \tag{3.2}$$

Для кривої 2:

$$\begin{aligned}
 K_{40} &= 4; K_{20} = 10; K_{12} = 35; K_2 = 850; \\
 n_{40} &= 20; n_{20} = 60; n_{12} = 150; n_2 = 2500; \\
 \sum_i \frac{ki}{ni} &= \frac{4}{20} + \frac{10}{60} + \frac{35}{150} + \frac{850}{2500} \leq 1.
 \end{aligned}
 \tag{3.3}$$



1 – для операцій відключення;

2 – для операцій включення.

Рисунок 3.2 – Залежність допустимого числа відключень і включень від струму

Середній ремонт проводиться з заміною полюсів на нові. При цьому полюси, що демонтуються (після відкачки з них елегазу або газової суміші) запо-

внюються азотом і відправляються на завод-виробник, де вони можуть бути відремонтовані.

3.4 Планування ремонтів

Для проведення ремонтних робіт повинна виконуватися наступна підготовка: підготовка виконавців ремонту, підготовка виробничих потужностей, технічна підготовка, конструкторська підготовка, технологічна підготовка.

3.4.1 Підготовка виконавців ремонту

Загальна кількість робочих, необхідних для виконання ремонту, залежить від кількості обладнання, що підлягає ремонту, трудомісткості (складності) ремонту кожної одиниці обладнання, витраченого на ремонт часу і режиму проведення ремонтних робіт (кількість змін, їх тривалість) [16].

Середньозмінна кількість робітників, що винуватимуть ремонт визначається за формулою:

$$r_{p.зм} = \frac{A_p \cdot 24}{T_{пр} \cdot n_{см} \cdot t_{см}}; \quad (3.4)$$

де $r_{p.зм}$ - середньозмінна кількість ремонтних робітників, людина;

A_p - сумарна трудомісткість, людино-годину;

$T_{пр}$ - тривалість простою, час;

$t_{см}$ і $n_{см}$ - відповідно, тривалість однієї зміни і їх кількість протягом однієї доби.

Організація виробничих бригад повинна здійснюватися з дотриманням таких основних вимог:

- в обов'язки бригади входить виконання всього технологічного процесу ремонту обладнання або його окремої частини;
- необхідно вести постійний облік і оцінку результатів роботи бригади і її окремих учасників;
- для ремонтного персоналу і його підготовки (стажування, навчання) висуваються ті ж вимоги, що і до експлуатаційного персоналу.

Для проведення ремонтних робіт по кожному вузлі основного обладнання повинна бути підготовлена повна технічна документація: паспорт обладнання, креслення, схеми, протоколи випробувань, кошторису витрат і креслення виготовлених деталей.

3.4.2 Підготовка виробничих потужностей

Структура ремонтних цехів і дільниць по ремонту обладнання повинна забезпечувати виконання робіт по плановим ремонтам і виготовлення деталей, що швидко зношуються.

На виробничих ділянках організуються робочі місця. В залежності від кількості осіб, займаних одне робоче місце, робочі місця поділяються на індивідуальні та групові.

Під робочим місцем розуміється зона трудової діяльності одного або кількох її виконавців, яка оснащена необхідними засобами і предметами праці, розміщеними в певному порядку.

Робочі місця ремонтників повинні забезпечувати працюючому найбільш сприятливі умови для виконання його посадових обов'язків, а саме:

- зручність робочої пози і можливість зміни поз під час роботи;
- організацію рухів, в мінімальному ступені утомляючих робочого;
- рівномірну і одночасну навантаження на обидві руки в уникненні викривлення хребта;
- наявність сидінь при положенні «сидячи» або «сидячи» - «стоячи»;

- оптимальну освітленість робочої зони, яка виключає різке світло, мерехтіння і потрапляння на зіницю виконавця прямих світлових променів;
- наявність допоміжних пристроїв для переміщення важких предметів;
- зручне розташування предметів, які очікують обробки або вже оброблені, а також інструментів і пристосувань.

Для робочих місць в закритих приміщеннях встановлені наступні нормативи: температура повітря - 18-20 ° С; вологість повітря - 40-60%; кратність провітрювання приміщення - 1: 1.

На робочих місцях повинні знаходитися якісний і продуктивний інструмент, технологічний інвентар, механізми.

Від робочих будь-яких категорій потрібно підтримку чистоти і порядку на робочому місці. В кінці кожної зміни робочими повинна проводитися прибирання робочого місця, обладнання, оснащення, інструментів і різних пристосувань.

3.5 Вибір вимикачів

Схема вибору вимикачів по номінальній напрузі, тривалого номінального струму та термічної стійкості повністю збігається зі схемою вибору вимикачів за цими параметрами. Деяка відмінність перевірки вимикачів на динамічну стійкість полягає в тому, що замість діючого значення ударного струму короткого замикання (КЗ) тут визначають початкове діюче значення періодичної складової струму КЗ, яке повинно бути не більше періодичної складової граничного наскрізного струму, гарантованого заводом і вміщеного в каталозі.

Наступним показником, що характеризує динамічну стійкість вимикача, є граничний миттєвий наскрізний струм, який повинен бути більше ударного струму КЗ [17].

Наступним показником, що характеризує придатність вимикача для установки в даній точці мережі, є вимикаюча здатність. Відповідно до ГОСТ 687-78 в даний час вимикаюча здатність вимикачів оцінюється не по повному струму

як це робилося раніше, а по номінальному періодичному струму відключення відносно аперіодичної складової струму в повному струмі (рис. 3.3):

$$\beta_n = \frac{I_a}{\sqrt{2}I_n}; \quad (3.5)$$

де I_n - діюче значення періодичної струму в момент розмикання контактів;

I_a - аперіодичний струм для цього ж моменту часу.

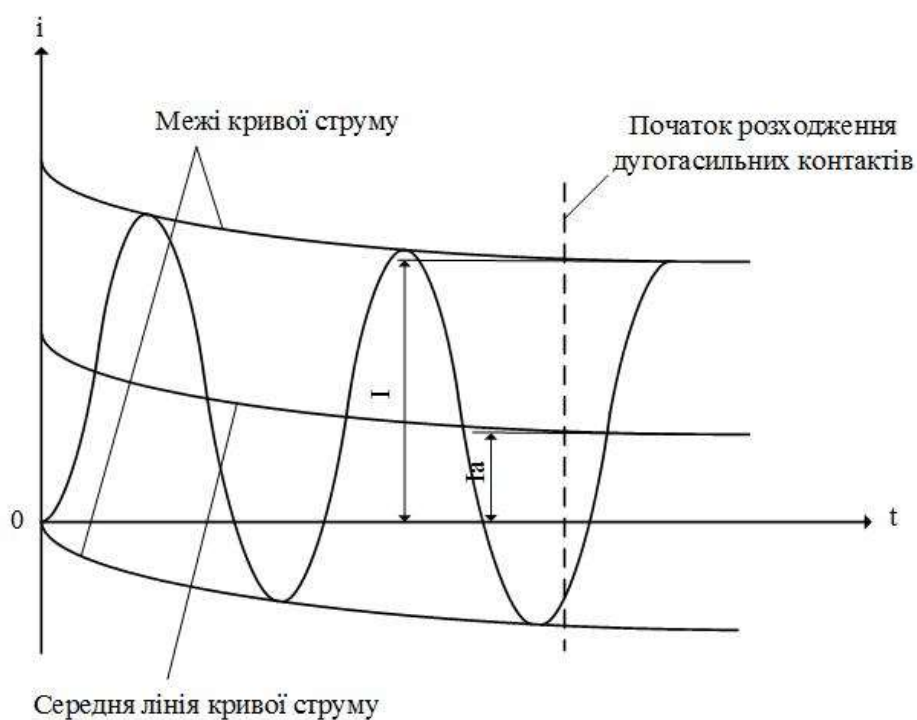


Рисунок 3.3 – Визначення періодичного і аперіодичного струмів в момент початку розходження контактів вимикача

Момент розмикання контактів визначається сумарним часом: власним часом відключення вимикача і власним часом захисту, яке здебільшого можна приймати рівним 0,01 с. Власний час відключення вимикача з приводом повинно знаходитися в межах: для надшвидкодіючих вимикачів - до 0,06 с; для шви-

дкодуючих вимикачів - від 0,06 до 0,08 с; для вимикачів прискореного дії - від 0,08 до 0,12 с; для не швидкодіючих вимикачів - від 0,12 до 0,25 с.

Після визначення необхідних параметрів необхідно правильно вибрати конструкцію вимикача, тому що при однакових параметрах вимикачі різної конструкції можуть мати різні технічні характеристики. Це питання вирішується шляхом техніко-економічного зіставлення вимикачів різної конструкції.

Висновки до третього розділу

В розділі розглянуто основні методи та засоби експлуатації електричних вимикачів, зокрема його монтаж та підготовка до роботи, можливі несправності. Оскільки вимикач має високі комутаційні та механічні ресурси і при правильній експлуатації може не потребувати ремонту до 25 років, проте періодично потрібно проводити технічне обслуговування вимикача, що також розглянуто в даному розділі. При плануванні, складанні та обґрунтуванні ремонту вимикача, варто звернути увагу як на підготовку виконавців ремонту, так і на підготовку виробничих потужностей.

4 ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РОБОТИ ЕЛЕГАЗОВИХ ВИМИКАЧІВ ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ

4.1 Дослідження проблеми якості елегазу

Забезпечення якості елегазу в електрообладнанні є одним з найбільш важливих елементів комплексної системи фізико-хімічного забезпечення працездатності елегазового обладнання. Проблема якості елегазу пов'язана з наявністю тих чи інших хімічних домішок в елегазі обладнання, які яким-небудь чином можуть впливати на його роботу. Нормативна вологість елегазу визначається точкою роси - 40°C . При залишковому тиску в вимикачі 0,6 МПа температура конденсації складе - $21,5^{\circ}\text{C}$. Це означає, що при більш низькій температурі вимикач працювати не повинен. Але суть проблеми полягає в тому, що навіть якщо в вимикач закачувати добре просушений елегаз, то дуже швидко може виявитися, що всі зусилля були марні, бо елегаз виявиться зволеним.

Задача, перш за все, полягає у розгляді суті проблеми і визначенні нормативних умов, які забезпечують необхідну якість елегазу в вимикачі. В цьому суть ідеології: в цілях забезпечення надійності, а також з економічної позиції вигідніше прийняти превентивні міри, створивши умови для забезпечення нормативів на весь термін експлуатації, ніж вирішувати ці питання в процесі експлуатації шляхом діагностичних випробувань. На це і направлена система забезпечення якості елегазу в електротехнічному обладнанні, створена на базі фізико-хімічних досліджень [18 – 24]: на розробку комплексу заходів у вигляді технічних вимог на всі стадії створення обладнання (конструювання, технологія виготовлення і процедури при підготовці до експлуатації), виконання яких неминуче призведе до вирішення проблеми забезпечення якості елегазу в обладнанні протягом всього терміну експлуатації.

Якість елегазу впливає на функціонування елегазового високовольтного електрообладнання. Надлишковий склад газоподібних домішок в елегазі може призвести до погіршення робочих характеристик і зниженню ресурсу облад-

нання, а в окремих випадках і до створення аварійної ситуації. Якість нового елегазу, який поступає на заповнення високовольтного обладнання, тобто якість товарного елегазу в заводській тарі, регламентується нормами Міжнародної електротехнічної комісії (МЕК) [25] (табл. 4.1).

Таблиця 4.1 – Вимоги МЕК до товарного елегазу

Нормуючі домішки	Допустима концентрація, %
CF ₄	0,05%
O ₂ + N ₂ , кисень	0,05%
Вода	15 ppm
Кислотність, виражена в [HF]	0,3 ppm
Гідроізолюючі фториди, виражені в [HF]	1 ppm

Елегаз, яким заповнене обладнання, розглядається як інша субстанція, хоча його якість може не відрізнятися від якості товарного елегазу. МЕК прийняла спеціальні (і по суті, більш спрощені) методи контролю елегазу, що знаходиться в електрообладнанні [26], проте комісія не розглядала питання про норми якості елегазу в електрообладнанні, вважаючи, що це питання повинне узгоджуватись безпосередньо між виробником і споживачем елегазового обладнання з урахуванням умов експлуатації.

4.2 Вибір нормованих параметрів

Домішки в обладнанні можна поділити на три групи : 1) домішки, що потрапили в обладнання з елегазом, 2) домішки, що залишились в обладнанні при підготовці до заповнення елегазом і 3) домішки, що утворилися в процесі роботи обладнання [27-31].

Домішки першої групи визначаються якістю товарного елегазу. Серед них основні: кисень, азот, чотирьохфтористий вуглець і вода.

Домішки другої групи – це компоненти атмосферного кисню, що залишились в обладнанні – кисень, азот і вода, як в газовому середовищі і на стінках вимикачу, так і в товщі ізоляційних матеріалів.

Домішки третьої групи – це фториди сірки, головним чином чотирьохфториста сірка і продукт її гідролізу – фтористий тіоніл. Утворені тверді фториди і сульфідні метали не входять в категорію домішок, що регламентуються якістю елегазу.

Розглянемо кожен компонент окремо і виявимо особливості його впливу на функціонування високовольтного вимикачу.

Кисень. Для не комутаційних вимикачів кисень являється нейтральною домішкою і хоч і володіє меншою ніж елегаз електричною міцністю, в межах нормованої концентрації практично не приводить до зниження електричної міцності елегазу. Кисень являється активним окиснювачем, але не реагує з шестифтористою сіркою, в якій атом сірки повністю окиснений більш сильним окиснювачем – фтором. Однак в реакціях рекомбінації уламків молекул, що утворились в дузі при комутації струму, атоми кисню приймають участь в якості конкуруючого з фтором окиснювача, в результаті чого утворюються фторокисні сірки. Таким чином, присутність кисню сприяє підвищенню ступеня розкладання шестифтористої сірки, хоча вважається, що значно більший вплив надає кисень, що розчинився в матеріалі дугогасильних контактів. Кисень потрапляє в обладнання разом із елегазом, яким проводять заповнення, атмосферним киснем, а також внаслідок дифузії через ущільнення.

Азот. Для всіх видів елегазових вимикачів азот являється інертним розчинником. Його вміст в обладнанні разом із іншими розчинниками, що мають меншу ніж елегаз електричну міцність, не повинен перевищувати межу, визначену заданою електричною міцністю ізоляційних проміжків. Він потрапляє в обладнання головним чином із залишковим повітрям і елегазом.

Чотирихфтористий вуглець. Електрична міцність його вища, ніж у азоту, але нижча ніж у елегазу. Чотирихфтористий вуглець в малих концентраціях під дією дуги не змінює свої хімічні властивості і в реакціях рекомбінації помітної участі не приймає. У випадку коли вуглець потрапляє в обладнання з елегазом, відбувається нагромадження у вмикачі за рахунок вигорання фторопластового сопла або лугоприймальних контактів і фторування інших органічних домішок.

Чотирьохфториста сірка. Може бути присутньою тільки в комутаційних вимикачах, так як утворюється в процесі дугогасіння і є відсутньою в початковому елегазі. Хімічно активне з'єднання, що викликає корозію матеріалів. Взаємодія чотирьохфтористої сірки з вологою призводить до утворення кислот, які різко підвищують точку роси елегазу.

4.3 Вплив процедури підготовки вимикача до заповнення на якісь елегазу в вимикачі

Підготовка вимикача до заповнення елегазом представляє собою комбінацію вакуумування і промивки його інертним газом з метою зниження концентрації домішок. Це стосується зниження концентрації домішок кисню і води для забезпечення відповідних параметрів якості елегазу. Процедура зводиться до видалення з вимикача повітря шляхом вакуумування, заповнення інертним газом (азотом) і повторному вакуумуванню з метою видалення азоту. Ця процедура одночасно призводить до надійного видалення з вимикачу повітря і його складових – кисню і води.

Розрахуємо концентрацію кисню, що залишився в обладнанні після всіх процедур. Концентрація кисню в повітрі визначається за виразом (4.1), $кг / м^3$:

$$\rho_6(C_{O_2} / 100), \quad (4.1)$$

де $\rho_e = 1,29 \text{ кг} / \text{м}^3$;

C_{O_2} - масова концентрація кисню в повітрі (23%). Після вакуумування до остаточного тиску ρ'_{ocm} , гПа або мбар, концентрація кисню складе, $\text{кг} / \text{м}^3$ (4.2):

$$1,29(23/100)(\rho'_{ocm} / 1000). \quad (4.2)$$

Промивка вимикача азотом з заповненням до тиску ρ_{N_2} , гПа, і наступним вакуумуванням до ρ''_{ocm} , гПа, приведе до значення концентрації (4.3), $\text{кг} / \text{м}^3$:

$$1,29(23/100)(\rho'_{ocm} / 1000)[\rho''_{ocm} / (\rho_{N_2} - \rho'_{ocm})]. \quad (4.3)$$

Після заповнення вимикача елегазом до щільності ρ_{SF_6} , $\text{кг} / \text{м}^3$, концентрація кисню складе (4.4):

$$C = C_{O_2}^{SF_6} + 1,29(23/100)(\rho'_{ocm} / 1000)[\rho''_{ocm} / (\rho_{N_2} - \rho'_{ocm})](10^6 / \rho_{SF_6}), \quad (4.4)$$

де $C_{O_2}^{SF_6}$ - концентрація кисню в вимикачі, що утворився внаслідок наявності кисню в самому елегазі.

Аналіз цього рівняння робить можливим визначити теоретичне значення концентрації кисню в обладнанні в залежності від виконаних при підготовці до заповнення процедур і від якості елегазу, використаного при заповненні [31-36].

Концентрація повітря може бути розрахована по аналогічному рівнянню, за виразом (4.5):

$$C_{нов} = C_{нов}^{SF_6} + 1290(\rho'_{осм}\rho''_{осм}) / [(\rho_{N_2} - \rho'_{осм})](\rho_{SF_6}), \quad (4.5)$$

де $C_{нов}^{SF_6}$ - концентрація шестифтористої сірки в самому елегазі, % - мас.

Розглянемо параметри елегазу під час експлуатації. Вважаємо, що при підготовці елегазовий вимикач відвакуувували до 10ГПа, заповнили азотом до 0,1 МПа, знову відкачали до 10 гПа і заповнили елегазом до 25 кг/м^3 . За цих початкових умов вміст шестифтористої сірки в початковому елегазі знизиться:

$$0,129(10 \cdot 10) / [(1000 - 10) \cdot 25] = 5,2 \cdot 10^{-4} \text{ (\% - мас.)}.$$

4.4 Дослідження зміни якості елегазу під час підготовки елегазового вимикача до експлуатації

Кількість домішок, що подається в вимикач з балону з товарним елегазом нормованої якості, залежить від наступних причин: від температури бака, від коефіцієнта заповнення балона, від положення балону – і все тому, що елегаз в балоні представлений двома фазами – рідиною і газом, тобто домішки розподіляються в них у відповідності до коефіцієнту термодинамічного розподілення, а нормуванню підлягає тільки фаза рідини [25].

Для розрахунків вмісту домішок в стандартному балоні з товарним елегазом використовуються рівняння балансу об'ємів і мас елегазу (4.6-4.7):

$$V = V_{Г} + V_{P}; \quad (4.6)$$

$$m = V_{Г}\rho_{Г} + V_{P}\rho_{P}; \quad (4.7)$$

де V, V_G, V_P - загальний об'єм, об'єм газової і рідинної фаз елегазу; m - загальна маса елегазу; ρ_G, ρ_P - щільність газової і рідинної фаз елегазу.

Звідси:

$$V_P = (m - V \rho_G) / (\rho_P - \rho_G); \quad (4.8)$$

$$V_G = (m - V \rho_P) / (\rho_P - \rho_G); \quad (4.9)$$

Домішки розподіляються в газовій і рідинній фазах елегазу. Але в рідинній фазі елегазу домішка нормується, тому маса домішки в рідинній фазі визначається на основі норми в технічних умовах на товарний елегаз і маси рідинної фази за виразом (4.10):

$$Q_P = 10^{-3} m_P C; \quad (4.10)$$

де C – нормована концентрація домішки в рідинній фазі. Тоді

$$Q_P = 10^{-3} C m_P (m - V \rho_G) / (\rho_P - \rho_G); \quad (4.11)$$

Концентрація домішки в газовій фазі визначається коефіцієнтом розподілення між газовою і рідинною фазами елегазу. Значення коефіцієнта розподілу для кисню, азоту і чотирьох фтористого вуглецю визначені рівнянням (4.12) в діапазоні температури від 0 до 40°C і при концентрації до 2% по масі в рідинній фазі.

$$K_{роз} = C_P / C_G = (Q_P / V_P) / (Q_G / V_G), \quad (4.12)$$

де Q_G - маса домішки в газовій фазі. Звідси

$$Q_G = (Q_P V_P) / (K_{роз} / V_P). \quad (4.13)$$

Оскільки

$$V_G = V - V_P = V - (m - V \rho_G) / (\rho_P - \rho_G), \quad (4.14)$$

$$Q_P / V_P = 10^{-3} C \rho_P, \quad (4.15)$$

то

$$Q_G = 10^{-3} C \rho_P [V - (m - V \rho_G) / (\rho_P - \rho_G)] / K_{роз}. \quad (4.16)$$

Загальна маса домішки в балоні

$$Q = Q_G + Q_P = 10^{-3} C \rho_P [V - (m - V \rho_G) / (\rho_P - \rho_G)] / K_{роз} + \\ + 10^{-3} C \rho_P [V - (m - V \rho_G) / (\rho_P - \rho_G)]$$

де V – об'єм балона, л; $\rho_{жс}$, ρ_G - щільність елегазу в газовій і рідинній фазах, кг/л; K_p - коефіцієнт розподілення щільності між фазами елегазу; C – концентрація домішки в рідинній фазі.

