

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

ФТІ, Електротехнічний факультет

(повне найменування інституту, факультету)

Кафедра електричних та електронних апаратів

(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

магістр

(ступінь вищої освіти)

на тему Дослідження методів підвищення роботоздатності ВИСОКОВОЛЬТНОГО
вводу 220 кВ, 2000 А маслонаповненого вимикача

Виконав: студент(ка) 2 курсу, групи Е-411м

Спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)
«Електричні та електронні апарати»

Поляков Д. В.

(прізвище та ініціали)

Керівник Жорняк Л. Б.

(прізвище та ініціали)

Рецензент _____

(прізвище та ініціали)

2022 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»
 (повне найменування закладу вищої освіти)

Інститут, факультет ФТІ, Електротехнічний факультет
 Кафедра електричних та електронних апаратів
 Ступінь вищої освіти магістр
 Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
 (код і найменування)
 Освітня програма (спеціалізація) «Електромеханічне обладнання енергоємних виробництв»
 (назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____

_____ проф. Петро АНДРІЄНКО
 «__» _____ 2022__ року

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)

_____ Поляков Данило Вікторович _____

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Дослідження методів підвищення роботоздатності високовольтного вводу 220 кВ, 2000 А _маслонаповненого вимикача

керівник проєкту (роботи) Жорняк Людмила Борисівна, к.т.н., доцент,

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від «24» жовтня 2022 року № 342

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) 10 грудня 2022 р.

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) Найбільша напруга робоча 50 Гц 252 кВ, максимальна фазна напруга вводу 153 кВ, номінальний струм вводу 2000 А, струм термічної стійкості I_T 50 кА, струм динамічної стійкості I_d

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Реферат. Вступ. 1 Техніко-економічне обґрунтування. 2 Огляд існуючих конструкцій високовольтних ввідів трансформаторного обладнання. 3 Розрахунок струмопровідного контуру. 4 Розрахунок прохідного ізолятора трансформаторного вводу. 5 Дослідження підвищення якості зовнішньої ізоляції вводу 330 кВ. Висновки. Перелік джерел посилань.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Високовольтний ввід 220 кВ Складальне креслення – А1, 1 лист

Ізоляція Складальне креслення – А1, 1 лист

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
Технічний	Жорняк Л.Б., доцент		

7. Дата видачі завдання « _____ » _____ 2022__ року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
1	Огляд існуючих конструкцій введів високовольтних вимикачів	01.10.2022- 17.10.2022	
2	Розрахунок струмопровідної частини	18.10.2022- 25.10.2022	
3	Розрахунок внутрішньої електричної ізоляції вводу 220 кВ	26.10.2022	
4	Виконання загального виду виробу, робочих креслень головних вузлів та деталей апарата	27.10.2022- 01.11.2022	
5	Здача магістерської роботи до репозиторію	08.11.2022	
6	Оформлення розрахунково-пояснювальної записки магістерської роботи	15.11.2022	
7	Нормоконтроль та затвердження завідувачем кафедри	16.11.2022- 29.11.2022	
8	Рецензування магістерської роботи	30.11.2022- 06.12.2022	
9	Захист магістерської роботи	07.12.2022- 15.12.2022	

Студент(ка)

(підпис)

Поляков Д. В.

(прізвище та ініціали)

Керівник проєкту (роботи)

(підпис)

Жорняк Л.Б.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

ПЗ: 81 с., 27 рис., 5 табл., 61 джерело.

ІЗОЛЯЦІЯ, ВВОД, ПРОКЛАДКА, ПРОСОЧЕНИЙ МАСЛОМ ПАПІР, СТРУМОПРОВІДНА СИСТЕМА, ВИСОКОВОЛЬНИЙ ВВОД, ФЛАНЕЦЬ, НОМІНАЛЬНА НАПРУГА, СТРУМ, МАСЛОНАПОВНЕНИЙ ВИМИКАЧ, ТВЕРДА ІЗОЛЯЦІЯ, ТЕРМОВАКУУМНЕ ПРОСОЧЕННЯ.

Об'єкт дослідження – внутрішня та зовнішня ізоляції вводу високовольтного вимикача вводу 220 кВ, 2000 А.

Предмет дослідження – високовольтний ввід 220 кВ, 2000 А маслonaповненого вимикача.

Мета роботи – дослідження можливостей підвищення роботоздатності та надійності роботи маслonaповнених вимикачів за рахунок удосконалення конструкції його високовольтних вводів.

Метод дослідження – розрахунково-аналітичний, пошуковий, послідовних наближень.

Актуальність. Значимість високовольтних вводів обумовлена забезпеченням створення надійної роботи систем електропостачання та небезпекою виникнення пошкоджень зі значними матеріальними втратами. Тому необхідність підвищення надійності та ефективності роботи вводів за допомогою технологічних нововведень, є актуальним завданням.

Основою електричних розрахунків внутрішньої ізоляції будь-якого виду є допустимі значення напруженостей. Від грамотної оцінки значень цих напруженостей вирішальним чином залежать техніко-економічні показники введення, що розробляється. Завищені значення робочих напруженостей ведуть до скорочення термінів служби ізоляції, а занижені значення – до невиправданого збільшення її розмірів, підвищеної витрати матеріалів, більш трудомісткого та тривалого виконання технологічних операцій.

Однією з найбільш складних проблем сучасної ізоляційної техніки є визначення допустимих значень робочих напруженостей у внутрішній ізоляції, тобто напруженостей, при яких із заданою імовірністю забезпечується заданий термін служби виробу. Темпи електричного старіння ізоляції повинні відповідати вимогам до терміну служби. І тут важливо дотриматися умов обмеження темпів електричного старіння матеріалу.

Для достовірної оцінки допустимого значення робочої напруженості необхідні як науково-обґрунтоване уявлення про фізичну сутність та закономірності процесів електричного старіння ізоляції, так і прямі експерименти зі змінами термінів служби зразків ізоляції в різних умовах та вимірювання параметрів, що характеризують умови старіння.