За початкових умов, що в стандартному балоні температура 20°C, об'єм балону 40 л, розподілення домішки буде відповідати приведеному в таблиці 4.2. Початкові дані для розрахунку наступні: $V=40$ л; $m=41,6$ кг (коефіцієнт заповнення балону - 1,04);

$$\rho_G = 0,1915 \text{ кг/л}; \quad \rho_P = 1,3908 \text{ кг/л};$$

$$C_{O_2} = 100 \text{ ppm} - \text{мас}; \quad C_{N_2} = 400 \text{ ppm} - \text{мас}; \quad C_{CF_4} = 500 \text{ ppm} - \text{мас};$$

$$C_{H_2O} = 15 \text{ ppm} - \text{мас};$$

$$K_{роз}^{O_2} = 1,02; K_{роз}^{N_2} = 0,81; K_{роз}^{CF_4} = 2,08; K_{роз}^{H_2O} = 3;$$

$$V_p = 28,30 \text{ л}; m_p = 39,36 \text{ кг}; V_r = 11,7 \text{ л}; m_r = 2,24 \text{ кг}.$$

З таблиці 4.2 видно, що концентрація домішок в газовій фазі висока, а чистота елегазу складає 99,39% %, але основна доля домішок складає рідинну фазу. Тому повне виведення елегазу з балону незначно відображається на вміст основного компонента і домішок в порівнянні з нормованим значенням. При іншій температурі відповідно розподілення виявиться іншим.

Таблиця 4.2 – Кількість нормуючих домішок і розподілення по фазам в стандартному елегазовому балоні при температурі 20°C

Домішка	Всього	В газовій фазі		В рідинній фазі		Концентрація при повному виведенні
	$Q, \text{ г}$	$Q_r, \text{ г}$	$C_r, \text{ ррт-мас.}$	$Q_{ж}, \text{ г}$	$C_{ж}, \text{ ррт-мас.}$	
Кисень	5,531	1,595	712	3,936	≈ 100	133
Азот	23,780	8,036	3587	15,744	≈ 400	572
4хф вуглець	23,592	3,912	1746	19,680	500	567
Вода	0,672	0,082	36,6	0,590	15	16,2
Вміст SF6, %			99,39%		99,9%	99,87%

4.5 Вплив вологи ізоляційних матеріалів на якість елегазу в вимикачіві

Якщо концентрація води визначена в вагових одиницях, г/кг, то маса води може бути визначена за виразом (4.17):

$$Q = C_{H_2O} V \rho_{SF_6}, \quad (4.17)$$

де V - об'єм вимикачу, m^3 ;

ρ_{SF_6} - щільність елегазу в обладнанні, kg/m^3 ;

Якщо вологовміст заданий абсолютною вологістю, то використовуємо вираз (4.18)

$$Q = AV. \quad (4.18)$$

Маса води в ізоляційному матеріалі за умови його повного насичення може бути визначена як добуток маси ізоляційного матеріалу на його граничний вологовміст (4.19).

$$Q = (q_k - a_k^0 / 100)1000 = 10q_k a_k^0. \quad (4.19)$$

Граничний вологовміст деяких ізоляційних матеріалів, отриманий експериментально, приведений в таблиці 4.3.

Якщо ізоляційний матеріал рівномірно насичений водою при відносній вологості, то маса води буде рівна (4.20):

$$Q = 10Bq_k a_k^0. \quad (4.20)$$

Таблиця 4.3 – Вологовміст ізоляційних матеріалів при повному і рівномірному насиченні і температурі 20°C (тиск атмосферний)

Ізоляційний матеріал	Вологовміст, % від маси
Компаунд КЕ-3 (наповнювач SiO2)	0,35
Компаунд КФ-1 (наповнювач CaF2)	0,42

Продовження таблиці 4.3

Ізоляційний матеріал	Вологовміст, % від маси
Компаунд КФ-4 (наповнювач Al ₂ O ₃)	0,46
Склотекстоліт	0,02
Лавсан-текстоліт	0,03
Фторопласт-4	0,006

Однак оскільки дифузійний процес в твердому матеріалі протікає дуже повільно, для реальних ізоляторів необхідно враховувати не лінійність розподілення концентрації води по товщині ізолятор, а динаміку цього процесу [35-40].

Визначимо час досягнення рівномірного розподілення води в шарі ізолятора, товщиною 0,5; 1 і 4 см. Коефіцієнт дифузії приймемо рівним $2 \cdot 10^{-9} \text{ см}^2 / \text{с}$.

Повному насиченню ізолятора відповідає $\chi = 10$ [28].

$$t = \chi d^2 / \pi D. \quad (4.21)$$

Значення d по визначенню – половина товщини. Тоді

для $2d=0,5$ $t = [10(0,5/2)^2] / [\pi \cdot 2 \cdot 10^{-9} \cdot 3600 \cdot 24 \cdot 365] = 3$ роки;

для $2d=1$ $t=12,6$ років;

для $2d=4$ $t=200$ років;

Визначимо відносну інтегральну адсорбцію ізоляційного матеріалу товщиною 2см ($D = 2 \cdot 10^{-9}$) за 0,5, 10, 20 і 30 років.

за 0,5 роки $\chi = \pi \cdot 2 \cdot 10^{-9} \cdot 3600 \cdot 24 \cdot 365 \cdot 0,5 / (2/2)^2 = 0,1$;

за 10 років $\chi = 1,98$;

за 20 років $\chi = 3,96$;

за 30 років $\chi = 5,94$;

З рисунку 4.1 знаходимо насичення ізоляційного матеріалу від максимально можливого, % для отриманих значень нормалізованого часу, та заносимо дані в табл. 4.4

Таблиця 4.4 – Насичення ізоляційного матеріалу від максимально можливого

χ	a / a_s
0,1	20
1,98	80
3,96	95
5,94	97

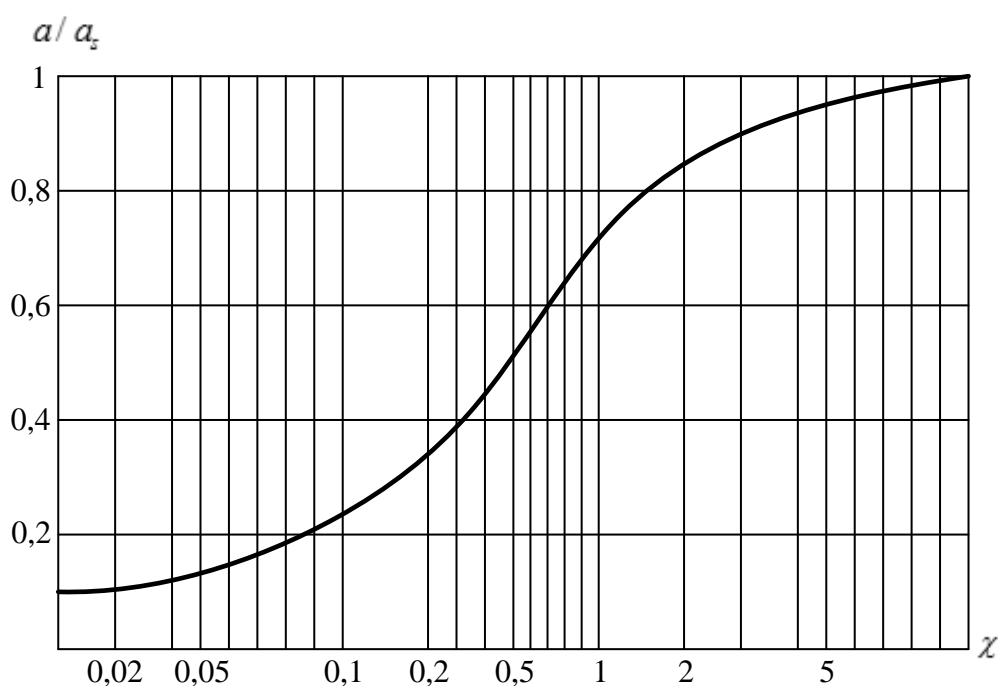


Рисунок 4.1 – Залежність відношення інтегральної адсорбції (a) від адсорбції при повному насиченні (a_s) від нормалізованого часу χ (не залежачи від температури)

Далі визначимо вологовміст ізоляторів з КФ-4 товщиною 0,5, 1, 2 і 4 см при зберіганні їх протягом 6 місяців в сховищі з відносною вологістю 40% ($B=0,4$).

Знаходимо χ і a/a_s по графіку (рис.4.1).

для 0,5 см $0,46 \cdot 0,4 \cdot a/a_s = 0,46 \cdot 0,4 \cdot 0,7 = 0,129$ $a/a_s = 0,7$;

для 1 см $\chi = 0,4$; $a/a_s = 0,4$;

для 2 см $\chi = 0,1$; $a/a_s = 0,2$;

для 4 см $\chi = 0,025$; $a/a_s = 0,1$;

Граничний вологовміст КФ-4 (табл. 4.3) складає 0,46 г води на 100 г компаунду. При 40% відносній вологості рівномірний вологовміст складав би $0,46 \cdot 0,4$ г води на 100 г компаунду. З урахуванням нерівномірного розподілення вологовміст ізоляторів буде рівний $0,46 \cdot 0,4 \cdot a/a_s = 0,46 \cdot 0,4 \cdot 0,7 = 0,129$ г води на 100 г компаунду при його товщині 0,5 см; при товщині 1 см – 0,074; при товщині 2 см – 0,037; при товщині 4 см – 0,018.

4.6 Визначення тиску в вимикачеві для нижньої і верхньої границь температури навколишнього середовища

Вважаємо, що вимикач був заповнений елегазом при температурі 20°C до абсолютного тиску 0,25 МПа. Знаходимо відповідну точку на рис.4.2. Лінія постійного об'єму (ізохора), що приходить в цю точку, дозволяє визначити питомий об'єм елегазу $\nu = 65$ $\text{дм}^3 / \text{кг}$ і щільність, що являється його оберненою величиною ,

$$\rho = 1/\nu = 1/65 = 15,4 \text{ кг} / \text{м}^3.$$

Якщо вимикач не має витоків елегазу, то зміни температури вимикача і відповідно тиск елегазу в ньому буде проходити при постійному об'ємі, тобто по ізохорі. Переміщуючись по ізохорі $\nu = 65$ $\text{дм}^3 / \text{кг}$ вправо і вліво від початкової точки, визначимо інтервал тиску в вимикачі. Так для мінімальної робочої

температури -40°C (ліворуч по ізохорі до $t=-40^{\circ}\text{C}$) абсолютний тиск впаде до $0,193\text{ МПа}$, а для максимальної робочої температури 80°C (праворуч по ізохорі до $t=80^{\circ}\text{C}$) підніметься до $0,3\text{ МПа}$.

Розрахунок щільності елегазу при частинній конденсації або сублімації буде наступним: вимикач призначений для використання до температури -60°C . По лінії насичення від температури -44°C опускаємося до значення -60°C і розраховуємо відповідне цій точці значення питомого об'єму, що рівне $\nu = 89\text{ дм}^3 / \text{кг}$. Відповідно щільність складає $\rho = 1000 / 89 = 11,2\text{ кг} / \text{м}^3$. Необхідно врахувати ту обставину, що номінальна щільність елегазу буде зберігатися тільки до температури -44°C , а далі буде знижуватися за рахунок конденсації. Нижче температури $-50,8^{\circ}\text{C}$ рідина затвердіє і щільність елегазу буде знижуватись за рахунок сублімації.

Номінальна щільність вибирається з умов електричної міцності. Але вона повинна відповідати умовам роботи вимикача. Якщо задана нижня межа робочої температури і зниження щільності заборонено, то пошук номінальної щільності здійснюється по кривій насичення. Наприклад, нижня межа робочої температури рівна -40°C . Відповідна ізохора - $\nu = 34\text{ дм}^3 / \text{кг}$ або $\rho = 29,4\text{ кг} / \text{м}^3$, тобто номінальна щільність не може бути вибрана більше ніж $29,4\text{ кг} / \text{м}^3$.

Визначимо тиск, до якого необхідно заповнити вимикач елегазом, щоб отримати номінальну щільність $29,4\text{ кг} / \text{м}^3$, якщо температура при заповненні дорівнює 30°C . Знаходимо точку перетину ізохори $\nu = 34\text{ дм}^3 / \text{кг}$ з ізотермою $t=30^{\circ}\text{C}$. Цій точці відповідає абсолютний тиск $0,48\text{ МПа}$. Таким чином, щоб забезпечити номінальну щільність елегазу $29,4\text{ кг} / \text{м}^3$ при температурі 30°C , необхідно заповнити вимикач елегазом до тиску $0,48\text{ МПа}$.

Далі проводимо визначення нижньої межі робочої температури вимикача, заповненого сумішшю елегазу з азотом (9:1 по об'єму) до тиску $0,4\text{ МПа}$ при 22°C .

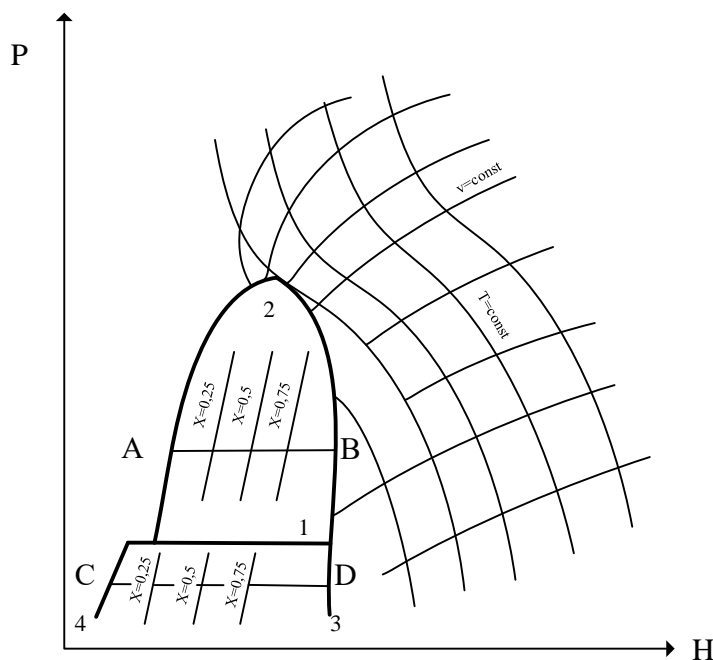


Рисунок 4.2 – p, H – діаграма стану речовини

Парціальний тиск елегазу складає $0,4 \cdot 0,9 = 0,36$ МПа. Знаходимо на діаграмі точку, що відповідає тиску $0,36$ МПа і температурі 22°C . Ця точка потрапить на ізохору $\nu = 45 \text{ дм}^3 / \text{кг}$. Прослідкуємо за ізохорою $\nu = 34 \text{ дм}^3 / \text{кг}$ ліворуч до кривої насичення. Точка перетину приходиться на ізотерму $t = -47^\circ\text{C}$. Відповідно, нижня межа температури навколишнього середовища рівна $t = -47^\circ\text{C}$ для даного вимикачу при умові, що зниження електричної міцності газоподібного діелектрика недопустимо.

Більш точно, ніж це може дозволити діаграма, вирішення питання про стан газоподібного елегазу потребує або аналітичного вирішення, або табличних даних. Для ідеальних газів параметри тиск – об'єм – температура (p , V і T) описуються рівнянням Менделєєва – Клапейрона

$$pV = nRT$$

або

$$pv_m = RT, \quad (4.22)$$

де n – число молей; v_m - мольний об'єм; R - універсальна газова постійна;

При переході до реальних газів цей закон не виконується. Для відновлення рівності запобігають різні штучні емпіричні методи. Введення поняття стискання Z являється одним з них. Міра невідповідності ρv_m значенню RT визначається як стискання

$$Z = \rho v_m / RT. \quad (4.23)$$

Частіше за все стискання, як міра відхилення від стану ідеального газу, виражається за допомогою ряду віріальних коефіцієнтів (4.24):

$$\rho v_m / RT = 1 + B_{(T)}/v_m + C_{(T)}/v_m^2 + D_{(T)}/v_m^3. \quad (4.24)$$

Якщо для першого наближення обмежитись другим віріальним коефіцієнтом, то отримаємо (4.25):

$$\rho v_m / RT = 1 + B_{(T)}/v_m, \quad (4.25)$$

вираженим емпірично як функція від температури (4.26):

$$B_{(T)} = B_0 - A/RT - C/T^3 \quad (4.26)$$

Рівняння стану елегазу набирає вигляду (4.27):

$$\rho v_m / RT = 1 + B_0/v_m - A/RTv_m - C/T^3v_m. \quad (4.27)$$

Враховуючи, що для елегазу $v_m = 0,1460544 / \rho$, де ρ виражена в $кг / м^3$ і $R = 8,3144 \cdot 10^{-6}$ МПа $\cdot м^3 / моль \cdot К$, отримуємо рівняння стану елегазу в розгорнутому вигляді (4.28):

$$p = 5,69267 \cdot 10^{-5} T \rho + 10^{-8} T \rho^2 - 4,9878 \cdot 10^{-5} \rho^2 - 0,4833 \rho^2 / T^2, \quad (4.28)$$

де p – тиск, МПа; T – температура, К; ρ – густина, $кг / м^3$.

Це рівняння, базується на трьох емпіричних коефіцієнтах (A , B_0 , C) та дозволяє розрахувати значення тиску елегазу по відомим значенням щільності і температури, в той час як розрахунок щільності і температури по ньому ускладнений.

Рівняння Беті – Бриджмента являється одним з широко відомих варіантів кореляції параметрів стану газу

$$p v_m^2 = RT(B + v_m) - A, \quad (4.29)$$

де коефіцієнти A і B виражаються емпірично як функції від мольного об'єму $B = 0,366(1 - 0,1236/v_m)$ і $A = 15,78(1 - 0,1062/v_m)$. Отримуємо рівняння стану (4.30):

$$p = 5,69267 \cdot 10^{-5} T \rho [1 + 2,506 \cdot 10^{-3} \rho - 2,121 \cdot 10^{-6} \rho^2] - 7,3974 \cdot 10^{-5} \rho^2 - 5,3788 \cdot 10^{-8} \rho^3, \quad (4.30)$$

де p – тиск, МПа; T – температура, К; ρ – густина, $кг / м^3$.

Рівняння Беті – Бриджмена дозволяє розрахувати як p , так і T з двох відомих параметрів, але розрахунок щільності з цього рівняння ускладнений. Для розрахунку щільності газоподібного елегазу пропонується наступний емпіричний вираз (4.31):

$$p = \frac{17600}{T / p - 10^7 (104,08 - 66p + 1,72 \cdot 10^{-2} \rho^2 + 60\rho^2) / T^3}, \quad (4.31)$$

де p – тиск, МПа; T – температура, К; ρ – густина, $\text{кг} / \text{м}^3$.

Рівняння (4.28) по точності поступається рівнянням (4.30-4.31), але цієї точності цілком достатньо для багатьох практичних вирішень.