Актуальність магістерської роботи пояснюється тим, що підвищення експлуатаційної надійності і ефективності роботи вимикачів можливе за рахунок поліпшення внутрішньої та зовнішньої ізоляцій, використання новітніх технологічних рішень, а також моніторингових випробувань. Все це призводить до продовження терміну служби обладнання станцій та підстанцій.

У першому розділі наведено огляд існуючих конструкцій вводів високовольтних вимикачів, проведено аналіз ушкоджень і пошкоджень ізоляції високовольтних вводів.

У другому розділі проведено розрахунок струмопровідної частини вводу, її термічної та динамічної стійкості.

У третьому розділі проведено розрахунок внутрішньої ізоляції високовольтного вводу.

У четвертому розділі проведено дослідження методів підвищення якості зовнішньої ізоляції вводу 220 кВ.

Апробація результатів. Результати магістерської роботи доповідалися та обговорювалися на студентській конференції «Тиждень науки – 2022» у Запоріжжі 18–22 квітня 2022 р..

Публікації. Поляков, К.С. Методи підвищення роботоздатності високовольтних вводів [Електронний ресурс] / Л. Б. Жорняк, К. С. Поляков, Т. М. Чабан // Тиж-

день науки-2022. Збірник тез доповідей щорічної науково-практичної конференції серед студентів, викладачів, науковців, молодих учених і аспірантів 18–22 квітня 2022 року Електронне видання на DVD-ROM Запоріжжя • НУ «Запорізька політехніка» • 2022 – Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2022. С. 372–373. ISBN 978-617-529-360-7 https://zp.edu.ua/uploads/dept_s&r/2022/conf/4.1/TN_2022.pdf.

Анотація. У магістерській роботі представлено новий вид високовольтних вводів із RIN-ізоляцією (Resin Impregnated Nonwoven) для масляних вимикачів. Проведено огляд існуючих конструктивних і технічних методів підвищення надійності високовольтних вводів, вивчено технологічні методи підвищення показників якості трансформаторного масла. Розраховано термічну стійкість, електричну ізоляцію, визначені розміри внутрішньої та зовнішньої ізоляції вводу маслонаповненого вимикача на 220 кВ з номінальним струмом 2000 А.

Запропоновано новий вид зовнішньої ізоляції вводу виробництва ABB O Plus Dry, виготовлений з новітніх матеріалів, техніки та процесів. У вводах O Plus Dry використовується просочена синтетична смола та (RIS) – технологія, в результаті чого не містять масло, папір або порцеляну. Завдяки запропонованим технічним рішенням значно підвищується надійність та ефективність роботи вводів і відповідно зниження їх розмірів, витрат матеріалів, трудомісткості та тривалості виконання технологічних операцій.

Abstract. The master's thesis presents a new type of high-voltage bushings with RIN insulation (Resin Impregnated Nonwoven) for oil circuit breakers. An overview of the existing constructive and technical methods of increasing the reliability of high-voltage bushings was conducted, technological methods of increasing the quality indicators of transformer oil were studied. The thermal stability, electrical insulation, the dimensions of the internal and external insulation of the input of the oil-filled circuit breaker for 220 kV with a nominal current of 2000 A have been calculated.

A new type of external insulation of the inlet produced by ABB O Plus Dry, made of the latest materials, techniques and processes, is offered. O Plus Dry inserts use impregnated synthetic resin and (RIS) technology, resulting in no oil, paper or porcelain. Thanks to

the proposed technical solutions, the reliability and efficiency of the inputs are significantly increased and, accordingly, their size, material consumption, labour intensity and duration of technological operations are reduced.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	10
1 ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ КОНСТРУКЦІЙ ВВОДІВ ВИСОКОВОЛЬТ- НИХ ВИМИКАЧІВ.....	13
1.1 Конструкція вводів з паперово-масляною ізоляцією.....	16
1.2 Конструкція вводів з твердою RVP-ізоляцією.....	21
1.3 Конструкція вводів із RIP-ізоляцією.....	25
1.4 Конструкція вводів з елегазовою ізоляцією.....	35
1.5 Застосування азотної подушки.....	35
1.6 Конструкція вводів із RIN-ізоляцією.....	37
1.7 Висновки.....	42
2 РОЗРАХУНОК СТРУМОПРОВІДНОЇ ЧАСТИНИ	44
2.1 Вибір струмопровідної частини	44
2.2 Розрахунок втрат.....	44
2.3 Розрахунок при струмах короткого замикання.....	49
2.4 Розрахунок контактних з'єднань.....	50
2.5 Перевірка розрахунку контактного з'єднання	52
3 ДОСЛІДЖЕННЯ ВНУТРІШНЬОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ІЗОЛЯЦІЇ ВВОДУ.....	54
3.1 Розрахунок електричної ізоляції вводу.....	54
3.2 Визначення розмірів зовнішньої ізоляції.....	57
3.3 Розрахунок термічної стійкості прохідного ізолятора.....	59
4 ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ЗОВНІШНЬОЇ ІЗОЛЯЦІЇ ВВОДУ 220 КВ.....	61

4.1 Область застосування масло-повітряного вводу з внутрішньою ізоляцією конденсаторного типу сімейства O Plus Dry™	61
4.2 Конструкція високовольного вводу O Plus Dry™.....	62
4.3 Методика розрахунку температурного режиму вводу.....	67
4.4 Методика розрахунку номінального струму короткого замикання вводу	70
ВИСНОВКИ.....	74
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ	76

ВСТУП

Сучасне суспільство потребує надійного та безперервного постачання електроенергії. Метою енергосистеми є виробництво, передача та розподіл електроенергії з мінімальним ризиком для людей та навколишнього середовища. Сьогодні на світовому ринку представлений широкий асортимент високовольтних вводів, що відрізняються напругою та виконанням [39].