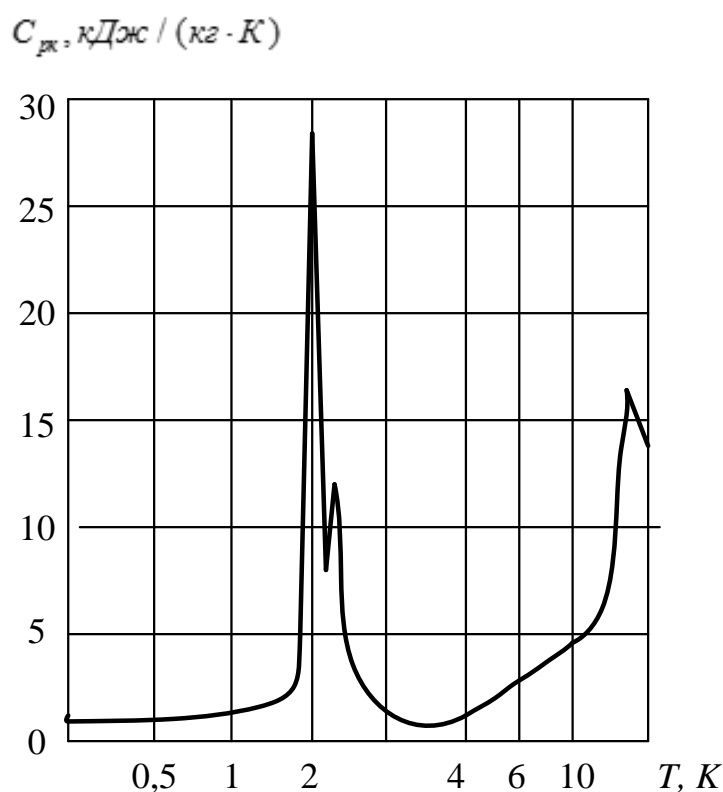


Рисунок 4.3 – Залежність питомої теплоємності від температури при атмосферному тиску

Запропоновані для розрахунку параметрів стану рівняння (4.30) і (4.31) приблизно оцінюють стан газоподібного елегазу. Так, за рівнянням (4.31) в інтервалі тиску від 0,1 до 1 МПа і температури від -40 до 300°C середня помилка виявлення щільності складає 0,33% (максимальна помилка 1,5%). Область розрахунку з більшою неточністю може бути розширена до температури 1000°C . Рекомендований інтервал параметрів для розрахунку по рівнянню (4.30) скла-

дає: по температурі - до 100°C і по щільності – до $487 \text{ кг} / \text{м}^3$. Рекомендований інтервал параметрів по рівнянню (4.28): по температурі - від 0 до 1000°C і по щільності – до $100 \text{ кг} / \text{м}^3$.

Для більш широкого діапазону параметрів пропонується використовувати дані по стисканню шестифтористої сірки, представлені в табл. 4.5. При цьому щільність може бути розрахована за рівнянням (4.32):

$$p = 17566,417 p / ZT. \quad (4.32)$$

Для розрахунку процесу дугогасіння необхідні відомості про теплоємність елегазу. Залежність теплоємності від температури має складну форму (рис. 4.3). Деякі значення теплоємності при постійному тиску для газоподібного і рідкого елегазу на лінії насичення і газоподібного і твердого елегазу при постійному тиску представлена в табл.4.5. Ізобарна теплоємність для нормального тиску може бути визначена за рівнянням (4.33):

$$c_p = 914,29 + 0,1204T - 25,8316 \cdot 10^{-6} T^{-2}. \quad (4.33)$$

Приведена до одиниці маси теплоємність елегаза менша, ніж у повітря. Однак, приведена до одиниці об'єму, вона більше ніж в три рази вища теплоємності повітря. Ізохорна теплоємність має ту ж форму залежності від температури. Значення ізохорної теплоємності для нормального тиску може бути обчислена за рівняннями (4.34-4.35):

$$c_v = 855 + 0,12T - 25,8316 \cdot 10^{-6} T^{-2} \quad \text{для } 273 \leq T \leq 1400; \quad (4.34)$$

$$c_v = 10^3 \{ 0,4 + 4,1 \cdot 10^{-4} T + 14,5 \exp[-(T - 2000) / 200]^2 + 6,3 \exp[-(T - 2450) / 160]^2 \} \quad \text{для } 1400 \leq T \leq 5000. \quad (4.35)$$

Таблиця 4.5 – Ізобарна теплоємність твердого і рідкого елегазу на лінії фазового перетворення в газоподібний стан

Параметр	Твердий стан			Рідкий стан	
	Температура, °С	-73	-63	-53	-47
Тиск, кПа	54,1	106,6	197,3	262,4	307,6
Теплоємність, Дж/(кг·К)	712	800	1260	758	816

4.7 Дослідження розчинності елегазу в воді

Розчинність води в рідкому елегазі при атмосферному тиску і температурі 17,5°С складає 2,7 мг на 100 г елегазу. Розподілення домішок в елегазі між рідкою і газоподібною фазами відбувається в відповідності до термодинамічного коефіцієнта розподілення (4.36):

$$K_{роз} = C_p / C_g, \quad (4.36)$$

де C_p і C_g - концентрація домішок в рідкій і газоподібній фазах відповідно виражена кількістю домішки на одиницю об'єму. Коефіцієнт розподілення кисню, азоту і чотирьохфтористого вуглеця в елегазі був визначений в діапазоні температури від 0 до 40°С і концентрації до 2% по масі в рідкій фазі. Отримані експериментально значення можуть бути апроксимовані загальним рівнянням (4.37):

$$K_p = A \exp(B/T) + bC_{ж}, \quad (4.37)$$

де C_p - концентрація компонента в рідкій фазі, А, В і b – константи, після підстановки яких отримуємо:

для кисню

$$K_{роз}^{O_2} = 0,1991 \exp(471,1803 / T) + 2,1871 \cdot 10^{-4} C_{р}^{O_2}; \quad (4.38)$$

для азоту

$$K_{роз}^{N_2} = 0,2126 \exp(381,0673 / T) + 0,8129 \cdot 10^{-4} C_{р}^{N_2}; \quad (4.39)$$

для чотирьохфтористого вуглецю

$$K_{роз}^{CF_4} = 0,0038 \exp(1844,55 / T) + 0,535 \cdot 10^{-4} C_{р}^{CF_4}. \quad (4.40)$$

Не дивлячись на щільність молекули елегазу, підвищення температури, яке має місце в комутаційному вимикачі при горінні дуги, призводить до дисоціації молекули. При цьому різко змінюються такі характеристики, як теплоємність, теплопровідність. Розклад SF₆ починається за температури, яка перевищує 1600К. За температури 1900К концентрація SF₆ помітно падає, а концентрація SF₄ досягає свого максимуму. При температурі 2100 К максимального значення досягає концентрація SF₂. В цій області температури і аж до 15000 К основна доля частин приходить на F. З підвищенням температури до 2000 К збільшується вміст атомів сірки, а після 5000 К починають утворюватись позитивні іони S⁺, S⁺⁺, F⁺ і електрони, які і складають основну масу частинок при температурі більше 20000 К.

Початок розкладу елегазу характеризується появою піку теплопровідності на залежності останньої від температури.

4.8 Дослідження елегазу під дією електричних розрядів

Вплив електричних розрядів на елегаз є негативним: під дією електричних розрядів з хімічно інертної сірки утворюються досить агресивні хімічні

з'єднання. Поява хімічно агресивних продуктів, що мають місце перш за все в комутаційних вимикачах, поставило перед електротехнікою по крайній мірі три нових задачі: необхідність створення стійких до продуктів розкладу елегазу матеріалів, вивчення способів і засобів видалення продуктів розкладу і необхідність вирішення санітарно – гігієнічних проблем – оскільки всі продукти розкладу шестифтористої сірки, що утворилися являються сильно отруйними речовинами. Для вирішення цих задач перш за все необхідно було встановити хімічну природу речовин, виникаючих внаслідок розрядів в елегазі, і визначити глибину відповідних хімічних перетворень.

Питання розкладу шестифтористої сірки, так як механізмам розкладу, присвячено багато робіт [29]. Труднощі з ідентифікацією хімічних з'єднань привела до великої плутанини в цьому питанні. В ряді випадків кінцеві продукти хімічних реакцій приймалися за первинні продукти розкладу елегазу. Тим не менш, в наш час думку по цим питанням можна вважати сформованою [30]. В якості первинних продуктів розпаду чистої шестифтористої сірки в електричних розрядах можна розглядати тільки фтор, чотирьохфтористу і двофтористу сірки. Всі інші хімічні з'єднання являються наслідком вторинних реакцій.

Склад продуктів розкладу елегазу в багатому залежить від типу розряду, від виду взаємодії, а степінь розкладу знаходиться в залежності від енергії розрядів і рівня забруднення зони розвитку заряду. Дуговий, іскровий і коронний – це ті види розрядів, які так чи інакше можуть мати місце в елегазовому високовольтному обладнанні.

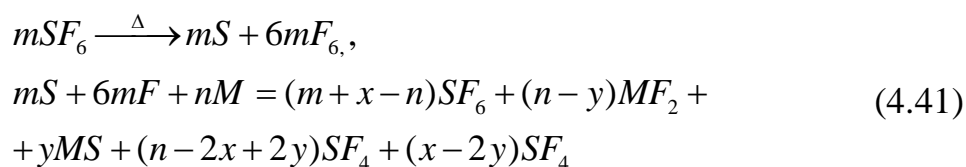
Дуга загорається на дуго приймальних контактах, виготовлених, як правило, з мідь-вольфрамової композиції, обдувається елегазом, потік якого формується в фторопластовому соплі. Енергія дугового розряду при струмі до 100 кА, при напрузі на дузі в декілька сотень вольт і тривалості горіння дуги від 50 до 150 мс може досягати 10^7 Дж, а температура в стволі дуги – до 20000 К. В таких умовах шестифториста сірка повністю дисоціює. Але в цьому і склада-

ється суть дугогасіння: енергія розряду поглинається і розсіюється потоком елегазу.

Іскровий розряд протікає за короткий проміжок часу – мікросекунди. Енергія іскрового розряду не перевищує сотні джоулів на розряд. Іскровий канал набагато вузчий, ніж дуговий, а розподілення температури по діаметру каналу набагато крутіший.

Коронний розряд і часткові розряди являються наслідком ненормальних процесів в електротехнічному обладнанні, пов'язаних з забрудненням елегазу і твердої ізоляції, недопустимої шорсткості полеобразних електродів або попаданням сторонніх частинок і предметів в електричне поле. Енергія імпульсу цих розрядів мала ($10^{-6} - 10^{-3}$ Дж), але внаслідок тривалості дії сумарна енергія розрядів може досягати десятків кДж.

Відмінною особливістю дугового розряду являється приближення температури газу до температури електронів. Виникнення плазмового ствола з температурою до 20000 К визначає існування шестифтористої сірки у вигляді уламків молекули (з'єднань, елементів, іонів і електронів) у відповідності до термодинамічної рівноваги. Молекула шестифтористої сірки повністю дисоціює, але по мірі виходу з зони дуги її уламки вступають в реакції рекомбінації, які при відсутності яких – небудь сторонніх домішок призведуть до практично повного синтезу початкової шестифтористої сірки. Схематично ці процеси можна зобразити таким чином (4.41):

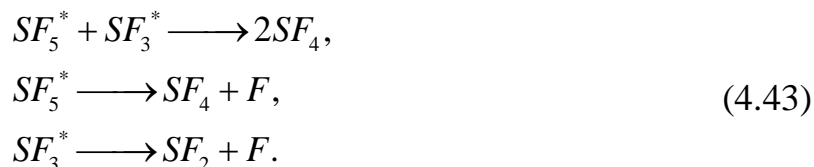


Коронний розряд характеризується невідповідністю температури газу і температури електронів: в той час як енергія електронів може досягати 10 eV, температура газу залишається низькою. Енергія електронів значно перевищує

енергію зв'язку $SF_5 - F$, і механізм електронного удару буде перевищувати над іншими механізмами розкладу молекули SF_6 в цій нерівномірній системі. Дисоціацію під дією електронного удару можна представити наступною схемою (4.42):



Виникнувши нестійкі з'єднання типу SF_5^* і SF_3^* або самостійно, або під дією сусідніх молекул переходять в стійкі з'єднання – чотирьох- і двофтористу сірки (4.43):



Оскільки ці хімічні реакції, ініційовані електронним ударом, протікають в газі при звичайній температурі, то вони проходять необоротно, так як в цих умовах фторування вільним фтором неможливе. При цьому основним продуктом розкладу являється SF_4 (і фтор), так як в основному протікає тільки перша стадія, а утворившийся збуджений радикал SF_5^* тут же розпадається з утворенням F і SF_4 .

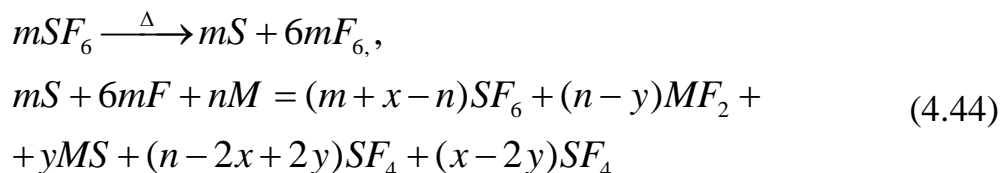
Іскровий розряд володіє і тими, і іншими властивостями, і в залежності від його енергетичних параметрів по взаємодії на шестифтористу сірку він може приближуватися як до дугового, так і до коронного розрядів. Малий час протікання розряду і малі об'єми гарячих зон не дозволяють досягти рівномірного стану плазми. У випадку малої енергії іскровий розряд по продукуванню

продуктів розкладу може бути близький до коронного розряду, фактично взаємодіючи на середовище по типу електронного удару. По мірі росту енергії іскровий розряд по типу взаємодії на шестифтористу сірку буде наближатися до дугового розряду.

При відсутності впливу на хід процесу розкладу шестифтористої сірки матеріалів електродів і домішок в елегазі електричні розряди призведуть до утворення фтору і нижчих фторидів сірки: чотирьох- і двухфтористої сірки – в якості основних первинних продуктів розкладу [39]. Теоретичний питомий вихід продуктів розпаду на одиницю розсіяної енергії в дуговому розряді може бути дуже малим через реакцію рекомбінації, в той час як іскровий і особливо коронний розряди, ініціюючи незворотні реакції, можуть постачати велику питому кількість продуктів розкладу, головним чином - SF_4 .

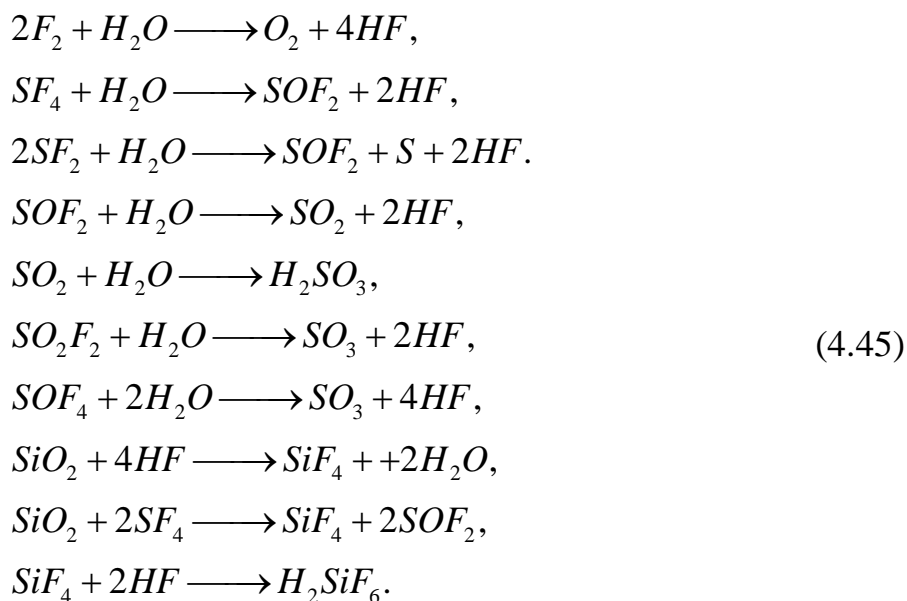
Умови реального протікання розрядів в електротехнічному обладнанні відрізняються від тих, які описані вище як теоретичні або чисті. З однієї сторони, елегаз забруднений домішками, з іншої – розряди формуються на реальних електродах. І то, і інше вносить вагомі поправки в хімічні процеси. Потрапляння сторонніх атомів в сферу дії розряду різко знижує можливості процесу рекомбінації в зоні виходу з дуги. Основними домішками в самому елегазі, що реально впливають на процес розкладу шести фтористої сірки і на перетворення первинних продуктів, що утворилися, являються кисень і вода [31-33].

Основний вплив на напрямок хімічних процесів в дуговому розряді надає матеріал електродів. Горіння дугового розряду на реальних електродах визначає їх ерозію, випаровування металу і залучення його в виді пару і капель в зону розряду. Присутність парів металу різко міняє картину процесів розкладу. Частина фтору пов'язується парами металу, визначаючи його недостатність в порівнянні зі стехіометричними співвідношеннями і в зв'язку з цим утворення недофторованих з'єднань сірки в реакціях рекомбінації (4.44):



Символом М позначено як метал електродів, так і інші домішки, що взаємодіють з фтором. Фториди і сульфід металу випадають в вигляді мало дисперсного порошку, насиченого газоподібними продуктами розкладу. При застосуванні в якості електродів композиції з вольфрамом серед первинних продуктів розкладу можна припускати появу газоподібного гексафториду вольфрама.

Нижчі фториди сірки, що утворилися в умовах недостатності фтору в дуговому розряді і в умовах нерівномірних реакції в коронному і іскровому розрядах, взаємодіють з газоподібними домішками в обладнанні, виробляючи цілу гаму отруйних вторинних хімічних продуктів. Являючись активним хімічним з'єднанням, що утворилось під дією розрядів розрядів нижчі фториди сірки і фтор в процесі розподілення по всьому об'ємі елегазу, так і на поверхності твердих конструкційних елементів, виробляючи серію вторинних продуктів (4.45):



Оскільки всі ці процеси розвертаються в виході зі стволу дуги, то будь які первинні і вторинні продукти реагують в будь-якій комбінації з будь – якими домішками. Тому більш інертний в порівнянні зі фтором кисень також активно приймає участь в реакціях окиснення.

Коронний розряд, що являється наслідком неправильної конструкції або збірки, що виявляється при його випробуваннях на стадії розробки обладнання або на стадії його підготовки до експлуатації. З підвищеним рівнем струмів витоку обладнання до експлуатації не допускається.

Теплова стійкість елегазу є досить великою. В присутності активних металів елегаз починає розкладатися при 150°C. Вище температури 200°C від реагує з багатьма металами з утворенням фторидів і сульфідів. Присутність вологи посилює ці процеси. Тим не менш, навіть при 650°C за 90 годин не знайдені ніякі продукти розкладу в контейнері з нержавіючої сталі. Присутність ізоляційних та інших конструктивних матеріалів посилює стан. В нормально працюючому елегазовому обладнанні з температурою нижче 100°C шестифториста сірка проявляє себе термічно стійкою і хімічно стабільним газом. Відповідно розрахунку за 27, 5 роки при температурі 140°C можна очікувати власного розпаду 5% елегазу, що набагато краще аналогічного показника стійкості.

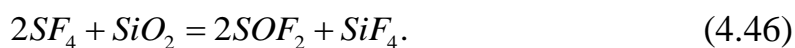
У відмінності від шестифтористої сірки всі нижчі фториди – хімічно активні і токсичні речовини [39]. Так що проблема видалення продуктів розкладу з газового середовища вимикача являється альтернативою проблемі захисту обслуговуючого персоналу від дії отруйних речовин при усуненні наслідків аварії і ревізіях.

4.9 Вибір конструктивних матеріалів для елегазових вимикачів

Питання розробки нових матеріалів для роботи в елегазі і стійкості традиційних матеріалів, що раніше використовувалися в електрообладнанні до продуктів розкладу елегазу постало в зв'язку з створенням комутаційних вимикачів, де розклад шестифтористої сірки обумовлено процесом комутації струму.

В високовольтних вимикачах, де елегаз виконує тільки ізоляційні функції, ніяких спеціальних заходів по захисту матеріалів від будь-якого хімічного впливу можна і не передбачати, так як середовище елегазу являється більш інертним, ніж середовище традиційного газового діелектрика – повітря. Заходи для обмеження використання конструкційних матеріалів або для їх захисту розповсюджуються тільки на вимикачі, в яких розклад елегазу регламентовано по їх призначенню, або в яких можуть потрапляти продукти розкладу. Тим не менш, у відповідності з останніми тенденціями спеціальні матеріали для ізоляційних виробів, призначені для роботи в середовищі продуктів розкладу, використовуються у всіх видах елегазових вимикачів без залежності від передбачуваного середовища. І для цього є дві причини. Перша – забезпечення уніфікації, і друга – забезпечення працездатності вимикачу в випадку виникнення часткових розрядів.

Головний продукт розкладу шестифтористої сірки – чотирьохфториста сірка – досить агресивне хімічне з'єднання, що являється сильним фторуєчим агентом, легко взаємодіє з окиснями, а при гідролізі продукує плавикову кислоту. Утворення настільки реакційного середовища ставило під сумнів можливість застосування традиційних ізоляційних матеріалів. Дійсно, зазвичай компаунд, який застосовується, наповнений кварцевим борошном виявився непридатним для виготовлення твердих ізоляторів в елегазовому вимикачі: чотирьохфториста сірка легко реагує з окиснем кремнію, видозмінюючи поверхню ізолятора:



Як ізоляційний виріб компаунд в середовищі продуктів розкладу шестифтористої сірки швидко переходить в непридатність. Таке ж хімічне перетворення відбувається зі звичайним фарфором. Для вирішення питання про матері-

али комутаційних вимикачів знадобилося знайти методи оцінки стійкості конструкційних матеріалів до реакційного середовища.