Вимикач є основним приладом в електрообладнанні. Служить для вимикання та включення в колі в будь-яких режимах роботи: тривале навантаження, перевантаження, коротке замикання, обрив, асинхронний режим. Велика кількість масляних вимикачів експлуатується вже більше 30 років [18, 22, 24, 26]. Повторне розміщення такого обладнання технічно неможливе та економічно непридатне. Найважливішим завданням є збільшення терміну служби маслонаповненого обладнання разом із систематичною заміною застарілого обладнання. При експлуатації високовольтних вводів пошкодження можуть призвести як до пошкодження шини, так і до вимикача. Високовольтні вводи є одним з основних компонентів трансформаторів, шунтуючих реакторів і масляних вимикачів, а їх пошкодження може спричинити аварійне пвідмикання електрообладнання електростанції та припинення подачі електроенергії

В енергосистемах України продовжує експлуатуватися велика кількість масляних вимикачів (МВ) на 35, 110 та 220 кВ. Аварійність таких вимикачів пов'язана з ушкодженням вводів, частіше і більше, ніж у силових трансформаторів. Це є наслідком зволоження твердої ізоляції вводів при неправильному зберіганні та експлуатації. У МВ застосовують вводи з твердою ізоляцією типу RBP (Resin Bonded Paper) – папір склеєний смолою, а вже з 2004 р. – типу RIP (Resin Impregnated Paper) – папери, просоченої смолою. Найсучасніша тверда RIP-ізоляція, теж схильна до впливу вологи, хоча й меншою мірою, ніж RBP-ізоляція [29, 31, 32, 33, 35].

Навіть термовакuumне просочення епоксидним компаундом не усуває повністю гігроскопічність паперу. Молекули компонентів компаунда мають великі розміри в порівнянні з розмірами молекул води і не в змозі створити повну непроникність для вологи, тому що в найбільш дрібні пори паперу вони не можуть проникнути. Мікро-

пори між молекулами целюлози сягають близько 10 А, макропори сягають близько від 25 А до 40 А, молекули води сягають близько 2,5 А, а розміри молекул компонентів епоксидного компаунду сягають навіть близько від 30 А до 50 А [15, 16, 24, 41].

Головними причинами втрати ізоляційних властивостей у вводів є особливості конструкції масляних вимикачів, тобто коли поверхня нижньої частини вводу не повністю закривається маслом і знаходиться в атмосфері вологого повітря, а також умови експлуатації, за яких баки масляних вимикачів є негерметичними, тому в маслі накопичується висока кількість води. Іншою причиною високої аварійності є недотримання умов зберігання вводів, запропоновані виробником. Частина вводи, яка під час експлуатації повинна бути поза баком масляного вимикача під впливом факторів навколишнього середовища, має необхідний захист у вигляді зовнішньої ізоляції з фарфору або силікону. Нижня частина, яка після установки знаходиться всередині бака масляного вимикача, такого захисту не має. Тому для транспортування та зберігання вводів використовують водонепроникне пакування, всередині розміщується осушуючий матеріал. Однак, після надходження обладнання до складу споживач зобов'язаний проводити приймальні випробування, після яких вводи необхідно знову ретельно упакувати для захисту від вологи. Остання умова виконується не завжди, у цьому випадку волога повітря може проникати в основну ізоляцію. Це завжди супроводжується зростанням тангенсу кута діелектричних втрат, рівня часткових розрядів, при тривалому впливі вологи спостерігаються видимі сліди корозії, що проявляються у зміні кольору ізоляції, появі тріщини та бульбашок [40, 42].

Однією з найбільш складних проблем сучасної ізоляційної техніки є визначення допустимих значень робочих напруженостей у внутрішній ізоляції, тобто напруженостей, при яких із заданою імовірністю забезпечується заданий термін служби виробу. Темпи електричного старіння ізоляції повинні відповідати вимогам до терміну служби. І тут важливо дотриматися умов обмеження темпів електричного старіння матеріалу.

Для достовірної оцінки допустимого значення робочої напруженості необхідні як науково-обґрунтоване уявлення про фізичну сутність та закономірності процесів електричного старіння ізоляції, так і прямі експерименти зі змінами термінів служби

зразків ізоляції в різних умовах та вимірювання параметрів, що характеризують умови старіння.

Особливу важливість має контроль за дотриманням технології виготовлення на всіх стадіях виробничого циклу. Саме склад компаунду та технологічні режими, які відпрацьовувалися як розрахунковим так і експериментальним шляхом протягом тривалого часу є гарантією збереження високих діелектричних властивостей RIP-ізоляції кістяків протягом тривалих термінів експлуатації. Ретельний контроль за дотриманням технологічних режимів у процесі сушіння, просочення, а також під час циклу затвердіння забезпечують постійно високу якість одержуваних ізоляційних кістяків щодо рівня часткових розрядів та механічних показників. Після затвердіння ізоляційного кістяка надається певна форма шляхом токарної обробки [40, 42, 44, 48].

1 ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ КОНСТРУКЦІЙ ВВОДІВ ВИСОКОВОЛЬТНИХ ВИМИКАЧІВ

Маслонаповнений вимикач – це комутаційний апарат, призначений для оперативних включень та відключень окремих кіл або електрообладнання в енергосистемі, в нормальних або аварійних режимах при ручному або автоматичному керуванні (рис. 1.1). Високовольтний ввід є основним ізолюючим елементом вимикача, що забезпечує його надійну та безпечну роботу. Високовольтний ввід є конструктивно самостійним виробом і представляє собою прохідний ізолятор складної конструкції із зовнішньою та внутрішньою ізоляцією, призначений для роботи в найнесприятливіших умовах навколишнього середовища. Розміри вводу визначаються класом напруги масляного вимикача [40, 42, 53, 56, 58, 61].

У багатьох джерелах інформації наголошується, що накопичений досвід експлуатації та розбирання причин аварій дозволяє розробникам та науковцям зробити висновок, що основними причинами пошкоджень ізоляції RІP-вводів є дефекти заводського виготовлення, підвищена температура верхніх шарів олії, наявність залишкових механічних напруг, особливо при експлуатації в регіонах з низькими температурами. Різноманітність факторів, що впливають, їх випадковий характер у процесі експлуатації роблять завдання прогнозування терміну служби за результатами періодичних випробувань важко здійснити. При цьому в переважній більшості випадків погіршення електричних параметрів вводів відбувається не миттєво і може бути своєчасно виявлено системою неперервного контролю [42, 43, 46].