Оскільки головним і найбільш агресивним компонентом серед продуктів розкладу являється чотирьохфториста сірка, то перш за все оцінка стійкості матеріалів повинна виконуватися по цьому компоненту.

Існування продуктів розкладу шести фтористої сірки в газовій ізоляції вимикача обмежується розміщенням адсорбційного поглинача. Широке дослідження рівня розкладу елегазу в комутаційних вимикачах, з однієї сторони, а з іншої – вивчення динаміки адсорбції продуктів розкладу спеціальними приладами – фільтрами-поглиначами, - дозволити визначити рівень впливу продуктів розкладу елегазу на матеріали комутаційного вимикача, виразивши його у вигляді сумарної взаємодії, рівного добутку концентрації сірки на час впливу в годинах. Комутація струму 31,5 кА в вимикачі на 110 Кв, взятому для прикладу, приводить до утворення 0,04% чотирьохфтористої сірки, що при об'ємі вимикача $0,8 \text{ м}^3$ і тиску в вимикачі 0, 56 МПа відповідає концентрації чотирьохфтористої сірки, що впливає на матеріали вимикачу становить 0, 014 г в літрі об'ємі вимикачу. Враховуючи дію поглинача, що при призначеному ресурсі вимикача – 20 відключень струму короткого замикання – і при умові лінійного спаду концентрації відповідає сумарному впливу на матеріали вимикача (4.47):

$$20 \cdot 48 \cdot 0,014 / 2 = 6,8 \text{ (год} \cdot \text{г / л)}. \quad (4.47)$$

Для вимикача 220 кВ сумарний вплив по даним аналізу складає 4,2 (год·г/л). Для вимикачів нижчих класів напруги 6 – 10 кВ з їх невеликими об'ємами рівень хімічного впливу вищий. Розрахунки показують, що максимальне значення сумарного впливу продуктів розкладу на деталі вимикача за весь період нормальної експлуатації при повній обробці ресурсу ні при яких обставинах не повинен перевищувати 10 (год·г/л).

Реальні корозійні випробування при виборі матеріалів для вимикачів здійснювали при більш підвищеному рівні сумарного впливу сірки і в ряді випадків при підвищеній температурі. Кінцевим випробуванням матеріали піддавались безпосередньо в реальному середовищі вимикача. Випробування виконувались для всіх видів матеріалів: ізоляційних, конструкційних, матеріалів покриття, матеріалів ущільнення [34-39].

Особливу увагу виділено ізоляційним матеріалам, по причині особливої функціональної значимості. А при виборі методів оцінки впливу середовища на матеріали переважала зміна електричних характеристик поверхні.

Випробування наповнювачів природнім матеріалів (фтористий кальцій, сіркокислий кальцій, воластоніт, муліт, електрокорунд, окис і гідроокис алюмінія) були відобрані два: фтористий кальцій і окис алюмінія у вигляді електрокорунда. Компаунди з цими наповнювачами склали основу матеріалів для твердої ізоляції елегазових вимикачів і отримали назву серії КФ – стійких до фтористих з'єднань.

Компаунд зі фтористим кальцієм інертний до дії середовища продуктів розкладу елегазу. Компаунд КФ-4 (на основі електрокорунда) не може розглядатись як абсолютно стійкий до впливу чотирьохфтористої сірки, так як її взаємодія з окисом алюмінія можлива, але в значній мірі залежить від форми кристалів: окис алюмінія в виді електрокорунда практично не реагує з чотирьохфтористою сіркою. Компаунд КФ-4 кваліфікується як стійкий. Він витримує значне перевищення сумарного впливу при температурі до 150°C. Його відмінність від компаунда КФ-1 (на основі фтористого кальцію) зазначається в більшій механічній міцності, але при цьому його механічна обробка викликає визначені складності.

При випробуваннях конструкційних металічних матеріалів зверталась увага на зовнішній вигляд і питомі вагові характеристики, по яким розраховувалась швидкість корозії і глибина проникнення хімічного впливу

Випробування металів, сплавів і їх покриття [36, 37] показали, що дія корозії не спостерігається на нікелі і нержавіючій сталі, а також на сталі марок

Ст-3КП, Ст-20, Ст-10ХК і Ст-60С2, хоча адсорбція продуктів розкладу на їх поверхні може досягати величини 0,45 мг/см. Поверхня алюмінієвих сплавів, в тому числі і силуміна, також залишається чистою. Найкращим захистим покриттям являється нікелювання: воно захищає поверхню, що пошкоджене корозією міді і її сплавів. Хімічне оксидування сталі створює покриття, яке стійке до дії продуктів розкладу, так як і хімічне пасивування азотної кислоти латуном Л-59 і Л-63. Покриття, отримане цинкуванням, кадмінуванням і анодним оксидуванням не витримують вплив реакційного газового середовища. Всі випробування лак офарбованого покриття на металах виявились стійкими.

Конструкційні металічні матеріали для електричного обладнання варто розглядати в рамках трьох категорій: метали, що несуть механічне навантаження, метали для поле подібних поверхонь і метали для струмопровідних поверхонь. Метали, що несуть механічне навантаження, повинні зберігати свої міцнісні властивості до кінця експлуатації вимикачу. Оцінка матеріалів цієї категорії може виконуватись по величині глибини корозії. Метали, з яких виготовлені деталі, що визначають формування електричного поля, не повинні забруднюватись або утворювати плівки, змінюючи картину поля і створюючи збільшення напруги електричного поля. Ці метали можуть бути розцінені по зміні зовнішнього вигляду. Метали третьої категорії – для струмоведучих контактів – повинні мати чисті, не забруднені поверхні з мінімальними адсорбційними показниками, але головне в них – незмінність опору контактного переходу струмоведучих елементів.

Що стосується матеріалів першої категорії, то розрахунок показує, що для всіх випробуваних матеріалів навіть при самій несприятливій оцінці корозія може досягнути декілька десятків мікронів в рік, що не представляє ніякої небезпеки в міцнісному плані. Таким чином, корозійне середовище, що містить продукти розкладу шестифтористої сірки, які накопичуються в результаті вироблення ресурсу, не обмежує застосування металів для деталей, що несуть механічне навантаження (наприклад деталей кріплення).

В якості матеріалів для струмознімальних контактів можна рекомендувати нікельовану мідь. Практика показує, що застосування сріблення на рухомих контактах є актуальним, не дивлячись на попередні протипоказання. Це обумовлено специфікою роботи рухомого контакту: в процесі роботи відбувається його самоочистка.

В зв'язку з розробкою високовольтних вимикачів з застосуванням рідкої шестифтористої сірки в якості ізоляції виникає задача визначення впливу рідкого елегазу на матеріали конструкції. Молекула елегазу термодинамічно стійка, і середовище шестифтористої сірки хімічно інертне. Але перехід до використання рідкої шестифтористої сірки викликає необхідність дослідження її активності як розчинника, тобто дослідження набухання і розчинення в ній органічних матеріалів, що використовуються в якості покривних матеріалів та матеріалів ізоляції і ущільнення. В зв'язку з цим було досліджено велику групу матеріалів [42]: гуми, компаунди, поліуретани, фторопласт, лавсан, поліетилен, емаль, лаки. Вплив рідкого елегазу на зразки цих матеріалів може протікати по двом напрямкам:

- 1) Розчинення елегазу в зразках (зі збільшенням маси зразка, з набуханням);
- 2) Розчинення матеріалу або його інгредієнтів в рідкому елегазі (зі зменшенням маси зразка).

Можна припустити, що ці процеси конкурують і в різних матеріалах проявляють в різній мірі. Наприклад фторопласт характеризується набуханням до 15% від початкового об'єму, а деякі сорти гуми (НО-68, В-14) і лавсан втрачають масу. Відшарування лакофарбних покриттів від металічної основи не спостерігались. В загальному поведінка матеріалів в рідкому елегазі показало, що елегаз не являється активним розчинником і не викликає істотних фізико – хімічних змін полімерних матеріалів. Тому можна припускати, що застосування рідкої шестифтористої сірки не буде викликати обмеження у відповідності використання конструкційних матеріалів.

Висновки до четвертого розділу

В даному розділі проведено дослідження елегазу в електрообладнанні з метою забезпечення його якості. Розглянуто основні нормовані параметри, які впливають на ефективну роботу газового середовища.

Якщо порівнювати існуючі матеріали твердої ізоляції елегазового обладнання, то фторопласт 4 і склотекстоліт являються найбільш доцільними у використанні, тому що їх вологовміст від маси елегазу при повному і рівномірному насиченні і температурі 20°C являється найменшим – 0,006 і 0,02 відповідно.

Для того, щоб отримати номінальну щільність 29,4 кг/м³ балону елегазу, при температурі 30°C, , необхідно заповнити вимикач елегазом до тиску 0,48 МПа.

5 ОБГРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ ЕЛЕГАЗОВИХ ВИМИКАЧІВ

5.1 Визначення поточних витрат

Необхідно провести порівняння двох варіантів із застосуванням елегазових вимикачів ВГТ-110 У1 і МКП-110 У1.

Вартість обладнання: - вимикач ВГТ-110 – 456 000 гривень; вимикач МКП-110 – 342 000 гривень.

Для розрахунку поточних витрат вихідними даними служать технічні параметри та експлуатаційні показники. Необхідний набір показників визначається в залежності від особливостей об'єктів, технічних засобів, їх призначення, цілей, які повинні бути досягнуті. Склад поточних витрат визначається відповідно до номенклатури витрат по основній діяльності залізниць, промислових підприємств і прийнятим порядком калькуляції собівартості.

5.2 Розрахунок заробітної плати

Заробітна плата визначається шляхом безпосереднього розрахунку, виходячи з потрібної кількості працівників, їх кваліфікації, прийнятої системи оплати праці, тарифних ставок і посадових окладів. На підставі періодичності проведення обслуговування вимикачів (див. табл. 4.1) визначимо річні витрати на оплату праці персоналу, що обслуговує вимикач.

Розрахунок заробітної плати здійснюється на основі єдиних тарифних ставок і окладів, які визначаються виходячи з мінімальної заробітної плати.

Вартість 1 години праці електромонтера визначимо за формулою:

$$Z_{\text{монт}} = \left(\frac{T_m}{t_m} \cdot K_N \right) \cdot (1 + K_{II} + K_T) \quad (5.1)$$

де T_m - мінімальний розмір оплати праці робітника, прийнятий 3611 грн; t_m - середньомісячна норма робочого часу 164,17 годин; K_N - тарифний коефіцієнт n-го розряду (для електромонтера IV розряду дорівнює 1,89, для V-го – 2,12; K_{II} - розмір премії 25%; K_T - коефіцієнт доплат за важкі умови праці, рівний 10%;

Таблиця 5.1– Норми часу на ремонт ВГТ-110, МКП-110

Вид ремонту	Періодичність проведення обслуговування	Склад бригади	Норма часу, людина - година
ВГТ-110			
Поточний ремонт	1 раз в 5 років	ст. ел. мех – 1 ел.мех. – 1 ел. монт. – 1(IV)	10, 86
Капітальний ремонт	1 раз в 25 років	ст. ел. мех – 1 ел.мех. – 1 ел. монт. – 2(IV)	76,1
Профілактичні випробування	1 раз в 10 років	ст. ел. мех – 1 ел.мех. – 1(V) ел. монт. – 1(IV)	14,2
МКП-110			
Поточний ремонт	1 раз в 2 років	ст. ел. мех – 1 ел.мех. – 1 ел. монт. – 1(IV)	6, 82
Капітальний ремонт	1 раз в 12 років	ст. ел. мех – 1 ел.мех. – 1 ел. монт. – 2(IV)	59,7
Профілактичні випробування	1 раз в 4 роки	ст. ел. мех – 1 ел.мех. – 1(V) ел. монт. – 1(IV)	11,58

$$Z_{\text{монтV}} = \left(\frac{3611}{164,17} \cdot 2,12 \right) \cdot (1 + 0,25 + 0,1) = 62,951 \text{ (грн / год)}$$

$$Z_{\text{монтIV}} = \left(\frac{3611}{164,17} \cdot 1,89 \right) \cdot (1 + 0,25 + 0,1) = 56,121 \text{ (грн / год)}$$

Виходячи із годинної тарифної ставки вартість 1 години праці електромеханіка підстанції розраховується за формулою:

$$Z_{\text{мех}} = \frac{T_N}{t_m} \cdot (1 + K_{\text{II}} + K_T) \quad (5.2)$$

де T_N - місячний оклад оплати праці робітника, для електромеханіка – 7,750 грн, для старшого електромеханіка – 9,650 грн;

t_m - середньомісячна норма робочого часу 164,17 годин;

K_T - коефіцієнт доплат за важкі умови праці, рівний 10%;

K_{II} - розмір премії 25%;

$$Z_{\text{стмех}} = \frac{9650}{164,17} \cdot (1 + 0,25 + 0,1) = 79.354 \text{ (грн / год)}$$

$$Z_{\text{мех}} = \frac{7750}{164,17} \cdot (1 + 0,25 + 0,1) = 63.73 \text{ (грн / год)}$$

Для розрахунку річних витрат на обслуговування вимикача скористаємося формулою:

$$Z = \frac{Z_{\text{нгод}} \cdot \frac{T_n}{N}}{T_{\text{об}}} \quad (5.3)$$

де $T_{\text{об}}$ - періодичність проведення обслуговування;

T_n - типова норма часу;

N - кількість членів бригади.

Обчислимо річні витрати з обслуговування вимикача:

- на поточний ремонт:

$$Z_{ПРЕ} = \frac{(Z_{пстмех} + Z_{пмех} + Z_{пмонтIV}) \cdot \frac{T_n}{N}}{T_{об}} = \frac{(79,354 + 63,73 + 56,121) \cdot \frac{10,86}{3}}{5} = 144,224 \text{ (грн)};$$

$$Z_{ПРМ} = \frac{(Z_{пстмех} + Z_{пмех} + 2 \cdot Z_{пмонтIV}) \cdot \frac{T_n}{N}}{T_{об}} = \frac{(79,354 + 63,73 + 56,121) \cdot \frac{6,82}{3}}{2} = 226,43 \text{ (грн)};$$

- на капітальний ремонт:

$$Z_{КАПЕ} = \frac{(Z_{пстмех} + Z_{пмехV} + Z_{пмонтIV}) \cdot \frac{T_n}{N}}{T_{об}} = \frac{(79,354 + 63,73 + 2 \cdot 56,121) \cdot \frac{76,1}{4}}{25} = 194,303 \text{ (грн)};$$

$$Z_{КАПМ} = \frac{(Z_{пстмех} + Z_{пмех} + 2 \cdot Z_{пмонтIV}) \cdot \frac{T_n}{N}}{T_{об}} = \frac{(79,354 + 63,73 + 2 \cdot 56,121) \cdot \frac{59,7}{4}}{12} = 317,562 \text{ (грн)};$$

- на профілактичні випробування:

$$Z_{ПВЕ} = \frac{(Z_{пстмех} + Z_{пмехV} + Z_{пмонтIV}) \cdot \frac{T_n}{N}}{T_{об}} = \frac{(79,354 + 63,73 + 56,121) \cdot \frac{14,2}{3}}{10} = 94,29 \text{ (грн)};$$

$$Z_{ПВМ} = \frac{(Z_{пстмех} + Z_{пмехV} + Z_{пмонтIV}) \cdot \frac{T_n}{N}}{T_{об}} = \frac{(79,354 + 63,73 + 56,121) \cdot \frac{11,58}{3}}{4} = 192,233 \text{ (грн)};$$

Загальні затрати на обслуговування вимикачів складають:

$$Z_E = 144,224 + 194,303 + 94,29 = 432,817 \text{ (грн)};$$

$$Z_M = 226,43 + 317,562 + 192,233 = 736,225 \text{ (грн)}.$$

Відрахування на соціальні потреби складають 30,4% від заробітної плати:

$$Z_{\text{Есоц}} = 432,817 \cdot 0,304 = 131,576 \text{ (грн)};$$

$$Z_{\text{Мсоц}} = 736,225 \cdot 0,304 = 223,812 \text{ (грн)}.$$

5.3 Розрахунок затрат на матеріали при капітальному та середньому ремонті

Сума затрат дорівнює 10% від вартості обладнання:

$$Z_p = \frac{C_0 \cdot 0,1}{T_{OB}}, \quad (5.4)$$

де Z_p - затрати на ремонт;

C_0 - вартість обладнання;

T_{OB} - строк служби обдданання, що дорівнює 25 років для МКП і 30 років для ВГТ.

Обрахуємо затрати на матеріали:

$$Z_{p\text{ВГТ}} = \frac{456000 \cdot 0,1}{30} = 1520 \text{ (грн)};$$

$$Z_{p\text{МКП}} = \frac{342000 \cdot 0,1}{25} = 1368 \text{ (грн)};$$

5.4 Порівняння показників впровадження

Проведемо порівняння варіантів модернізації по приведеним затратам.

Приведені затрати для ВТГ:

$$Z_{np}^{ВТГ} = \frac{2084,393 \cdot (1-0,2)}{(1+0,12+0,03)^1} + \frac{2084,393 \cdot (1-0,2)}{(1+0,12+0,03)^2} + \frac{2084,393 \cdot (1-0,2)}{(1+0,12+0,03)^3} + \frac{2084,393 \cdot (1-0,2)}{(1+0,12+0,03)^4} +$$

$$+ \frac{2084,393 \cdot (1-0,2)}{(1+0,12+0,03)^5} + \frac{2084,393 \cdot (1-0,2)}{(1+0,12+0,03)^6} + \frac{2084,393 \cdot (1-0,2)}{(1+0,12+0,03)^7} + \frac{2084,393 \cdot (1-0,2)}{(1+0,12+0,03)^8} = 7482,673 \text{ (грн)};$$

Приведені затрати для МКП:

$$Z_{np}^{МКП} = \frac{2328,037 \cdot (1-0,2)}{(1+0,12+0,03)^1} + \frac{2328,037 \cdot (1-0,2)}{(1+0,12+0,03)^2} + \frac{2328,037 \cdot (1-0,2)}{(1+0,12+0,03)^3} + \frac{2328,037 \cdot (1-0,2)}{(1+0,12+0,03)^4} +$$

$$+ \frac{2328,037 \cdot (1-0,2)}{(1+0,12+0,03)^5} + \frac{2328,037 \cdot (1-0,2)}{(1+0,12+0,03)^6} + \frac{2328,037 \cdot (1-0,2)}{(1+0,12+0,03)^7} + \frac{2328,037 \cdot (1-0,2)}{(1+0,12+0,03)^8} = 8357,32 \text{ (грн)};$$

Результати розрахунків зведені в таблицю 5.2:

Таблиця 5.2 – Порівняння показників впровадження в експлуатацію ви-
микачів

Показники	МКП-110	ВТГ-110
Вартість обладнання, грн	342000	456000
Затрати праці на ТР, грн	226,43	144,224
Затрати праці на КР, грн	317,562	194,303
Відрахування на соціа- льні служби, грн/рік	223,812	131,576
Затрати на матеріали в процесі експлуатації, грн/рік	1368	1520
Експлуатаційні витра- ти, грн/рік	2328,037	2084,393
Приведені витрати, грн/рік	8357,32	7482,673

Висновки до п'ятого розділу

В даному розділі проведено порівняння показників застосування масляних і електричних вимикачів. Приведені витрати на застосування масляного вимикача складають 8357,32 грн/рік, а витрати на застосування електричного вимикача становлять 7482,673 грн/рік. По розрахункам видно, що електричний вимикач простіший і дешевший в експлуатації, в порівнянні з масляним. Для впровадження на підстанції виберемо сучасне, надійне і більш просте в експлуатації електричне обладнання - вимикач ВГТ-110 У1.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

6.1 Задачі розділу

Враховуючи те, що для мінімізації ризику професійного захворювання та травматизму працівників що займаються питаннями експлуатації елегазових вимикачів, пов'язаних з діагностикою їх стану в темпі процесу вимагає вирішення цілого комплексу питань з охорони праці, тому сформулюємо основні задачі охорони праці за темою МДР:

1. Провести аналіз умов праці при виконанні робіт, пов'язаних з діагностикою сисем охолодження силових трансформаторів, які працюють у складі електроенергетичної системи України, за міждержавним ГОСТ12.0.003-74 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация».

2. Розробити організаційно-технічні рішення з охорони праці при експлуатації елегазових вимикачів напругою 110-330 кВ. Розрахувати параметри заземлюючого пристрою для підстанції 330 кВ.

3. Визначити області працездатності електричної підстанції 330кВ в умовах дії загрозливих чинників НС.

Кожна людина в Україні має право на охорону праці. Гарантії прав на охорону праці починаються вже з моменту обговорення та укладання трудової угоди, оскільки згідно ст. 5 Закону «Про охорону праці» умови трудового договору не можуть містити положень, що суперечать законам та іншим НПАОП. Під час укладання трудового договору роботодавець повинен проінформувати працівника під розписку про умови праці та про наявність на його робочому місці небезпечних і шкідливих виробничих факторів, які ще не усунуто, можливі наслідки їх впливу па здоров'я та про права працівника на пільги і компенсації за роботу в таких умовах.

Працівнику не може пропонуватися робота, яка за медичним висновком протипоказана йому за станом здоров'я. До виконання роби підвищеної небез-

пеки та тих, що потребують професійного добору, допускаються особи за наявності висновку психофізіологічної експертизи.

В приміщенні є небезпечні і шкідливі виробничі фактори. Відносно наступних з них в проекті передбачені рішення з охорони праці:

Фізичні:

-небезпечний рівень напруги в електричній мережі, замикання якої може пройти через тіло людини;

-підвищена або знижена відносна вологість повітря;

-підвищена або знижена температура повітря робочої зони;

-підвищена або знижена швидкість руху повітря.

-підвищена запиленість повітря в робочій зоні;

-недостатня освітленість робочої зони;

-недостача природного світла;

Психофізіологічні:

-статичні (розумове напруження, перенапруга аналізаторів, монотонність праці, емоційні перевантаження).

6.2 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкта

Експлуатація електричного обладнання висуває ряд специфічних вимог з охорони праці як при роботі з чистим електриком, так і з електриком, забрудненим продуктами його розкладання (наприклад, при ремонтах з розкриттям полюсів вимикачів, які комутованого струми К.З. або навантажувальні струми).

Відповідно з ГОСТ 12.1.013-78 умови праці в КРП за ступенем небезпеки ураження працівників електричним струмом є умовами з підвищеною небезпекою, тому що підлога у приміщеннях є струмопровідною.

Згідно із ГОСТ 12.1.030-81, в якості захисту від ураження робочого персоналу електричним струмом застосовується заземлення. Крім того безпека експлуатації при нормальному режимі роботи забезпечується застосуванням ізолювальних пристроїв, огороженням струмоведучих частин, використанням малих напруг. Особи, що обслуговують електроустановки повинні користуватися ЗІЗ - спецвзуття, рукавиці. Засоби захисту необхідно періодично випробувати, їх слід захищати від механічних пошкоджень, впливу факторів, що погіршують їх діелектричні властивості.

Загальні вимога безпеки до виробничого обладнання встановлені згідно з ГОСТ 12.2.003-74, в якому визначені вимоги до основних елементів конструкції, органів управління і засобів захисту, які входять в конструкцію виробничого обладнання любого виду і призначення.

Перед допуском до роботи на комутаційних вимикачах з дистанційним керуванням слід виконати такі технічні заходи:

- відключити силові кола приводу, кола оперативного струму і кола підігріву;
- закрити і замкнути на замок засувки на трубопроводі подачі повітря в баки вимикачів або на пневматичні приводи і випустити в атмосферу елегаз, що в них є, в цьому разі спускні пробки (клапани) залишаються у відкритому стані;
- привести в неробочий стан вантаж або пружини, що вмикають комутаційні вимикачі;
- вивісити плакати «Не вмикати! Працюють люди» на ключах дистанційного керування і «Не відкривати! Працюють люди» на закритих засувках.

Для пробних вмикань і вимикань комутаційного вимикача під час його налагоджування і регулювання допускається у випадку, якщо ще не здано наряд, тимчасове подавання напруги в кола оперативного струму і силові кола приводу, в кола сигналізації і підігрівання, а також подавання повітря в привод і на вимикач.

Встановлення знятих запобіжників, вмикання відключених кіл і відкриття засувки під час подавання елегазу, а також зняття на час випробування плакатів «Не вмикати! Працюють люди» і «Не відкривати! Працюють люди» здійснюють оперативні працівники або з їх дозволу керівник робіт. Дистанційно вмикати або вимикати комутаційний вимикач для випробування дозволяється особі, яка проводить налагодження чи регулювання, або за її вимогою оперативному працівнику.

Після випробування, в разі необхідності продовження роботи на комутаційному вимикачі, оперативним працівником або, з його дозволу - керівником робіт слід виконати технічні заходи, що вимагаються для допуску до роботи.

Підніматися на елегазовий вимикач, що перебуває під робочим тиском, дозволяється тільки в разі проведення випробувальних і налагоджувальних робіт (регулювання демпферів, зняття віброграм, під'єднання або від'єднання провідників від вимірювальних приладів, визначення місць витоку повітря тощо).

Підіймання на відключений елегазовий вимикач з газонаповненим відокремлювачем забороняється в усіх випадках, коли відокремлювач перебуває під робочим тиском.

Вологонепроникність (герметичність) елегазових вимикачів перевіряється за умови пониженого тиску відповідно до заводських інструкцій.

Перед підійманням на елегазовий вимикач для випробування і налагодження необхідно:

- вимкнути кола оперативного струму;
- заблокувати кнопку місцевого керування та пускові клапани (наприклад від'єднати повітропровідні трубки, замкнути шафи тощо) чи поставити біля вимикача проінструктованого члена бригади, який допускав би до оперування вимикачем (після вмикання оперативного струму) тільки одного визначеного працівника за вказівкою керівника робіт.

В разі перебування персоналу на вимикачі, що перебуває під тиском, припиняються всі роботи в шафах керування і розподільчих.

Під час вимикання і вмикання елегазових вимикачів у разі перевірок, налагодження і випробування присутність людей біля вимикачів не допускається.

Команду на виконання операцій вимикачем керівник робіт з випробування і налагодження (або уповноважений ним член бригади) може подати після того, як члени бригади будуть відведені від вимикача на безпечну відстань або в укриття.

Перед допуском до роботи, пов'язаної з перебуванням людей всередині повітрозбірників, необхідно:

- закрити засувки на всіх повітропроводах, якими може бути подане повітря, замкнути на замок, вивісити на засувках плакати «Не відкривати! Працюють люди»;

- випустити повітря, що перебуває під тиском в повітрозбірнику, залишивши відкритими пробку в його верхній частині і спускний клапан;

- від'єднати від повітрозбірника повітропровід подавання повітря і встановити на ньому заглушки,

Нульове показання манометрів на баках вимикачів і повітрозбірників не може слугувати достовірною ознакою відсутності стисненого повітря, спускні пробки (клапани) або засувки дозволяється закривати тільки після загвинчування всіх болтів і гайок, що кріплять кришку лазу,

Компресорну установку слід обслуговувати згідно з «Правилами будови і безпечної експлуатації стаціонарних компресорних установок, повітропроводів і газопроводів» працівнику з групою ІІІ, закріпленому за цією установкою.

Електропривод насосів, вентиляторів, іншого обладнання повинний бути виконаний відповідно до Правил устрою електричних установок.

В установках напругою до 1 кВ огороження роблять суцільними. Безпечні відстані між огороженнями і не ізольованими струмоведучими частина-

ми регламентується ПУЕ і в установках до 1 кВ із суцільними огороженнями - 5см. Висота розміщення не огорожених струмоведучих частин залежить від значення напруги і рівня підготовки людей, що працюють з електроустановками. Струмоведучі частини напругою до 1 кВ у місцях, де працюють люди, висота розміщення повинна бути не менше 3,5 м. Постійний контроль за ізоляцією, тому що протягом часу відбувається старіння ізоляції, що може привести до пробію і створити небезпеку при дотику людини до ізольованих проводів. Використовують наступні кольори для маркування ізоляції: чорна - для силових ланцюгів; червона - для ланцюгів керування.

Обов'язкова установка захисного заземлення та захисного відключення. При роботі з електроустановками використовуються основні і додаткові електрозахисні засоби. До основних відносяться: ізолюючі штанги; ізолюючі і струмовимірювальні кліщі; слюсарно-монтажні інструменти з ізолюючим руків'ям. До додаткових відносяться: діелектричні рукавички; переносне заземлення; огорожуючі пристосування; плакати та знаки безпеки.

На ключах керування і приводах роз'єднувачів віддільників і вимикачах навантаження, а також на підставках запобіжників, за допомогою яких може бути подана напруга до місця робіт, вивішують плакат: "Не включати - працюють люди". На вентилях, що закривають доступ повітря в пневматичні приводи таких вимикачів, вивішується плакат: "Не відкривати - працюють люди".

Передбачена проектом апаратура повинна експлуатуватися у відповідності з паспортними значеннями номінального струму та напруги. В процесі експлуатації слід постійно контролювати стан контактних сполучень та ізоляції апаратури, відсутність слідів дуги та оплавлення ошиновування, опір ізоляції силових та освітлювальних мереж, правильність підключення. На всіх підготовлених місцях роботи після накладається заземлення вивішується плакат "Працювати тут".

Заповнення полюсів азотом з балона робите аналогічно заповнення електричним газом, використовуючи схему, що складається з балона, редуктора і шланга (довжиною = 3 м). Тиск настроювання редуктора (і надлишковий тиск за-

повнення) повинні бути в межах від 0,1 до 0,15 МПа. Заповнивши один полюс азотом, встановіть в гніздо клапана призначений для приєднання заправного шланга і, відкривши з його допомогою КАГу, скиньте тиск азоту до зникнення шиплячого звуку, після чого замініть ніпель заглушкою, навернув її гайку до оголення канавки на штуцері. Аналогічно заповніть азотом інші полюси.

Демонтаж вимикача, забрудненого продуктами розкладання елегазу, робітьте, використовуючи індивідуальні засоби захисту, зазначені вище.

Демонтаж полюсів вимикача робітьте в суху безвітряну погоду (швидкість вітру до 2 - 3 м / с). Подальші роботи рекомендується виробляти в спеціальному приміщенні для ремонтів і ревізій. У приміщенні для ревізій і ремонтів повинні бути підготовлені герметичні резервуари для нейтралізації газоподібних продуктів розкладання елегазу і негерметичні резервуари - для нейтралізації в них твердих продуктів розкладання елегазу. Негерметичний резервуар повинен мати обсяг близько 14 л на (10 - 12) л розчину.

Відразу після розтину (а також у міру розбирання) полюса ретельно зберіть за допомогою пирососа з паперовим фільтром тверді продукти розкладання елегазу. Вихлоп пирососа підключіть до герметичному резервуару з нейтралізуючим розчином. Викид газів повинен здійснюватись в витяжну систему вентиляції. Прилиплі продукти розкладання (сірий порошок) обережно, не допускаючи пилу, зберіть за допомогою щітки і пирососа і зсипте в негерметичний резервуар. Решта на деталях пилоподібні продукти розпаду елегазу витріть матеріалом, змоченим денатурованим етиловим спиртом. При виділенні на шкіру твердих продуктів розкладання елегазу змивається їх великим кількістю води з милом.

Нейтралізації піддаються:

- складальні одиниці і деталі, що знаходилися в середовищі розклатася елегазу;
- тверді продукти розкладання елегазу, зібрані в паперовому фільтрі пирососа;

- деталі та складальні одиниці елегазового обладнання, шланги та арматура, використані під час роботи з забрудненим елегазом (в тому числі при його перекачуванні);

- фільтри-поглиначі вимикача і відкачує установки;

- шланги і мішок пиłosоса:

- щітки, протиральний матеріал;

- інструменти та інші предмети, які стикаються із забрудненим елегазом.

Нейтралізацію робити в герметичному об'ємі, заповненому нейтралізуючим розчином, протягом 24 год.

Після нейтралізації гумові деталі, протиральний матеріал, абсорбент фільтрів-поглиначів, паперовий фільтр пиłosоса з зібраними в ньому твердими продуктами розкладання елегазу подальшого використання не підлягають і викидаються в сміттєзбірник. Решта нейтралізовані предмети промийте водою, просушіть і можете використовувати в подальшій роботі. Інструмент, пристосування, монтажні столи, засоби індивідуального захисту промийте водою, просушіть і можете знову використовувати. Спецодяг виперіть і можете використовувати.

Звертайте увагу на вентиляцію приміщень, в яких проводяться роботи:

- забезпечуйте передбачений проектом режим вентиляційної установки;

- забезпечуйте безперервну роботу вентиляційної установки при проведенні робіт;

6.3 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії

6.3.1 Мікроклімат

Основними нормативними документами, що регламентують параметри мікроклімату виробничих приміщень, є ДСН 3.3.6.042-99. Мікроклімат енерго-

підприємства характеризується наступними чинниками: температурою повітря, відносною вологістю повітря, швидкістю руху повітря, інтенсивністю теплового випромінювання. Роботи по обслуговуванню електротехнологічного обладнання відносяться до категорії Іб по важкості праці. Енерговитрати за цією категорією становлять - до 140-174Вт.

Склад повітря робочої зони забруднення повітря робочої зони регламентується граничнодопустимими концентраціями (ГДК) в мг/м³. На енергооб'єктах виділяється пил нетоксичний. При роботі системи вентиляції, провітрюванні у приміщенні може попадати пил та інші шкідливі речовини, які виділяються при технологічних процесах в цеху і знаходяться повітрі навколишнього середовища. Їх ГДК відповідно до [40] наведено в таблиці 6.1. Для забезпечення складу повітря робочої зони відповідно до ГОСТу 12.1.004-91. ССБТ проектом передбачені наступні рішення [41]: - застосування пиловідсмоктуючих агрегатів з рукавними фільтрами, які встановленні безпосередньо на дільницях біля обладнання із яких очищене повітря поступає у виробниче приміщення; - необхідно проводити контроль за ГДК шкідливих речовин у приміщенні; - застосовувати природну вентиляцію: організовану і неорганізовану. Незважаючи на нетоксичність цеоліту, використовуваного при заповненні фільтрів вимикача, наявність пилу цеоліту в повітрі може викликати ерозію носоглотки. Допустима концентрація пилу цеоліту в повітрі приміщення - 2 мг / м. Роботи щодо заповнення фільтрів або їх спорожнення повинні проводитися персоналом в спецодязі і респіраторях (або в витяжній шафі) в спеціально обладнаному приміщенні.

6.3.2 Склад повітря робочої зони

Забруднення повітря робочої зони регламентується граничнодопустимими концентраціями (ГДК) в мг/м³.

На енергооб'єктах виділяється пил нетоксичний. При роботі системи вентиляції, провітрюванні у приміщенні може попадати пил та інші шкідливі речовини, які виділяються при технологічних процесах в цеху і знаходяться повітрі навколишнього середовища. Їх ГДК відповідно до [40] наведено в таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 – Гранично допустима концентрація шкідливих речовин в повітрі робочої зони

Назва речовини	Величина ГДК, <i>мг / м³</i>		Клас небезпеки
	Максимально разова	Середньодобова	
Пил нетоксичний	0,5	0,15	4
Елегаз	1	0,08	2

6.3.2.1 Вказівка заходів безпеки при роботі з чистим елегазом

З метою повної безпеки концентрація елегазу в приміщенні для ремонту та ревізій не повинна перевищувати:

- 0,08% - при тривалому перебуванні людини в приміщенні;
- 1% - при короткочасному перебуванні в приміщенні (до летального результату може привести короткочасне перебування людини в приміщенні з концентрацією елегазу в повітрі 20% і більше, тобто в 20 разів більше допустимої).

Допустиму концентрацію елегазу в приміщенні необхідно забезпечувати наявністю вентиляції, не допускаючи перевищення зазначених норм.

Контроль концентрації елегазу в приміщенні проводити за допомогою шахтного індикатора ШИ-11. Підготовку до роботи індикатора виконувати відповідно до технічного опису та інструкції по експлуатації підприємства-

виготовлювача. При роботі мати на увазі, що наявність диму впливає на показання індикатора. Вимірювання проводиться на висоті (10-15 мм) см від рівня підлоги.

У разі крайньої необхідності як індикатор концентрації кисню (для короткочасного перебування в приміщенні) можна використовувати свічку, тримаючи її на висоті (10-15) см від рівня підлоги, строго дотримуючись правил протипожежної безпеки.

Якщо свічка не горить, то в приміщення входити не можна. В цьому випадку провести інтенсивну вентиляцію приміщення (або, при відсутності вентиляції, продування приміщення стисненим повітрям) і знову перевірте концентрацію кисню (або елегазу).

При визначенні концентрації елегазу в приміщенні і проведенні робіт в приміщенні з концентрацією елегазу вище передбаченої норми користуватись ізольованим протигазом ПШЛ (ПШ2). Варто відмітити, що фільтруючі протигази не захищають від нестачі кисню. До роботи з ізольованим протигазом допускається персонал після вивчення пристрою, правил експлуатації протигазу, отримання навичок в користуванні їм і здачі заліку.

Число осіб, що працюють в ізольованих протигазах в одному приміщенні, має бути не менше двох і з ними повинна підтримуватись безперервний зв'язок (наприклад, через внутрішній телефонний зв'язок).

Одноосібний вхід у приміщення, в якому може накопичуватись елегаз, забороняється. Поза приміщенням повинен перебувати супроводжуючий з протигазом ПШУЛ (ПШ2) і спостерігати за вхідними. При необхідності, він повинен одягнути на себе протигаз, винести потерпілого на свіже повітря і вжити необхідних заходів, роблячи штучне дихання потерпілому.

6.3.2.2 Вказівка заходів безпеки при роботах з елегазом, забрудненим продуктами його розкладання

Використовуваний у вимикачі елегаз може розкладатися в умовах відключення дуги з утворенням газів, що містить сіркофтор або фториди металів. Якщо з'явився їдкий або неприємний запах у місць можливого витoku елегазу, персонал повинен швидко вийти на свіже повітря.

Роботи по встановленню місць викиду або витoku елегазу слід виробляти в ізолюючому протигазі, в захисному костюмі, гумових рукавичках і чоботах (черевиках).

Роботи з підготовки до розтину полюса вимикача слід виробляти із застосуванням таких індивідуальних засобів захисту:

- захисної каски ГОСТ 12.4.087;
- рукавичок гумових ГОСТ 20010;
- герметичних очок з безбарвним склом ГОСТР 12.4.230.1;
- захисного фартуха по ГОСТ 12.4.029;
- респіратора типу РГП-67 марки «В» ГОСТ 12.4.004 або аналогічного по захисних функцій;
- костюма х / б або комбінезона.

Відкачування елегазу з вимикача робити за допомогою газотехнологічної установки Dilo, конструкція якої передбачає нейтралізацію продуктів розкладання елегазу, або установку аналогічну їй.

Послідовність дій при відкачці повинна бути наступною:

- закрити КАГи всіх 3-х полюсів, відвернувши гайки заглушок їх заправних отворів до оголення канавок на штуцерах корпусів;
- підготувавши газотехнологічну установку до роботи, згорнути повністю гайку заглушки одного з полюсів, видалити заглушку і тут же підключити до заправного отвору каган шланга установки, на кінці якого повинен бути ніпель зі складу групового ЗІП;
- відкачати елегаз згідно з вказівками інструкції по експлуатації газотехнологічної установки до абсолютного тиску близько 100 Па;

- від'єднати шланг, а потім мідні трубки від клапанів всіх 3-х полюсів і встановіть замість ніпелів шланга і трубок відповідні заглушки з ущільненнями;

- відкачати вищеописаним способом елегаз з двох інших полюсів.

Якщо газотехнологічною установкою не передбачена нейтралізація елегазу - її слід проводити за допомогою окремої установки, при цьому обсяг герметичного резервуара повинен бути близько 4 л і містити (2-3) л розчину.

Нейтралізуючий розчин повинен являти собою розчин NaOH або KOH в співвідношенні 0,5 кг на 10 л води. Термін придатності нейтралізуючого розчину - одна добу.

При виготовленні і використанні нейтралізуючого розчину прийняти заходи безпеки від попадання розчину в очі. Після відкачування елегазу полюси повинні бути заповнені сухим азотом до атмосферного тиску і герметизовані. Це необхідно з метою зведення до мінімуму шкідливого впливу газоподібних продуктів розкладання на персонал, якому належить розтин полюсів, а також для попередження корозії внутрішніх частин.

6.4 Розрахунок параметрів заземлюючого пристрою підстанції 220-330 кВ

Заземлювач характеризується опором, що навколишня земля робить стікаючому з його струму.

Грунт мінерального або органічного походження, у якому відбувається розтікання струму з заземлювача, має в сухому стані незначну електропровідність твердої основи. Однак різні солі і кислот, що утримуються в землі, при наявності вологи створюють електроліти, що і визначають в основному електропровідність землі. Чим менше розміри часток ґрунту, тим більше його вологоємність. Пісок має пористу структуру і має дуже малу вологоємність, глина і перегній мають колоїдну будову часток, значну вологоємність.