Вимоги сучасного міжнародного ринку електротехнічного обладнання ставлять перед розробниками сучасних компаній та виробниками заводами ряд завдань, без рішення яких про успішну конкуренцію із західними фірмами. На світовому ринку працюють лише 8 фірм, що виготовляють високовольтні вводи у сучасних умовах, тобто це є різні світові виробники.



Рисунок 1.1 – Масляний вимикач 220 кВ [2, 4].

На теперішній час широко поширеними високовольтними вводами є конструкції з такими видами внутрішньої ізоляції як, паперово-масляна ізоляція (ПМІ), RBP-ізоляція (Resin Bounded Paper, тобто папір, покритий смолою), RIP-ізоляцією (Resin Impregnated Paper, тобто папір просочений смолою) та з RIN-ізоляцією (Resin Impregnated Nonwoven) (рис. 1.2).

Аналіз відмов та пошкоджень високовольтних вводів трансформаторів та масляних вимикачів напругою 110 та 220 кВ показує, що найчастіше у вводах виникають: порушення герметизації вводу, що призводить до витoku олії (14,6 %); руйнування нижньої порцелянової покришки, що призводить до неприпустимого погіршення діелектричних характеристик обладнання загалом (12,2 %); пробою та руйнування кістяка (14,6 %); зниження якості олії, що підтверджується результатами хроматографічного аналізу (146%) (див. рис. 1.3) [40, 41, 42, 43]. На основі всього вище переліченого в даній роботі було прийнято рішення підвищити надійність та ефективність роботи високовольтних вводів конструктивними та технологічними методами і, як наслідок, продовжити термін експлуатації всього обладнання, що і було розглянуто в даній роботі.

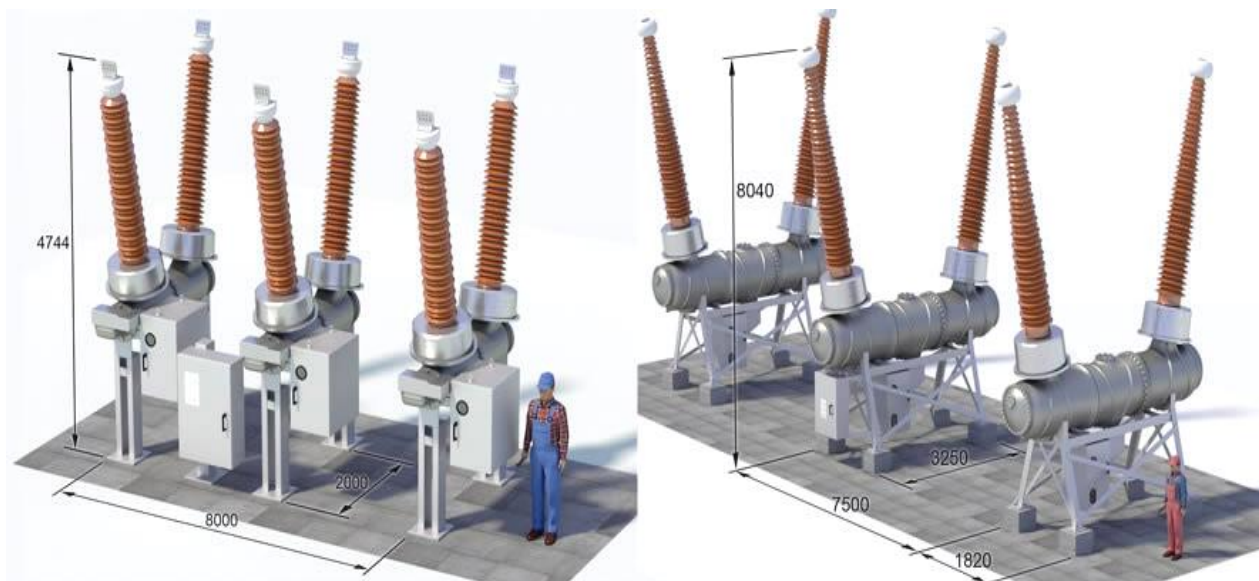


Рисунок 1.2 – Вимикачі із високовольтними вводами [6]



Рисунок 1.3 – Пошкодження поверхні вводу з RIP-ізоляцією [15]

Найважливішим елементом високовольтних вводів є внутрішня ізоляція, якість якої визначає надійність та внутрішній ресурс. Найпоширенішим типом внутрішньої ізоляції на сьогоднішній день була і залишається паперово-масляна ізоляція (OIP – oil impregnated paper). Пізніше з'явилася її альтернатива - тверда RBP (resin bounded paper) ізоляція. Великим кроком уперед стала жорстка RIP (resin impregnated paper) ізоляція [8, 9].

1.1 Конструкція вводів з паперово-масляною ізоляцією

В теперішній час більшість вводів, що знаходяться в експлуатації в енергосистемах різних країн, – це вводи з паперово-масляною ізоляцією (ПМІ), що потребують удосконалення та покращення показників якості. У даній конструкції вводу (рис. 1.4) на струмопровідний стрижень (трубу) або на паперово-бакелітовий циліндр намотується кабельний папір шириною від 100 мм до 120 мм за способом спірального намотування з позитивним перекриттям. Через певні проміжки між шарами паперу закладаються конденсаторні обкладинки перфорованої алюмінієвої фольги товщиною 0,01 мм для регулювання електричного поля. За більш досконалої технології застосовується намотування у два шари паперу: одного – чистого, а іншого – з друкованим металевим покриттям. Ізоляційний кістяк ізолятора просочується маслом, залитим у порожнину фарфорового чохла. Фахівці відзначають цілу низку переваг, завдяки яким ПМІ займає майже монопольне становище у вводах високої напруги. Це насамперед щодо низький рівень діелектричних втрат, висока короткочасна та тривала електрична міцність, сфера застосування до 750 кВ і вище, хороша сумісність з ізоляцією силових трансформаторів та шунтуючих реакторів [4, 47, 48, 49].