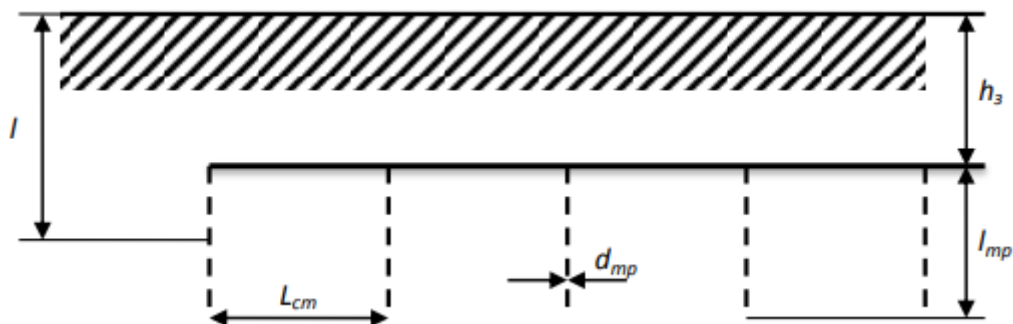


Рисунок 6.1 – Схема заземлюючого пристрою.

Таблиця 6.2 – Вихідні дані для розрахунку заземлення

Вид заземлювача	стрижневий
Довжина заземлювача, l_{mp} , см	500
Діаметр заземлювача, d_{mp} , см	4
Глибина занурення вимикача, $h_з$, см	80
Ширина з'єднувальної смуги, b_c , см	5
Грунт	глина
Кліматична зона	II

Наближені значення питомого опору деяких ґрунтів наведені в табл. 6.3.

Визначаємо питомий опір ґрунту $\rho_{табл}$, який рекомендовано для розрахунків, $Ом \cdot см$ (табл. 5.2).

Визначаємо підвищувальні коефіцієнти для труб вертикальних заземлювачів $K_{п.т}$ та для з'єднувальної полоси $K_{п.с}$, які враховують зміну опору ґрунту в різні пори року залежно від наявності опадів.

Таблиця 6.3 – Приблизні значення питомих опорів ґрунтів

Ґрунт	Значення, які рекоменду- ються для розрахунків, $\text{Ом}\cdot\text{см}$
Пісок	70000
Супісок	30000
Суглинок	10000
Глина	4000
Чорнозем	2000

Таблиця 6.4 Значення підвищувальних коефіцієнтів за кліматичними зо-
нами

Кліматична зона	Тип заземлювача	
	Горизонтально прокладені заземлювачі, $K_{П.С}$	Стрижневі верти- кально встановлені за- землювачі, $K_{П.Т}$
I	4,5-7	1,8-2
II	3,5-4,5	1,6-1,8
III	2,5-4	1,4-1,6
IV	1,5-2	1,2-1,4

Знаходимо питомий розрахунковий опір ґрунту для вертикальних електродів з урахування несприятливих умов за допомогою підвищувального коефіцієнта:

$$\rho_{\text{розр.т}} = 4000 \cdot K_{П.Т}, \text{Ом}\cdot\text{см}. \quad (6.1)$$

$$\rho_{\text{розр.т}} = 4000 \cdot 1,7 = 6800(\text{Ом}\cdot\text{см}).$$

Визначаємо питомий розрахунковий опір ґрунту для горизонтального заземлювача (з'єднувальної смуги):

$$\rho_{розр.п} = \rho_{табл} \cdot K_{П.С}, \text{ Ом} \cdot \text{см}. \quad (6.2)$$

Розраховуємо відстань від поверхні землі до середини вертикального заземлювача:

$$t = h_3 + \frac{l_{мп}}{2}, \text{ см}. \quad (6.3)$$

$$t = 80 + \frac{500}{2} = 330(\text{см}).$$

де h_3 - глибина заглиблення труб, см;

$l_{мп}$ - довжина вертикального заземлювача.

Знаходимо опір розтікання струму для одиночного вертикального заземлювача, який розташований нижче від поверхні землі:

$$R_{розр.Г} = 0,366 \frac{\rho_{розр.м}}{l_{мп}} \left(\lg \frac{2l_{мп}}{d} + \frac{1}{2} \lg \frac{4t + l_{мп}}{4t - l_{мп}} \right), \text{ (Ом)}; \quad (6.4)$$

$$R_{розр.Г} = 0,366 \frac{6800}{500} \left(\frac{1}{2} \lg \frac{2 \cdot 500}{4} + \frac{1}{2} \lg \frac{4 \cdot 330 + 500}{4 \cdot 330 - 500} \right) = 0,862(\text{Ом}).$$

Визначаємо відстань між вертикальними заземлювачами $h_{см}$ із співвідношення $c = \frac{L_{см}}{l_{мп}}$. Для стаціонарних заглиблених заземлювачів це співвідношення береться таким $c = 1$.

$$L_{cm} = l_{mp} \cdot c, \text{ см.} \quad (6.5)$$

Розраховуємо необхідну кількість вертикальних заземлювачів без урахування коефіцієнта екранування. У відповідності до вимог ПУЕ визначаємо допустимий опір розтікання струму в заземленні: $R_3 = 0,5$ Ом (для мереж з напругою 110 кВ).

$$n_T = \frac{R_{розр.Т}}{R_3}, \text{ шт.} \quad (6.6)$$

$$n_T = \frac{0,862}{0,5} \approx 2(\text{шт}).$$

Результат розрахунку округлюємо для найближчого цілого числа.

Знаходимо коефіцієнт екранування труб $n_{E.T}$ при числі труб n_T . Визначаємо необхідну кількість вертикальних заземлювачів з урахуванням коефіцієнта екранування (при $n_T = 2$, $n_{E.T} = 0,85$):

$$n_{T.E.} = \frac{R_{розр.Т}}{R_3 \cdot \eta_{E.T}}, \text{ шт.} \quad (6.7)$$

$$n_{T.E.} = \frac{0,862}{0,5 \cdot 0,85} = 2(\text{шт}).$$

Результат розрахунку округлюємо для найближчого цілого числа.

Знаходимо розрахунковий опір розтікання струму при взятому числі вертикальних заземлювачів:

$$R_{розр.n_{TE}} = \frac{R_{розр.Т}}{n_{T.E} \cdot \eta_{E.T}}, \text{ Ом;} \quad (6.8)$$

$$R_{\text{розр.нТЕ}} = \frac{0,862}{2 \cdot 0,85} = 0,507(\text{Ом}).$$

Знаходимо довжину з'єднувальної смуги:

$$L_{3.C} = 1,05L_{cm}(1 - n_{T.E}), \text{ см.} \quad (6.9)$$

$$L_{3.C} = 1,05 \cdot 500(1 - 0,85) = 78,75(\text{см}).$$

Визначаємо опір розтікання струму в з'єднувальній смугі:

$$R_{3.C} = 0,366 \frac{\rho_{\text{розр.н}}}{L_{3.C}} \lg \frac{2L_{3.C}^2}{h_3 \cdot b_c}, \text{ Ом.} \quad (6.10)$$

$$R_{3.C} = 0,366 \frac{0,507}{78,75} \lg \frac{2 \cdot 78,75^2}{80 \cdot 5} = 0,004(\text{Ом}).$$

Де h_3 - глибина заглиблення вертикальних заземлювачів, см;

b_c - ширина з'єднувальної смуги, см.

Визначаємо розрахунковий опір для розтікання електричного струму в з'єднувальній смугі з урахуванням коефіцієнта екранування:

$$R_{\text{розр.С}} = \frac{R_{3.C}}{n_{EC} \cdot \eta_{E.3.C}}, \text{ Ом.} \quad (6.11)$$

$$R_{\text{розр.С}} = \frac{0,004}{1 \cdot 0,77} = 0,005(\text{Ом}).$$

де n_{EC} - дорівнює 1.

Знаходимо загальний розрахунковий теоретичний опір розтікання струму від вертикальних заземлювачів та з'єднувальної смуги:

$$R_{\text{заг.розр}} = \frac{1}{\frac{1}{R_{\text{розр.Т}}} + \frac{1}{R_{\text{розр.С}}}}, \text{ Ом.} \quad (6.12)$$

$$R_{\text{заг.розр}} = \frac{1}{\frac{1}{0,862} + \frac{1}{0,005}} = 0,0049(\text{Ом}).$$

Отриманий результат порівнюємо із допустимим за вимогами ПУЕ значенням опору розтіканню струму в заземленні.

6.5 Безпека у надзвичайних ситуаціях. Дослідження стійкості роботи електричної підстанції 330 кВ в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій

Надзвичайні ситуації завжди супроводжували існування людства, нерідко через них гинули держави та цивілізації. Сьогодні надзвичайні ситуації не менше загрожують людству, ніж сотні і тисячі років тому.

Надзвичайна ситуація - порушення нормальних умов життя і діяльності людей на об'єкті або території, що спричинена аварією, катастрофою, стихійним лихом, використанням засобів масового враження, яке призвело або може призвести до людських чи матеріальних втрат і т.д..

Причини надзвичайних ситуацій розділяються на техногенні, природні, соціально-політичні та воєнні. Якщо більш детально то це можуть землетруси, повені, ударна хвиля і т. д..

Саме тому необхідно дослідити стійкість роботи підстанції 330 кВ в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій. На основі проведених досліджень будуть розроблені заходи, які підвищать стійкість роботи підстанції, що надасть можливість запобігти великим матеріальним та фінансовим збиткам у разі виникнення надзвичайної ситуації. В даному

підрозділі буде оцінено стійкість підстанції в умовах дії іонізуючого випромінювання та електромагнітного імпульсу.

Іонізуюче випромінювання - це випромінювання, взаємодія якого з середовищем призводить до утворення електричних зарядів (іонів) різних знаків. Джерелом іонізуючого випромінювання є природні та штучні радіоактивні речовини та елементи (уран, радій, цезій, стронцій та ін.). Джерела іонізуючого випромінювання широко використовуються в енергетиці, медицині (для діагностики та лікування) та в різних галузях промисловості (для дефектоскопії металів, контролю якості зварних з'єднань, визначення рівня агресивних середовищ у замкнених об'ємах, боротьби з розрядами статичної електрики і т. ін.). Що в свою чергу викликає електромагнітний імпульс (ЕМІ), це поняття означає явище створення і поширення електромагнітного випромінювання великої напруженості та широкого спектру частот протягом дуже короткого часу. Даний імпульс індукує високу напругу в провідниках, що згубно впливає на електричні пристрої.

6.5.1 Дослідження стійкості роботи електричної підстанції 330 кВ в умовах дії іонізуючих випромінювань

В електричній підстанції 330 кВ використовуються елементи, до складу яких входять матеріали: метали, неорганічні матеріали, напівпровідники та різні органічні сполуки (діелектрики, смоли та ін.). Серед цих матеріалів найбільш вразливими до радіації є метали, оскільки їм властива висока концентрація вільних носіїв.

Висновок по оцінці стійкості роботи виконується за рахунок аналізу системи в цілому та визначення експозиційної дози, а також з'ясування межі стійкості та граничного значення потужності гамма-випромінювання. Дані розрахунки проведемо на прикладі системи цехової вентиляції.

Можливу дозу опромінення D_m за встановлений час можна визначити за формулою 6.13:

$$D_M = \frac{2 \cdot p_1 \cdot (\sqrt{t_k} - \sqrt{t_n})}{K_{\text{носл}}}, [P]. \quad (6.13)$$

D_M для пульта керування:

$$D_M' = \frac{2 \cdot 4,73 \cdot (\sqrt{70080} - \sqrt{1})}{4} \approx 623 \text{ (P)}.$$

D_M для система збору і обробки даних:

$$D_M'' = \frac{2 \cdot 4,73 \cdot (\sqrt{26280} - \sqrt{1})}{2} \approx 986 \text{ (P)}.$$

D_M для системи захисту:

$$D_M''' = \frac{2 \cdot 5,67 \cdot (\sqrt{26280} - \sqrt{1})}{1} \approx 1532 \text{ (P)}.$$

Таблиця 6.5 – Максимально допустимі експозиційні дози для елементів підстанції

№ п/п	Системи	Блок	Елементи РЕА	$D_{\text{гр}}, \text{P}$	$D_{\text{гр}}, \text{P}$
1	Пульт керування	Блок живлення ($U_{\text{ж}} = 24 \text{ В}$)	Транзистор NDS9435A	10^3	10^3
			Конденсатор ENR471M25BA	10^6	

Продовження таблиці 6.5 –Максимально допустимі експозиційні дози для елементів підстанції

№ п/п	Системи	Блок	Елементи РЕА	Д _{ігр} , Р	Д _{гр} , Р
2	Система збору і обробки даних	Блок пам'яті (U _ж = 12 В)	Мікросхема LM258ADT	10 ⁴	
			Мікросхема ULN2803AFWG	10 ³	
			Транзистор IRF7420	10 ⁵	
3	Система аварійного ввімкнення	Блок захисту (U _ж = 5 В)	Діод STPS2L25U	10 ⁴	
			Транзистор IRFB3207Z	10 ⁴	

Допустимий час роботи вимикачної частини підстанції в заданих умовах можна визначити за допомогою формули 6.14:

$$t_{\partial} = \left(\frac{D_{2p} \cdot K_{\text{носл}} + 2 \cdot p_{1\text{max}} \cdot \sqrt{t_n}}{2p_{1\text{max}}} \right)^2, [\text{год}]. \quad (6.14)$$

Допустимий час роботи пульта керування буде становити:

$$t_{\partial}^{\prime} = \left(\frac{10^3 \cdot 4 + 2 \cdot 4,73 \cdot \sqrt{1}}{2 \cdot 4,73} \right)^2 \approx 179634 (\text{год}) \approx 20 (p).$$

Допустимий час роботи системи збору і обробки даних буде становити:

$$t_{\partial}^{\prime\prime} = \left(\frac{10^3 \cdot 2 + 2 \cdot 4,73 \cdot \sqrt{1}}{2 \cdot 4,73} \right)^2 \approx 45120 (\text{год}) \approx 5,1 (p).$$

Допустимий час роботи системи захисту буде становити:

$$t_o^* = \left(\frac{10^3 \cdot 1 + 2 \cdot 4,73 \cdot \sqrt{1}}{2 \cdot 4,73} \right)^2 \approx 11386 \text{ (год)} \approx 1,3 \text{ (р)}.$$

Результати розрахунку експозиційної дози опромінення та допустимого часу роботи для системи електроспоживання електричної підстанції 330 кВ представлені в таблиці 6.7.

Таблиця 6.7 – Дані розрахунку D_m , $t_{\text{доп}}$ для підстанції 330 кВ

№	Блоки системи електропостачання	D_m , (Р)	$t_{\text{доп}}$, (р.)
1	Пульт керування	383	20
2	Система збору і обробки даних	766	5,1
3	Система захисту	1532	1,3

В ході розрахунків було визначено допустимий час роботи вимикачної частини. Отже для пульта керування $t_{\text{доп}} = 20$ років при заявлених виробником 8-ми, як бачимо випромінювання не вплине на роботу блока, для система збору і обробки даних $t_{\text{доп}} = 5,1$ року при заявлених виробником 4-х, отже дія випромінювання буде не значною, а для блоку системи захисту $t_{\text{доп}} = 1,3$ року при заявлених виробником 3-х, що свідчить про швидке руйнування елементів блоку. Даний розрахунок наведено в пункті 6.5.3.

6.5.2 Дослідження стійкості роботи електричної підстанції 330 кВ в умовах дії електромагнітного імпульсу

За критерій стійкості роботи електричної підстанції 330 кВ в умовах дії електромагнітного імпульсу можна прийняти коефіцієнт безпеки:

$$K_B = 20 \cdot \lg \frac{U_{\partial}}{U_{в(г)}} \geq 40 \text{ [дБ]}, \quad (6.15)$$

де U_{∂} - допустиме коливання напруги живлення, В;

$U_{в(г)}$ - напруга наведена за рахунок електромагнітного імпульсу у вертикальних (горизонтальних) струмопровідних частинах, В.

Допустиме коливання напруги живлення обчислюється так:

$$U_{\partial} = U_{ж} + \frac{U_{ж}}{100} \cdot N, \text{ [В]}, \quad (6.16)$$

де $U_{ж}$ - напруга живлення, В;

N - допустимі коливання, %.

Отже, допустиме коливання напруги живлення для пульта керування при $U_{ж} = 24\text{В}$ становить:

$$U'_{\partial} = 24 + \frac{24}{100} \cdot 10 = 26,4 \text{ (В)}.$$

Допустиме коливання напруги живлення для системи збору і обробки даних при $U_{ж} = 12\text{В}$ становить:

$$U''_{\partial} = 12 + \frac{12}{100} \cdot 10 = 13,2 \text{ (В)}.$$

Допустиме коливання напруги живлення для система а захисту при $U_{ж} = 5\text{В}$ становить:

$$U'''_{\partial} = 5 + \frac{5}{100} \cdot 10 = 5,5 \text{ (В)}.$$

Визначимо горизонтальну складову напруженості електричного поля за формулою:

$$E_{\Gamma} = 10^{-3} \cdot E_B, \text{ [кВ/м]}. \quad (6.17)$$

Отже, горизонтальна складова напруженості електричного поля при $E_B = 12,82$ кВ/м буде становити:

$$E_{\Gamma} = 10^{-3} \cdot 12,82 \cdot 10^3 = 12,82 \text{ (В/м)}.$$

Визначимо максимальні довжини струмопровідних частин підстанції:

$$l_{zi} = 4,3 \text{ м}, l_{ei} = 1,6 \text{ м}$$

4. За допомогою формул 6.18 та 6.19:

$$U_{ei} = E_{\Gamma} \cdot l_{ei}; \text{ [В]} \quad (6.18)$$

$$U_{zi} = E_{\Gamma} \cdot l_{zi}; \text{ [В]} \quad (6.19)$$

Визначимо напруги наводок у струмопровідних частинах.

Пульт керування:

$$U'_{zi} = 12,82 \cdot 0,1 = 1,23 \text{ (В)};$$

$$U'_{ei} = 12,82 \cdot 1,3 = 16,6 \text{ (кВ)}.$$

Система збору і обробки даних:

$$U''_{zi} = 12,82 \cdot 2,7 = 34,61 \text{ (В)};$$

$$U''_{ei} = 12,82 \cdot 1,2 = 15,39 \text{ (кВ)}.$$

Система захисту:

$$U''_{zi} = 12,82 \cdot 4,3 = 55,1 \text{ (В)};$$

$$U''_{vi} = 12,82 \cdot 1,6 = 20,5 \text{ (кВ)}.$$

Визначимо коефіцієнти безпеки за формулами 6.20 та 6.21:

$$K_{B_{vi}} = 20 \cdot \lg \frac{U_{\partial}}{U_{vi}}, \text{ [дБ]}; \quad (6.20)$$

$$K_{B_{zi}} = 20 \cdot \lg \frac{U_{\partial}}{U_{zi}}, \text{ [дБ]}. \quad (6.21)$$

Отже, коефіцієнти безпеки для пульта керування будуть дорівнювати:

$$K'_{B_{vi}} = 20 \cdot \lg \frac{26,4}{16,6} \approx 4 \text{ (дБ)};$$

$$K'_{B_{zi}} = 20 \cdot \lg \frac{26,4}{1,23} \approx 26,634 \text{ (дБ)}.$$

Коефіцієнти безпеки для системи збору і обробки даних будуть дорівнювати:

$$K''_{B_{vi}} = 20 \cdot \lg \frac{13,2}{15,39} \approx -1,3 \text{ (дБ)};$$

$$K''_{B_{zi}} = 20 \cdot \lg \frac{13,2}{34,61} \approx -8,373 \text{ (дБ)}.$$

Коефіцієнти безпеки для системи захисту будуть дорівнювати:

$$K_{B_{vi}}^m = 20 \cdot \lg \frac{5,5}{20,5} \approx -11,428 \text{ (дБ)};$$

$$K_{B_{zi}}^m = 20 \cdot \lg \frac{5,5}{55,1} \approx -20 \text{ (дБ)}.$$

Результати обчислень для інших блоків занесемо до таблиці 6.8.

Таблиця 6.8 – Розрахунок коефіцієнтів безпеки по блоках підстанції

№	Блок	l_{zi}	l_{vi}	$K_{B_{vi}}$, дБ	$K_{B_{zi}}$, дБ	Стійкість
1	Блок пульта керування	0,1	1,3	4	26,634	нестійкий
2	Блок пам'яті	2,7	1,2	-1,3	-8,373	нестійкий
3	Блок захисту	4,3	1,6	-11,428	-20	нестійкий

Оскільки $K_{B_{vi}} < 40$ дБ та $K_{B_{zi}} < 40$ дБ, то підстанція нестійка в роботі в умовах дії електромагнітного імпульсу.