На рисунку прийняті такі позначення: 1 – мідна струмопровідна труба; 2 – паперові бакелітозовані циліндри; 3 – вирівнювальна обкладинка з алюмінієвої фольги; 4 – трансформаторне масло; 5 – верхня порцелянова покривка; 6 – стальна або чавунна з'єднувальна ввід; 7 – це чавунний фланець; 8 – це нижня порцелянова покривка; 9 – це прокладки (гума); 10 – це розширювач; 11 – це вказівник рівня масла; 12 – це контактний затискач.

У вводах з ПМІ трансформаторне масло здійснює одночасно дві функції: діелектрика та тепловідводного середовища. Однак, відомі і суттєві недоліки ПМІ і, як наслідок, проблеми експлуатації вводів, що призводить до високих витрат при обслуговуванні. Зміна якості масла і його діелектричних характеристик, і як наслідок, погіршення загальних ізоляційних характеристик обладнання, призводить до необхідності постійного моніторингу герметичності вводів і тиску масла в них, періодичного відбору масла для визначення його характеристик. У зв'язку з цим пред'являються підвищені вимоги до якості олії, такі як забезпечення необхідного охолодження вводу,

за рахунок малої динамічної в'язкості, температури застигання при знятому навантаженні в умовах холодного клімату.

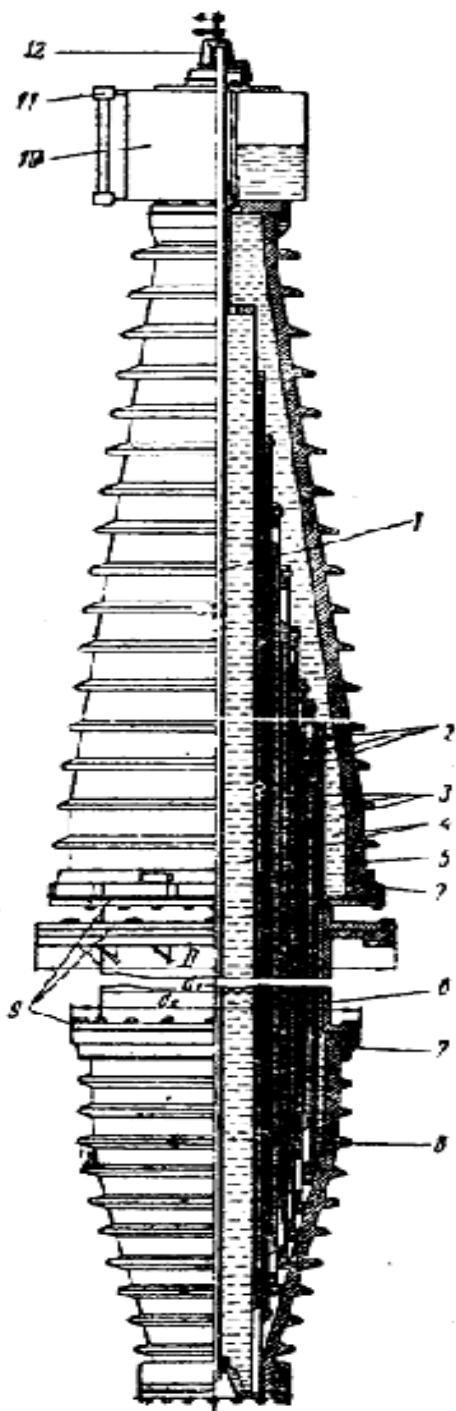


Рисунок 1.4 – Ввод з паперово-бар'єрною ізоляцією типа МВП 220 кВ для масляних вимикачів [21, 44]

Іншими словами, необхідно відслідковувати якість трансформаторної олії, яка в ідеальному варіанті не повинна змінювати свій хімічний склад протягом тривалого часу, погіршуючи теплову ізоляцію та викликаючи перегрів вводу за рахунок виділених опадів [21, 24, 28, 35, 41, 42, 47, 48]. Оскільки при експлуатації маслонаповнених вводів часто виникає потенційна небезпека пробою вводу і можливий витік олії з нього, трансформатора, вимикача або реактора, ведеться інтенсивна робота зі створення нових видів ізоляції. У таких випадках реальна небезпека забруднення навколишнього середовища, а пробою ізоляції або перекриття паперового остова на введенні, як правило, тягнуть за собою руйнування нижньої фарфорової покривки і можливі подальші загоряння трансформаторів, вимикачів або реакторів.

Високовольтні вводи мають несприятливе розташування електродів, що призводить до вкрай нерівномірного розподілу радіальної та аксіальної складових напруженості електричного поля [55, 61]. Для вирівнювання напруженості застосовують конденсаторні обкладки з алюмінієвої фольги (або напівпровідного паперу), які закладаються при виготовленні в ізоляцію в процесі її намотування. Однак, поряд з високими електроізоляційними властивостями паперово-масляної ізоляції, є у такої конструкції недолік: при пробою ізоляції, виводи просто вибухають, і уламки порцеляни розлітаються на десятки метрів, а іноді через це трапляються пожежі на трансформаторах. Високовольтний Ввод, що вибухнув, означає витік трансформаторного масла з трансформатора і бака масляного вимикача, що стає загрозою екології навколишнього середовища.

Тим не менш, при дотриманні технології та строгому контролі за якістю комплектуючих, діелектричні характеристики цього типу ізоляції такі, що дозволяють використовувати її у вводах усіх класів напруги [56, 60, 61]. За основну ізоляцію у паперово-бакелітових вводах застосовується бакелізований папір, товщиною 0,06 мм, який намотується на струмопровідний стрижень або трубу в гарячому стані, при температурі 160 - 185 °С. Між шарами паперу через певні проміжки закладаються зрівняльні обкладинки з алюмінієвої фольги. Отримана ввод запікається, кінці кістяка оточуються на верстаті з метою надання ізолятору певної форми (частіше конусної), а потім поверхня ізоляційного кістяка покривається вологостійким лаком. Для забезпечення герметичності між втулкою та остовом місця стику додатково заливаються

епоксидною смолою. Верхня частина остова, що розташовується в атмосферному повітрі, закривається порцеляноюю покриткою, на яку зверху встановлюється фланець. Стики покритки із сполучною втулкою та верхнім фланцем ущільнюються прокладками з малостійкої гуми. Такі вводи відрізняються простотою виготовлення, компактністю, мінімальним об'ємом масла, високою механічною міцністю, порівнянною з міцністю листового гетинаксу.

З початку ХХІ століття заводи-виробники високовольтного обладнання у класах напруги від 220 кВ до 500 кВ перейшли на випуск вводів з паперово-масляною ізоляцією та газовою подушкою (ГП) для трансформаторів та масляних вимикачів (див. рис. 1.5) замість вводів із силфонним вузлом. У верхній частині вводів є корпус з розташованим усередині об'ємом повітря $\approx 10\%$ від об'єму масла вводу. Для контролю рівня олії служить диск з боросилікатного скла, що розташований у корпусі маслопоказчика. При цьому через властивість скла не пропускатися ультрафіолетові промені старіння масла не відбувається. Слід зазначити, що вводи з ГП мають деякі особливості, які необхідно враховувати в експлуатації. Зокрема, вводи будуть працювати без надлишкового тиску або, принаймні, при низькому тиску. У стаціонарному режимі, як правило, у ГП встановлюватиметься тиск $P < 0$, що ускладнить контроль за фізико-хімічними показниками масла через складнощі з відбором проб. Необхідний відбір масла шприцом із зусиллям до штока, що може призвести, при поганій герметичності стикування «шприц-вентиль», до попадання бульбашок повітря безпосередньо в пробу, що відбирається.

Крім того, наявність ГП вимагає коригування норм по хроматографії розчинених газів в маслі, тому що необхідно враховувати динаміку переходу вуглеводневих газів з олії в газову подушку та точки рівноважного стану [15, 16, 18]. Позитивні результати проведених протягом двох років високовольтних випробувань у статичному режимі та різко змінному режимі дослідних зразків вводів від 200 кВ до 500 кВ дозволили зробити висновок про те, що розроблені конструкції високовольтних вводів з ГП, заповнених маслом, мають знижені значення робочої напруженості, можуть бути прийняті у виробництво.

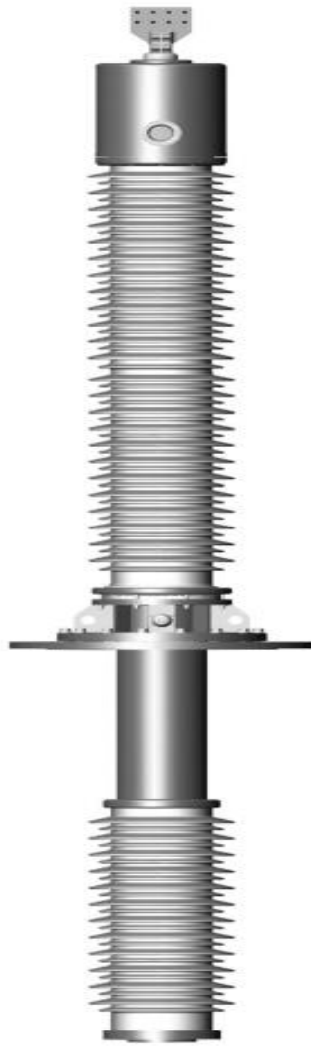


Рисунок 1.5 – Ввод з паперово-бар'ерною ізоляцією типу
ГМВІІ-15-220/2000 У1 кВ для масляних вимикачів 220 кВ та 2000 А
ЗАТ «Мосизолятор» [8, 12, 15]

Основним недоліком маслонаповнених вводів з ПМІ є можливість витікання масла та виникнення пожежі при аварійній ситуації, а також завищенні експлуатаційні витрати на обслуговування, тобто постійний контроль герметичності та тиску, відбір проб масла.

Альтернативою вводу з масляною ізоляцією є вводи з твердою ізоляцією, виготовлені за RVP- та RIP- технологіями [1, ..., 12].

1.2 Конструкція вводів з твердою RBP-ізоляцією

З 70-х років минулого століття в країнах СНД почали випускати високовольтні вводи на напругу до 110 кВ з RBP-ізоляцією. Взагалі, зараз випускаються вводи із внутрішньою RBP-ізоляцією таких типів: трансформаторні вводи, вводи вимикачів, а також лінійні вводи. Приклад таких вводів наведено на рис. 1.5.

Застосування RBP-ізоляції дозволяє знизити робочу напруженість електричного поля до 1,6-2,0 кВ/мм (тоді як ПМІ вона становить від 3,6 кВ/мм до 4,0 кВ/мм). Слід зазначити, що технологія виготовлення RBP-ізоляції призводить до дефектів, які підвищують рівень часткових розрядів у вводах до 250 пКл (як правило, для ПМІ він становить 10 пКл). Це пояснюється тим, що смола, яка наноситься на папір при намотуванні, проникає тільки в поверхневий шар, звідси значна частина обсягу паперу залишається не просіченою, тобто в результаті містить велику кількість газових включень [5, 10, 12].

Для того, щоб відповідати вимогам міжнародних стандартів у багатьох підприємствах було впроваджено в дію міжнародну систему менеджменту якості EN ISO 9001 та EN ISO 14001, а також розробка і якнайшвидше впровадження у виробництво вводів принципово нових конструкцій.

Такі фірми як «PASSONI&VILLA» (Італія) та «HSP» (Німеччина) виробляють остови з RBP-ізоляцією для виробництва вимикачів 110 кВ – остови для складання вводів 220-500 кВ з RBP-ізоляцією (див. рис. 1.8 та 1.9).