6.5.3 Розробка заходів по підвищенню стійкості роботи електричної підстанції 330 кВ в умовах надзвичайних ситуацій

Основними заходами щодо підвищення радіаційної стійкості є: застосування для електроніки екранів або активного захисту від дії радіації; використання в апаратурі радіаційно стійких елементів і матеріалів. При імпульсній дії іонізаційних випромінювань крім перерахованих заходів використовують: схеми малокритичні до зміни електричних параметрів; зменшення чутливості перемикальних схем до зміни вхідних сигналів і напруг джерел живлення; зниження напруги живлення; застосування пристроїв, що вимикають радіотехнічні

схеми на час дії радіації; збільшення відстані між елементами, які знаходяться під навантаженням та ін.

Основним заходом щодо підвищення стійкості роботи електричної підстанції в умовах дії електромагнітного імпульсу є екранування. Для цього використаємо захисний екран із сталі. Розрахуємо перехідне затухання енергії електричного поля екраном (A , дБ) та товщину стінок екрану для процесорного блоку за формулою 6.22. Результати розрахунків для інших блоків виконуються аналогічно і представлені в таблиці 6.9.

$$A = 5,2 \cdot t \cdot \sqrt{f}, \text{ дБ}; \quad (6.22)$$

де A - перехідне гасіння сталюого екрану, дБ;

t – товщина стінки екрану, см;

f – 15000 Гц.

Отже, визначимо товщину екрану, виготовленого зі сталі:

1. Визначаємо перехідне гасіння енергії електричного поля екраном для блоку живлення

$$A'_{екр} = K_{\min} - K_{б.розр} = 40 + 4 = 44 \text{ (дБ)}.$$

Перехідне гасіння енергії електричного поля екраном для блоку пам'яті

$$A''_{екр} = K_{\min} - K_{б.розр} = 40 + 1,3 = 41,3 \text{ (дБ)}.$$

Перехідне гасіння енергії електричного поля екраном для блоку захисту

$$A'''_{екр} = K_{\min} - K_{б.розр} = 40 + 11,428 = 51,428 \text{ (дБ)},$$

2. Знайдемо товщину стінки екрана для блоку живлення:

$$t' = \frac{A_{екр1}}{k \cdot \sqrt{f}} = \frac{44}{5,2 \cdot \sqrt{15000}} \approx 0,069 \text{ (см)}.$$

Товщину стінки екрана для блоку пам'яті:

$$t'' = \frac{A_{екр1}}{k \cdot \sqrt{f}} = \frac{41,3}{5,2 \cdot \sqrt{15000}} \approx 0,065 \text{ (см)}.$$

Товщину стінки екрана для блоку захисту:

$$t''' = \frac{A_{екр1}}{k \cdot \sqrt{f}} = \frac{51,438}{5,2 \cdot \sqrt{15000}} \approx 0,081 \text{ (см)}.$$

Таблиця 6.9 – Дані розрахунку захисного екрану по різним блокам

№	Блок	$A_{екр.}$, (дБ)	t_1 , (см)
1	Блок пульта керування	44	0,069
№	Блок	$A_{екр.}$, (дБ)	t_1 , (см)
2	Блок пам'яті	41,3	0,065
3	Блок захисту	51,438	0,081

Оскільки після застосування екрану заданої товщини для вимикачних елементів виконується нерівність $K_{Бвi \min} \geq 40$ дБ, $K_{Бгi \min} \geq 40$, то можна сказати, що вимикачна частина електричної підстанції 330 кВ стане безпечною в роботі при наявності захисного сталевого екрану.

Отже в даному розділі було досліджено стійкість роботи системи електроспоживання шляхом оцінки його безпеки в умовах дії іонізуючого випромінювання та електромагнітного імпульсу та розроблено заходи по

підвищенню безпеки її роботи у надзвичайних ситуаціях, що в свою чергу допоможе уникнути як збитків з матеріальної сторони так і жертв серед персоналу.

Висновки до шостого розділу

Виконання інструкцій з охорони праці та дотримання закону України з охорони праці дасть змогу забезпечити потрібні умови праці (вітрозахист, шумозахист, освітлення) та зменшити аварійність та об'єктах енергетики.

Також в даному розділі було досліджено стійкість роботи (ВДПМІ) в умовах НС, таких як іонізуюче випромінювання та електромагнітний імпульс. Було визначено елементи, які можуть отримати неповоротні пошкодження під час іонізуючого випромінювання та прилади, що є уразливими до електромагнітних впливів. При оцінці роботи даної електричної мережі в умовах дії ЕМІ ті іонізуючого випромінювання були розглянуті елементи: системи зберігання даних, дистанційний пульт керування, система зв'язу. Аналіз цих блоків полягав у визначенні їхніх коефіцієнтів безпеки, як критерії стійкості. В результаті було виявлено, що всі елементи є нестійким до дії електромагнітного випромінювання але стійкими до іонізуючого випромінювання. Для захисту цього обладнання від ЕМІ слід застосувати екранування. В якості матеріалу для екранування було вибрано сталь. Товщина стінки екрана становить не менше 0,06 см.

ВИСНОВКИ

В магістерській кваліфікаційній роботі було досліджено завдання вдосконалення експлуатації елегазового обладнання.

1. Проведені дослідження програми технічного переозброєння і реконструкції Єдиної національної електричної мережі, яка передбачає заміну вимикачів, які відпрацювали свій ресурс. В першу чергу при заміні повинні використовуватися елегазові вимикачі, так як елегазове ізоляційне середовище є найбільш ефективним, у порівнянні з іншими варіантами ізоляції.

2. Результати експлуатації елегазових вимикачів свідчать про те, що найбільш часто місцями витoku елегазу є ущільнення кришок, газорозподільні трубки і зварні шви фланців.

3. Однією з найбільш розповсюджених несправностей в елегазовому обладнанні є збільшення електричного опору головного кола струмопроводу. Причиною цього може бути окислення поверхностей контактних з'єднань. Через неякісний адсорбент фільтрів може виникнути висока вологість елегазу або газової суміші в полюсах по показникам гігрометра. Дану несправність виводять заміною адсорбенту.

4. При порівнянні існуючих матеріалів твердої ізоляції елегазового обладнання, то фторопласт 4 і склотекстоліт являються найбільш доцільними у використанні, тому що їх вологовміст від маси елегазу при повному і рівномірному насиченні і температурі 20°C являється найменшим – 0,006 і 0,02 відповідно.

5. Проведено порівняння показників застосування масляних і елегазових вимикачів. Наведені витрати на застосування масляного вимикача складають 8357,32 грн/рік, а витрати на застосування елегазового вимикача становлять 7482,673 грн/рік. Хоч і вартість елегазового вимикача складає 456000 грн, що на порядок більше вартості масляного (342000 грн), за іншими економічними показниками елегазовий вимикач простіший і дешевший в експлуатації.

Для впровадження на підстанці виберемо сучасне, надійне і більш просте в експлуатації елегазове обладнання - вимикач ВГТ-110 У1.

6. В розділі охорони праці було досліджено стійкість роботи трансформаторів в умовах НС, таких як іонізуюче випромінювання та електромагнітний імпульс. Було визначено елементи, які можуть отримати неповоротні пошкодження під час іонізуючого випромінювання та прилади, що є уразливими до електромагнітних впливів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Доморошин С.В. Визначення спрацьованого ресурсу елегазового вимикача типу H G D 100/2 D, CGECALSTHOM за нечіткою моделлю / Доморошин С.В., Махлін П.В. // Електротехніка та електроенергетика - 2016. №2. ISSN 1607-6761.
2. Справочник по электрическим аппаратам высокого напряжения / Под редакцией Г.Н. Александрова. Ленинград: Энергоатомиздат, 1989. 344 с
3. Афонин В.В. Элегазовые выключатели распределительных устройств высокого напряжения: учебное пособие / В.В. Афонин, К.А. Набатов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2009. 96 с.
4. Аметисов Е.И. Основы современной энергетики под. общей редакцией чл.-корр. РАН Е.В. Аметисова. Москва: Издательство МЭИ, 2004. 822 с.
5. Неклепаев Б.Н. Электрическая часть электростанции и подстанции / Б.Н. Неклепаев, И.П. Крючков. Москва: Энергоатомиздат, 1989. 605 с. Усов С.В. Электрическая часть станции / С.В. Усов [и др.]; М: Энергия, 1977. 420с.
6. Электрические аппараты высокого напряжения / Под редакцией В.В. Афанасьева. Ленинград: Энергоатомиздат, 1989. 344 с.
7. Добродеев А.Н., Ким Н.Е. Элегазовые выключатели 110Кв и выше // Новости электротехники – 2005. - №3. – с.62-64.
8. Рожкова Л.Д., Карнеева Л.К., Чиркова Т.В. Электрооборудование электрических станций и подстанций // Издательский центр «Академия». – 2007. 448 с.
9. Ведешников Н.А. Электрические аппараты высокого напряжения. Выключатели. – 2001. – Т.1. Справочник. – М.: Информэлектгро – 120с.
10. Назарычев, А.Н. Надежность эксплуатации высоковольтных выключателей / Назарычев А.Н., Таждибаев А.И., Колцунова . // Методы и средства оценки состояния энергетического оборудования. – Вып.28
11. Тонконогов Е.Н. Повышение отключающей способности элегазовых высоковольтных выключателей / Тонконогов Е.Н. // Методы и средства оценки

состояния энергетического оборудования. Вып. 21, Опыт создания и эксплуатации электрических аппаратов высокого напряжения с элегазовой изоляцией: 21 заседание Семинара, Санкт-Петербург, 24 февр. – 1 марта, 2003. - СПб, 2003. – с.37-29

12. Электрические сети и системы. – 2010. – № 3.– С. 57.

13. Впровадження елегазового обладнання на підприємствах енергетики України та проблеми його експлуатації: Матеріали 3-ї Міжнародної науково-технічної конференції, 11 – 15. 10.2010 р. – с. Галявина Закарпатської обл.

14. Электрические аппараты высокого напряжения с элегазовой изоляцией. СПб.: Энергоатомиздат, 2002.

15. Сви П.М. Контроль изоляции оборудования высокого напряжения. – М.: Энергия, 1980. – 112 с.

16. Балобанов Р.Н., Лопухова Т.В., Зацаринная Ю.Н. Влияние времени эксплуатации элегазового оборудования на состояние изоляции/ Р.Н. Балобанов, Т.В. Лопухова, Ю.Н. Зацаринная// Вестник Казанского технологического университета. – 2012. - №16 – С.122-124.

17. Лопухова Т.В., Зацаринная Ю.Н., Балобанов Р.Н. Особенности конструкции трансформаторов с элегазовой изоляцией Лопухова Т.В., Зацаринная Ю.Н., Балобанов Р.Н. Вестник Казанского технологического университета. 2013. Т. 16. №4. С. 218 – 220.м

18. А.с. 834791. Способ предотвращения конденсации влаги в высоковольтных устройствах с элегазовой изоляцией / В.Г. Аракелян, И.М. Бортник // БИ. 1981. №20.

19. Аракелян В.Г. Предотвращение конденсации влаги в элегазовых электроапаратах // Электротехника. 1981. №4. С. 48-50.

20. РД 16-066-83. Электрооборудование высокого напряжения. Технические требования к производству и методы контроля для обеспечения качества элегаза. МИНЭЛЕКТРОТЕХПРОМ. 1983. Разработчик Аракелян В.Г.

21. Аракелян В.Г. Комплексная система обеспечения качества элегаза и в высоковольтных аппаратах // Научно-техническая конференция ВЭИ. 20-24 ноября 1984.

22. Аракелян В.Г. Методы обеспечения качества элегаза в высоковольтных аппаратах // Всес. конференция «Создание комплексов электротехнического оборудования высоковольтной, преобразовательной и силовоточной техники»: Тезисы доклада. М.: ВДНХ СССР, 25-27 ноября 1986. С. 17.

23. Предотвращение конденсации влаги в элегазовом электрооборудовании // Электротехника. 1993. №5. С. 54-57.

24. Аракелян В.Г. Анализ состояния влаги в элегазовом оборудовании // Электротехника. 1993. №9-10. С. 32-35.

25. Аракелян В.Г. Нормирование качества элегаза в электрооборудовании // Электротехника. 1993. №12. С. 26-34.

26. IEC, Guide to the checking of sulphur hexafluoride // Publication 376 / 1971.

27. IEC, Guide to the checking of sulphur hexafluoride (SF₆) taken from electrical equipment // Publication 480. 1974.

28. Karner H.C., Stietzel U. The influence of moisture on the electrical properties of polymeric insulating materials // IEEE Internat. Sump. Electr. Insulat. 1982.

29. Chu R.Y. SF₆ decomposition in gas-insulated equipment // IEEE Trans. on electrical insulation. 1986. Vol. E1-21. No. 5. P. 693-725.

30. Аракелян В.Г., Бортник И.М. Исследования распада шестифтористой серы в разряде // Электротехническая промышленность. Сер. АВН. 1976. Вып. 5 (61). С. 10.

31. Bouden C. et al. Identification and study of some properties of compounds resulting from the decomposition of SF₆ under the effect of electrical arcing in circuit-breakers // Revue generale de l'electricite. June 1974.

32. Wray K.L., Feldman E.V. The pyrolysis and subsequent oxidation of SF₆ // Proc. Int. Symp. Combustion. 1973. Vol. 14. P. 229-234.

33. VanBrunt R.J., Siddagangappa M.C. Identification of corona-induced SF₆ oxidation mechanisms // Plasma Chemistry and Plasma Processing. 1988. Vol. 8. №2.

34. Электроизоляционные материалы для работы в элегазе. Определение стойкости компаундов к продуктам разложения шестифтористой серы / В.Г. Аракелян, Г.П. Бочкарева, И.М. Бортник и др. // Электротехническая промышленность. Сер. ЭМ. 1975. Вып. 1(54). С. 7-9.

35. Электроизоляционные материалы для работы в элегазе. Свойства заливочного компаунда КФ-1 / Г.П. Бочкарева, В.Г. Аракелян, И.М. Бортник и др. // Электротехническая промышленность. Сер. ЭМ. 1975. Вып. 1(54). С. 3-4.

36. Изоляционные материалы для работы в элегазе. Компаунд КФ-4 для твердой изоляции элегазовых выключателей // И.М. Бортник, Г.П. Бочкарева, В.Г. Аракелян, и др. // Электротехническая промышленность. Сер. ЭМ. 1979. Вып. 12(133). С. 5-6.

37. Аракелян В.Г., Бортник И.М. Выбор конструкционных материалов для элегазовой аппаратуры // Электротехника. 1979. №7. С. 26-27.

38. Аракелян В.Г., Бортник И.М., Головия Т.В. Конструкционные материалы для высоковольтных элегазовых аппаратов // Электротехническая промышленность. Сер. АВН. 1981. Вып. 3(116). С. 1-4.

39. Исследование устойчивости керамических материалов в продуктах разложения элегаза / Ф.Я. Харитонов, С.С. Вишневская, В.Г. Аракелян, и др. // Электротехника. 1991. №1. С. 13-16.

40. Аракелян В.Г., Демина В.Н. Поведение конструкционных материалов в жидкой шестифтористой сере // Электротехническая промышленность. Сер. АВН. 1983. Вып. 3(137). С. 3-4.

41. ГОСТ 12.2.003-91. ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования.

42. ГОСТ 687-78 «Выключатели переменного тока и напряжения. Термины и определения».

43. ГОСТ Р 52725-2007 «Ограничители перенапряжения нелинейные для электроустановок переменного тока напряжением от 3 до 750 кВ. Общие технические условия».

ДОДАТОК А**Технічне завдання МКР**

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки
Кафедра електричних станцій і систем

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ЕСС
д.т.н., професор Лежнюк П.Д.
(наук. ст., вч. зв., ініц. та прізви.)

_____ (підпис)

«_____» _____ 20__ р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на виконання магістерської кваліфікаційної роботи
**ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕЛЕГАЗОВИХ
ВИМИКАЧІВ**

08-13.МКР.008.00.125 ТЗ

Науковий керівник: к.т.н., ст. викл. каф.
ЕСС

_____ Гунько І.О.
(підпис)

Магістр групи ЕС-18м

_____ Ковальчук В.Л.
(підпис)

Вінниця 2019 р.

1. Підстава для виконання магістерської кваліфікаційної роботи (МКР)

а) сьогодні перед енергорозподільними компаніями України стоять дуже важливі завдання модернізації автоматизації мереж, перехід на нові моделі ринка, впровадження кращих світових технологій та досягнення максимально високих показників ефективності та надійності.

Відомим фактом є те, що більшість обладнання електричних мереж працювало понад 25 років, а тому відпрацювало свій паспортний ресурс. Забезпечення надійності роботи електричних станцій, підстанцій та систем електропостачання промислових підприємств значною мірою визначається безвідмовною роботою вимикачів високої напруги.

б) наказ ректора ВНТУ № 254 від 2 жовтня 2019 р. про затвердження теми магістерської кваліфікаційної роботи.

2. Мета і призначення МКР

Метою МКР є вдосконалення методів та засобів експлуатації елегазових вимикачів.

Для досягнення мети магістерської кваліфікаційної роботи поставлені та розв'язані наступні наукові задачі досліджень:

- дослідити конструктивні особливості елегазових вимикачів;
- виконати аналіз існуючих методів експлуатації елегазового обладнання;
- провести дослідження особливостей елегазу та елегазового обладнання;
- дослідити особливості ремонту високовольтних елегазових вимикачів;
- визначити економічні показники впровадження нового елегазового обладнання;
- дослідження заходів з безпечної експлуатації елегазових вимикачів та забезпечення безпеки в надзвичайних ситуаціях.

3. Вихідні дані для виконання МКР

Виконати розрахунок параметрів якості елегазу в високовольтному обладнанні.

Список використаних джерел розробки:

1. Доморощин С.В. Визначення спрацьованого ресурсу елегазового вимикача типу H G D 100/2 D, CGECALSTHOM за нечіткою моделлю / Доморощин С.В., Махлін П.В. // Електротехніка та електроенергетика - 2016. №2. ISSN 1607-6761.,
2. Афонин В.В. Элегазовые выключатели распределительных устройств высокого напряжения: учебное пособие/ В.В. Афонин, К.А. Набатов: Изд-во Тамб. Гос. ун-та, 2009, 96с.,
3. Аметисов Е.И. Основы современной энергетики под общей редакцией чл.-корр. РАН. Е.В. Аметисова. Москва: Издательство МЭИ, 2004, 822С.,
4. Неклепаев Б.Н. Электрическая часть электростанции и подстанции / Б.Н. Неклепаев, И.П. Крючков. Москва: Энергоатомиздат, 1989, 605с., Усов С.В. Электрическая часть станции // СВ. Усов [и др.]. М: Энергия, 1977, 420 с.
5. Аракелян В.Г. Методы обеспечения качества элегаза в высоковольтных аппаратах // Всес. конференция «Создание комплексов электротехнического оборудования высоковольтной, преобразовательной и силовоточной техники»: Тезисы доклада. М.: ВДНХ СССР, 25-27 ноября 1986. С. 17.
6. Аракелян В.Г. Анализ состояния влаги в элегазовом оборудовании // Электротехника. 1993. №9-10. С. 32-35.

4. Вимоги до виконання МКР

Вимоги до виконання викладені у відповідних нормативних матеріалах з використанням основних законів електротехніки і методів розрахунку струмів короткого замикання .

5. Економічні показники

Провести порівняння двох варіантів впровадження високовольтних вимикачів із застосуванням елегазового вимикача ВГТ-110 У1 і масляного МКП-110 У1.

6. Етапи МКР та очікувані результати

№ етапу	Назва етапу	Термін виконання		Очікувані результати
		початок	кінець	
1	Розроблення технічного завдання	02.09.19	06.09.19	формування технічного завдання
2	Аналіз методів експлуатації елегазових вимикачів	09.09.19	13.09.19	аналітичний огляд літературних джерел, задачі досліджень, розділ 1 ПЗ
3	Дослідження особливостей ремонту високовольтних вимикачів	16.09.19	27.09.19	розділ 2
4	Аналіз методів та засобів ремонту елегазових вимикачів	30.09.19	11.10.19	розділ 3
5	Дослідження якості елегазу в електрообладнанні	15.10.19	25.10.19	розділ 4
6	Економічні розрахунки	28.10.19	15.11.19	розділ 5
7	Розроблення заходів безпеки життєдіяльності та цивільного захисту	18.11.19	29.11.19	розділ 6
10	Оформлення пояснювальної записки та презентації	02.12.19	06.12.19	презентація

7. Матеріали, що подаються до захисту МКР

Пояснювальна записка МКР, ілюстративні матеріали, відгук наукового керівника, відгук рецензента, протоколи складання державних іспитів, анотації до МКР українською та іноземною мовами.