Ізоляційні остови вводів незалежно від класу напруги виконаний шляхом намотування електроізоляційного паперу на центральну трубу з наступним просоченням епоксидним компаундом під вакуумом (RIP-ізоляція). На остов за прийнятою методикою гарячого пресування насаджена з'єднувальна ввід. На з'єднувальну втулку встановлена порцелянова покривка, простір між якою та ізоляційним остовом заповнено трансформаторним маслом. У верхній частині вводів є корпус з пружинним вузлом і вузлом ущільнень. Для контролю рівня масла служить скло масловказівника в корпусі, на якому з внутрішньої сторони нанесені вертикальні риски. Риски візуально не видні на всьому діапазоні робочих температур вводу при нормальному заповненні

компенсатора вводу маслом. Нижня частина вводів під час експлуатації залишається відкритою в трансформаторному середовищі масла.

Компенсатор тиску призначений для компенсації температурних змін об'єму рідкого наповнювача на вводах з фарфоровою зовнішньою ізоляцією. Він являє собою газову подушку, розташовану у верхній частині введення. У вводах 110 кВ безпосередній контроль рівня наповнювача не передбачено. У вводах 220 кВ наявність наповнювача контролюється візуально через скло масловказівника, розташованого на верхньому корпусі вводу (рис. 1.6). Об'єм газової подушки розрахований таким чином, щоб рівень наповнювача завжди знаходився вище скла (рис. 1.7, а). При зниженні рівня нижче за розрахунковий на склі стають видні вертикальні ризики (рис. 1.7, б), що є сигналом до звернення на завод "Ізолятор". Оскільки наповнювач не є ізоляційним матеріалом, контроль його стану в експлуатації не потрібно.

В термінології Hitachi Energy для вводів, що виробляються промисловістю, тип вводу можна визначити по останній літері BRIT– Transformer – для трансформаторів, BRIB- breakers – для вимикачів та BRIL – Line – лінійні вводи, а також матеріал зовнішньої покриття: фарфор або полімер.

Фірма HSP є одним з небагатьох підприємств у світі, які освоїли RIP-технологію виробництва внутрішньої ізоляції високовольтних вводів на основі просочення паперового остова епоксидним компаундом під вакуумом.

Фірма має 40-річний досвід виробництва вводів за даною технологією та постачає свою продукцію на трансформаторні заводи таких відомих фірм як Siemens, Alstom, ВАТ «Запріжтрансформатор» та інших. Перелічені виробники випускають вводи з RBP-ізоляцією на струми 2000 А для масляних вимикачів. Причому вводи для вимикачів та лінійні випускаються як з порцеляновою покриттям, так і з полімерним оребрением.

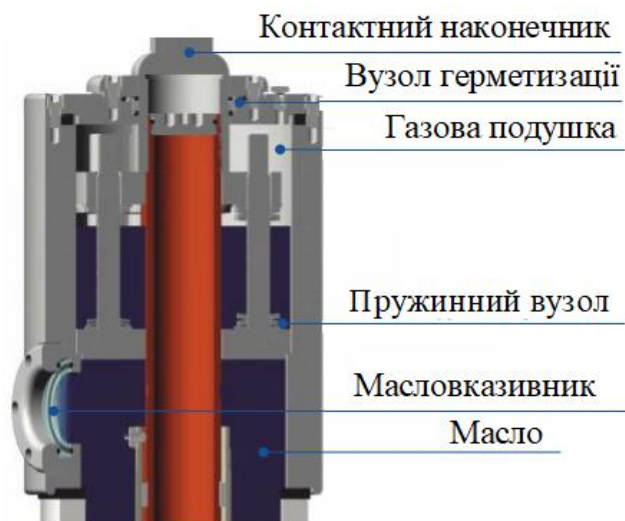
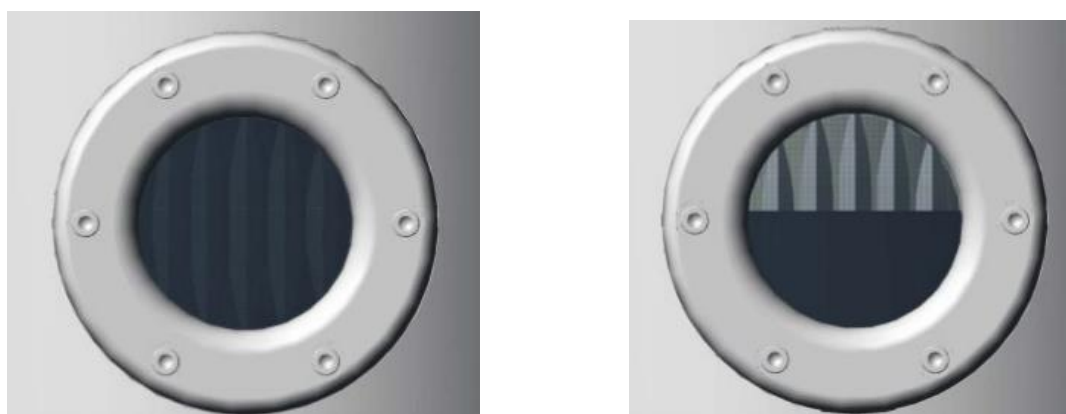


Рисунок 1.6 – Верхня частина вводів 220 кВ [6, 16]



a

б

a – це нормальний рівень рідкого наповнювача; *б* – це знижений рівень рідкого наповнювача

Рисунок 1.7 – Рівень рідкого наповнювача вводу 220 кВ [6, 16]

Через таке технічне рішення значно підвищилася пожежна безпека обладнання з маслом взагалі, але електроізоляційні властивості виявилися гіршими, ніж у тієї ж паперово-масляної ізоляції. Тому основним типом вводів в енергосистемах, як і раніше, залишалися вводи з паперово-масляною ізоляцією. Тим не менш, пізніше намітилася тенденція до того, щоб почати знімати високовольтні вводи з RVP і паперово-масляною ізоляцією, і замінювати їх на вводи з твердою RIP-ізоляцією.