8. Порядок контролю виконання та захисту МКР

Виконання етапів розрахункової документації МКР контролюється науковим керівником згідно зі встановленими термінами. Захист МКР відбувається на засіданні Державної екзаменаційної комісії, затвердженою наказом ректора.

9. Вимоги до оформлення МКР

Вимоги викладені в «Положенні про кваліфікаційну роботу у Вінницькому національному технічному університеті (БДР (БД), ДП (ДР), МКР)», 2015р.

10. Вимоги щодо технічного захисту інформації в МКР з обмеженим доступом

Відсутні.

Додаток Б

Графічна частина

АКТУАЛЬНІСТЬ ТЕМИ

2

Актуальність теми: Впровадження елегазових вимикачів в електроенергетиці дає можливість споживачу отримати надійне електропостачання. Вимикач відіграє важливу роль в постачанні енергії та являється одним з основних пристроїв в електричних установках. В залежності від режиму роботи вимикач виконує функцію як відключення, так і включення ланцюгу живлення: тривале навантаження, перевантаження, коротке замикання, холостий хід. Вимикач з елегазовою ізоляцією швидко і надійно виконує операцію відключення струмів при короткому замиканні. Отже дослідження систем елегазового вимикача є актуальним.

Мета і задачі дослідження. *Метою магістерської роботи є вдосконалення методів та засобів експлуатації елегазових вимикачів.*

Задачі досліджень:

- дослідити конструктивні особливості елегазових вимикачів;
- аналіз існуючих методів експлуатації;
- провести дослідження особливостей елегазу та елегазового обладнання;
- дослідити особливості ремонту високовольних вимикачів;
- визначення економічних показників впровадження нового елегазового обладнання, в порівнянні з його старими варіантам;
- дослідження якості елегазу в електрообладнанні.

АНАЛІЗ ПАРКУ ВИСОКОВОЛЬНИХ ВИМИКАЧІВ В СВІТІ ТА УКРАЇНІ

3

В сучасних енергосистемах відбувається поступове введення високовольного обладнання з елегазовим ізоляційним середовищем та заміна електричного устаткування на основі масляної та повітряної ізоляції на новий, більш вигідний і актуальний варіант.

Впровадження елегазового обладнання в енергосистемах високих класів напруги (від 110 кВ до 1150 кВ) обумовлене тим, що жодне інше дугогасильне середовище не здатне забезпечити більш ефективне відключення аварійних режимів (табл. 3.1). Наприклад, в США і європейських країнах дане ізоляційне середовище практично витіснило всі інші типи.

Таблиця 3.1 – Динаміка заміни вимикачів в світі

Рік	Кількість, шт.	Доля в % від кількості встановлених вимикачів
2001-2005	9017	34,4
2006-2010	3659	13,9
2011-2015	2742	10,4
До 2015	15418	58,7

КОНСТРУКТИВНІ ОСОБЛИВОСТІ ЕЛЕГАЗОВИХ ВИМИКАЧІВ

4.1

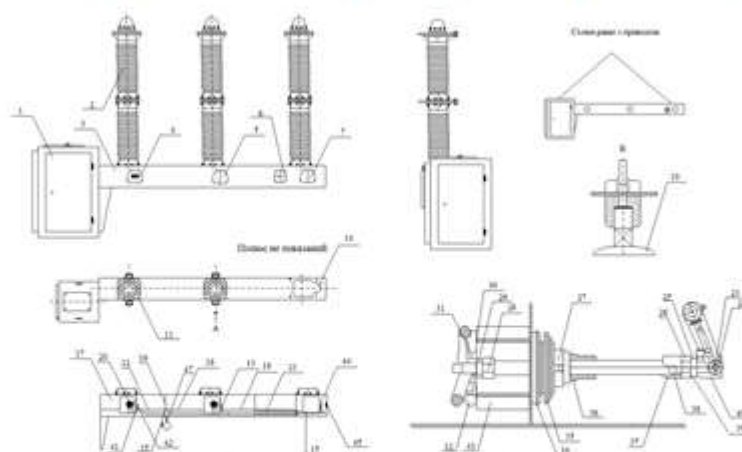


Рисунок 4.1 – Загальний вид ВГТ-110

На рисунку 4.1 зображено: 1 – привід, 2 – полюс, 3 – рама, 4,5,6,7 – кришки, 10 – сигналізатор (датчик щільності, 11 – гвинт, 12,13,14 – трубки, 15 – кабель, 16 – корпус, 17, 18, 19 – тяга, 20 – важелі, 21 – пружина відключення, 22 – вісь, 23 – фіксатор, 24 – планка ступорна, 25, 26, 28, 29 – гайки, 27 – колпачок, 30 – кільце, 31, 39 – шайби, 32 – диск, 33 – опора буфера, 34 – шайба, 35 – пружина тарілкоподібна, 36, 37 – втулки, 38, 46 – кільце резинове, 40, 42 – серезки, 41 – вилка, 43 – скоба транспортна, 44 – заглушка, 45 – пробка, 47 – газопровідний стакан.

КОНСТРУКТИВНІ ОСОБЛИВОСТІ ВИСОКОВОЛЬТНИХ ВИМИКАЧІВ 4.2

Рама вимикача являє собою зварену конструкцію, що складається з сталевих листового і профільного матеріалів. Усередині рами розміщуються відключаюча пружина, передавальний механізм, буферний пристрій, трубки системи заправки вимикача елегазом або газовою сумішшю, показник положення контактів вимикача. Також на рамі розташовуються сигналізатор щільності елегазу або газової суміші і болт заземлення з відповідною табличкою.

Полюс вимикача є заповненою елегазом або газовою сумішшю колоною, що складається з двох покритих фланцями, дугогасильного пристрою з контактними виводами, фільтра - вологопопинача, мембранного запобіжного клапана, поворотного механізму і ізоляційної тяги.

Фільтр - вологопопинач являє собою кожух у вигляді циліндричної ємності з перфорованою кришкою, в якій поміщений мішок з активованим адсорбентом (синтетичний цеоліт). Фільтр призначений для поглинання вологи і продуктів розкладання (під дією дуги) газової суміші.

Принцип роботи вимикача полягає в гасінні електричної дуги потоком елегазу або газової суміші, яка виникне в процесі розмикання контактів (під дією пружини відключення вимикачу), як за рахунок зменшення об'єму однієї з порожнин поршневого пристрою, так і за рахунок теплового розширення газу під дією самої електричної дуги (тобто за рахунок автогенерації).

Визначення концентрації речовини в дугогасильній камері

5.1

Підготовка вимикача до заповнення елегазом представляє собою комбінацію вакуумування і промивки його інертним газом з ціллю зниження концентрації домішок. Це стосується як зниження концентрації домішок кисню і води для забезпечення відповідних параметрів якості елегазу.

Концентрація кисню в повітрі (до вакуумування вимикача) складає

$$C = \rho_{O_2} (C_{O_2} / 100), \quad (5.1)$$

де $\rho_{O_2} = 1,29 \text{ кг/м}^3$

C_{O_2} - масова концентрація кисню в повітрі (23%).

Після вакуумування до залишкового тиску, концентрація кисню складе

$$C = 1,29(23/100)(\rho'_{\text{ост}}/1000). \quad (5.2)$$

Визначення концентрації речовини в дугогасильній камері

5.2

Промивання вимикача азотом з заповненням до тиску ρ_{N_2} і наступним вакуумуванням до $\rho'_{\text{ост}}$ приведе до значення концентрації

$$C = 1,29(23/100)(\rho'_{\text{ост}}/1000)[\rho'_{\text{ост}}/(\rho_{N_2} - \rho'_{\text{ост}})]. \quad (5.3)$$

Після заповнення апарату елегазом до щільності ρ_{SF_6} концентрація кисню складе:

$$C = C_{O_2}^{SF_6} + 1,29(23/100)(\rho'_{\text{ост}}/1000)[\rho'_{\text{ост}}/(\rho_{N_2} - \rho'_{\text{ост}})](10^6/\rho_{SF_6}), \quad (5.4)$$

Концентрація повітря може бути розрахована по аналогічному рівнянню:

$$C_{\text{ост}} = C_{\text{ост}}^{SF_6} - 0,129(\rho'_{\text{ост}}\rho'_{\text{ост}})/[(\rho_{N_2} - \rho'_{\text{ост}})](\rho_{SF_6}), \quad (5.5)$$

де $C_{\text{ост}}^{SF_6}$ - концентрація повітря в самому елегазі, % - мас.

Концентрація елегазу може бути розрахована по аналогічному рівнянню:

$$C_{SF_6} = C_{SF_6}^{SF_6} - 0,129(\rho'_{\text{ост}}\rho'_{\text{ост}})/[(\rho_{N_2} - \rho'_{\text{ост}})](\rho_{SF_6}), \quad (5.6)$$

де $C_{SF_6}^{SF_6}$ - концентрація шестифтористої сірки в самому елегазі, % - мас.

Вплив вологи ізоляційних матеріалів на якість елегазу в вимикачі 6

Якщо концентрація води визначена в вагових одиницях, г/кг, то маса води, Q , може бути визначена як:

$$Q = C_{H_2O} V \rho_{H_2O}, \quad (6.1)$$

де V - об'єм апарату, ρ_{H_2O} - густина елегазу в апараті.

Маса води в ізоляційному матеріалі за умови його повного насичення може бути підрахована як добуток маси ізоляційного матеріалу на його граничний вологовміст.

$$Q = (q_x - \alpha_x^0 / 100) 1000 = 10 q_x \alpha_x^0. \quad (6.2)$$

Таблиця 6.1 – Вологовміст ізоляційних матеріалів

Ізоляційний матеріал	Вологовміст, % від маси
Композит KE-3 (наповнювач SiO2)	0,35
Композит KF-1 (наповнювач CaF2)	0,42
Композит KF-4 (наповнювач Al2O3)	0,46
Склетекстоліт	0,02
Лавсан-текстоліт	0,03
Фторопласт-4	0,006

Розрахунок часу розподілення вологи та адсорбції в ізоляційному матеріалі 7

Рівняння, яке дозволяє визначити час розподілу вологи в матеріалі та товщини шару ізоляційного матеріалу

$$t = \chi d^2 / \pi D. \quad (7.1)$$

Визначимо час рівномірного розподілу води в шарі ізолятора, товщиною 2 см:

$$\text{для } 2d=2 \text{ см } t = [10(2/2)^2] / [\pi \cdot 2 \cdot 10^{-9} \cdot 3600 \cdot 24 \cdot 365] = 50 \text{ років}. \quad (7.2)$$

Визначимо відносну інтегральну адсорбцію ізоляційного матеріалу товщиною 2 см (коефіцієнт дифузії $D = 2 \cdot 10^{-9}$) за 10 років:

$$\chi = \pi \cdot 2 \cdot 10^{-9} \cdot 3600 \cdot 24 \cdot 365 \cdot 10 / (2/2)^2 = 1,98; \quad (7.3)$$

Оскільки $\chi = 1,98$, то відношення відносної інтегральної адсорбції до адсорбції при повному насиченні 0,85.

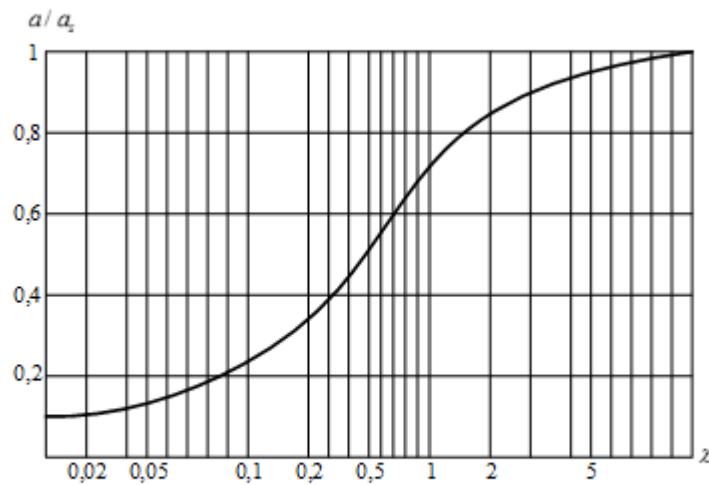


Рисунок 8.1 – Залежність відношення відносної інтегральної адсорбції до адсорбції при повному насиченні від нормалізованого часу

Визначення вологовмісту ізоляторів з КФ-4

Визначимо вологовміст ізоляторів з КФ-4 товщиною 0,5, 1, 2 і 4 см при зберіганні їх протягом 6 місяців на складі з відносною вологістю 40%.

Розрахуємо χ і за графіком 8.1 визначимо a/a_∞ ,

$$\text{для } 0,5 \text{ см } \chi = 0,46 \cdot 0,4 \cdot a/a_\infty = 0,46 \cdot 0,4 \cdot 0,7 = 0,129, \quad a/a_\infty = 0,7; \quad (9.1)$$

$$\text{для } 1 \text{ см } \chi = 0,4; \quad a/a_\infty = 0,4;$$

$$\text{для } 2 \text{ см } \chi = 0,1; \quad a/a_\infty = 0,2;$$

$$\text{для } 4 \text{ см } \chi = 0,025; \quad a/a_\infty = 0,1;$$

Граничний вологовміст КФ-4 складає 0,46 г води на 100 г компаунду (табл.6.1). При 40% відносній вологості рівномірний вологовміст складав би 0,46·0,4 г води на 100 г компаунду. З урахуванням нерівномірного розподілення вологовміст ізоляторів буде рівний

$$0,46 \cdot 0,4 \cdot a/a_\infty = 0,46 \cdot 0,4 \cdot 0,7 = 0,129 \text{ г води на } 100 \text{ г компаунду при його товщині } 0,5 \text{ см}$$

$$\text{при товщині } 1 \text{ см} - 0,074;$$

$$\text{при товщині } 2 \text{ см} - 0,037;$$

$$\text{при товщині } 4 \text{ см} - 0,018.$$

Розрахунок дифузійної втрати елегазу за 1 рік

Тиск в вимикачі при щільності 30 кг/м^3 , складає близько 0,48 МПа за температури 20°C.

$$Q_D = 10^{-4} \cdot 0,48 \cdot 1,3 \cdot 1557 \cdot 10^7 \cdot 150 \cdot 146 / 22400 = 0,15 \text{ г} \quad (9.2)$$

або $0,15 / 9000 \cdot 100 = 1,6 \cdot 10^{-2} \%$ від загальної маси.

Визначення тиску в вимикачеві для нижньої і верхньої границь температури навколишнього середовища 10.1

Проведемо розрахунок визначення тиску в вимикачеві для нижньої і верхньої границь температури навколишнього середовища.

Припустимо, що вимикач був заповнений елегазом при температурі 20°C до абсолютного тиску 0,25 МПа. Знаходимо відповідну точку на рис.10.1

Лінія постійного об'єму (ізохора), що приходить в цю точку, дозволяє визначити питомий об'єм елегазу $v = 65 \text{ дм}^3 / \text{кг}$ і густину, що являється його оберненою величиною,

$$\rho = 1/v = 1/65 = 15,4 \text{ кг/дм}^3. \quad (10.1)$$

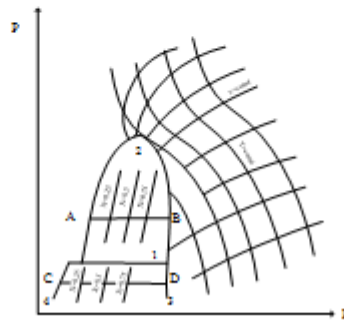


Рисунок 10.1 – p,h-діаграма стану речовини

Визначення тиску в вимикачеві для нижньої і верхньої границь температури навколишнього середовища 10.2

Якщо вимикач не має витoku, то зміни температури апарата і відповідно тиск елегазу в ньому буде проходити при постійному об'ємі, тобто по ізохорі. Переміщуючись по ізохорі

$v = 65 \text{ дм}^3 / \text{кг}$ вправо і вліво від початкової точки, визначимо інтервал тиску в апараті.

Так для мінімальної робочої температури -40°C (вліворуч по ізохорі до $t = -40^\circ\text{C}$) абсолютний тиск впаде до 0,193 МПа, а для максимальної робочої температури 80°C (праворуч по ізохорі до $t = 80^\circ\text{C}$) підніметься до 0,3 МПа.

Розрахунок густини елегазу при частинній конденсації або сублимації буде наступним: апарат призначений для використання до температури -60°C. По лінії насичення від температури -44°C опускаємося до значення -60°C і розраховуємо відповідне цій точці значення питомого об'єму, що рівне $v = 89 \text{ дм}^3 / \text{кг}$. Відповідно густина складає

$$\rho = 1000/89 = 11,2 \text{ кг/дм}^3.$$

Необхідно врахувати ту обставину, що номінальна щільність елегазу буде зберігатися тільки до температури -44°C, а далі буде знижуватися за рахунок конденсації. Нижче температури -50,8°C рідина затвердіє і щільність елегазу буде знижуватися за рахунок сублимації.

Номінальна щільність вибирається з умов електричної міцності. Але вона повинна відповідати умовам роботи апарату. Якщо задана нижня межа робочої температури і зниження щільності заборонено, то пошук номінальної щільності здійснюється по кривій насичення. Наприклад, нижня межа робочої температури рівна -40°C. Відповідна ізохора

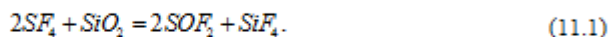
$v = 34 \text{ дм}^3 / \text{кг}$ тобто номінальна щільність не може бути вибрана більше ніж $29,4 \text{ кг/дм}^3$

Дослідження ізоляційних матеріалів для дугогасильної камери

11

Головний продукт розкладу шестифтористої сірки – чотирьохфториста сірка – досить агресивне хімічне з'єднання, що являється сильним фторуючим агентом, легко взаємодіє з окиснями, а при гідролізі продукує плавикову кислоту.

Зазвичай застосовується компаунд, наповнений кварцевим борошном. Цей матеріал виявився непридатним для виготовлення твердих ізоляторів в елегазовому вимикачі: чотирьохфториста сірка легко реагує з окиснем кремнію, видозмінюючи поверхність ізолятора:



Головним і найбільш агресивним компонентом серед продуктів розкладу являється чотирьохфториста сірка, то перш за все оцінка стійкості матеріалів повинна виходити по цьому компоненту.

При випробуваннях конструкційних металічних матеріалів зверталась увага на зовнішній вигляд і питомі вагові характеристики, по яким розраховувалась швидкість корозії і глибина проникнення хімічного впливу.

Випробування металів, сплавів і їх покриття показали, що дія корозії не спостерігається на нікель і нержавіючу сталь, а також на сталі марок Ст-3КП, Ст-20, Ст-10ХК і Ст-60С2, хоча адсорбція продуктів розкладу на їх поверхні може досягати величини 0,45 мг/см.

ВИСНОВКИ

12

В магістерській кваліфікаційній роботі досліджено методи та засоби експлуатації елегазових вимикачів.

1. Проведені дослідження програми технічного переозброєння і реконструкції електроенергетичних систем та енергокомпаній, яка передбачає заміну вимикачів (напругою понад 110 кВ), що відпрацювали свій паспортний ресурс. В першу чергу при заміні повинні використовуватися елегазові вимикачі, так як елегазове ізоляційне середовище є найбільш ефективним, у порівнянні з іншими варіантами ізоляції.

2. Результати експлуатації елегазових вимикачів свідчать про те, що найбільш часто місцями витіку елегазу є ущільнення кришок, газорозподільні трубки і зварні шви фланців.

3. Однією з найбільш розповсюджених несправностей є збільшення електричного опору головного кола струмопроводу. Причиною цього може бути окислення поверхонь контактних з'єднань. Через неякісний адсорбент фільтрів може виникнути висока вологість елегазу або газової суміші в полюсах по показникам гігрометру. Тому потрібно вчасно замінювати адсорбент.

4. За результатами аналізу різних видів твердої ізоляції для елегазового обладнання з'ясовано, що фторопласт 4 і склотекстоліт є найбільш доцільними для використання, тому що їх вологовміст при повному і рівномірному насиченні і температурі 20°C є найменшим – 0,006 і 0,02 відповідно (що забезпечує кращі показники елегазу в дугогасильних камерах під час експлуатації).

ВИСНОВКИ (продовження)

13

5. Проведено порівняння показників застосування масляних і електричних вимикачів. Наведені витрати на застосування масляного вимикача складають 8357,32 грн/рік, а витрати на застосування електричного вимикача становлять 7482,673 грн/рік. Хоч і вартість електричного вимикача складає 456000 грн, що на порядок більше вартості масляного (342000 грн), за іншими економічними показниками електричний вимикач простіший і дешевший в експлуатації. Для впровадження на підстанції виберемо сучасне, надійне і більш просте в експлуатації електричне обладнання - вимикач ВГТ-110 У1.