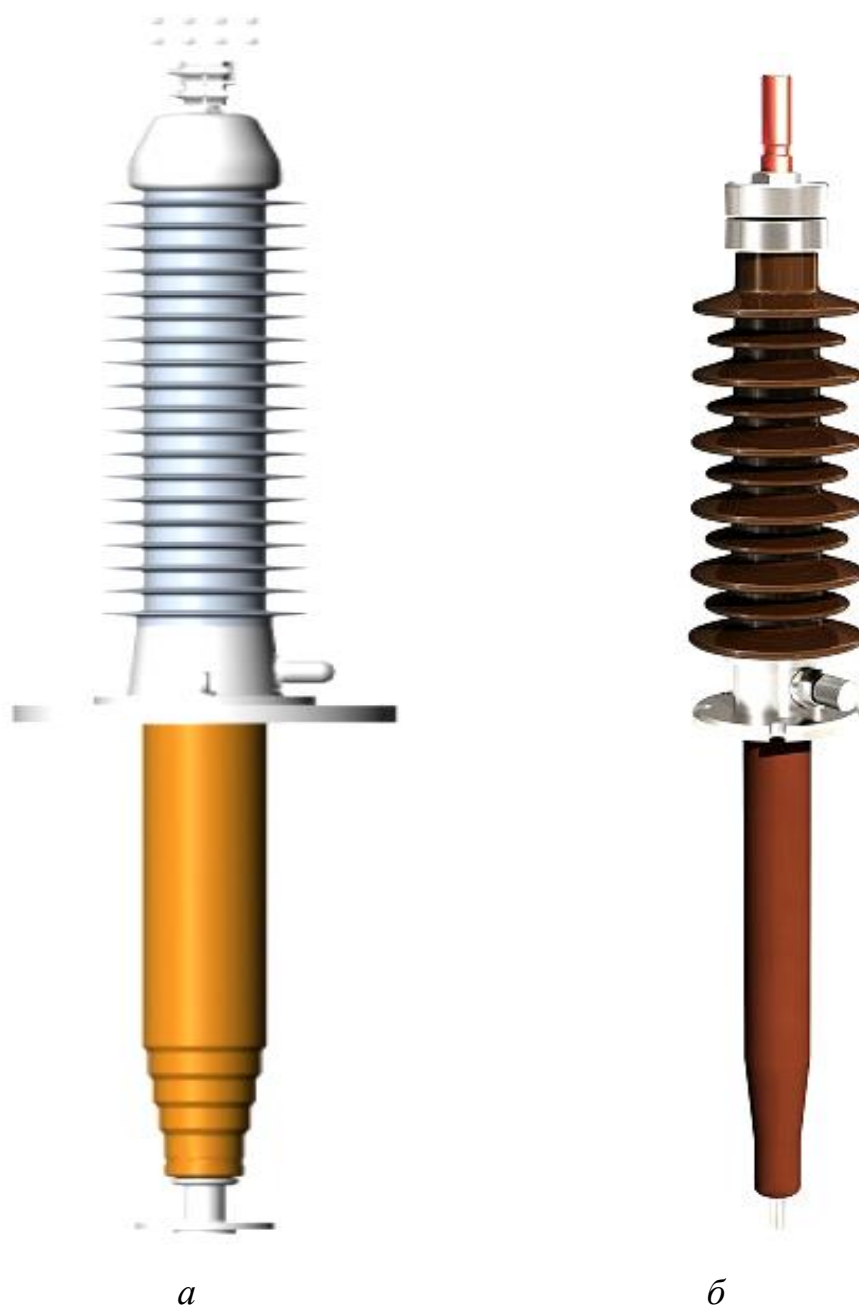


Рисунок 1.8 – Вводи для вимикачів BRIB-90-220-1050-2000 з RBP-ізоляцією виробництва Hitachi Energy з полімерною (а) та порцеляною (б) покриттям виробництва Hitachi Energy [16]

Відмінними ознаками RIP-ізоляції від RBP-ізоляції є низькі діелектричні втрати ($\text{tg} = 0.25-0.45\%$) і низький рівень часткових розрядів. Зовнішня ізоляція утворюється шляхом «надагання» з натягом на твердий остов циліндричної форми окремих елементів полімерної покриття. Розмір і число ребер визначається необхідною довжиною шляху витoku та макророзрядною напругою.

1.3 Конструкція вводів із RIP-ізоляцією

Для високовольтних вимикачів різні виробники випускають високовольтні вводи тільки з твердою внутрішньою ізоляцією конденсаторного типу за технологією RIP (Resin Impregnated Paper), як найбільш ефективною.

Поліпшити ізоляційні характеристики вводів, за рахунок відсутності газових включень в остові, дозволяє RIP-ізоляція (рис. 1.9), сутність якої полягає в тому, що остов намотаний з електроізоляційного паперу і просочений спеціальним епоксидним компаундом під вакуумом. Доцільність застосування нової RIP-ізоляції пов'язана з тим, що вона не має ряд недоліків, притаманних іншим видам ізоляції. Порівняно з RIP-ізоляцією, ПМІ є вибухо- та пожежонебезпечною.

Для вирівнювання електричного поля та рівномірного розподілу потенціалу всередині ізоляційного кістяка розташовуються конденсаторні обкладки. Найближча до центральної труби обкладка має з нею електричний контакт, остання (заземлення) обкладка має постійний контакт зі шпилькою вимірювального виводу. Обкладинка заземлення виконана з алюмінієвої фольги, до неї припаюється провідник вимірювального виводу. Застосовувані під час виготовлення ізоляційного кістяка матеріали забезпечують необхідну механічну міцність і тріщиностійкість ізоляції, що підтверджується проведеними механічними, кліматичними та сейсмічними випробуваннями, а також тривалим терміном експлуатації вводів з RIP-ізоляцією (рис. 1.10).

Переваги RIP-ізоляції полягають в тому, що папір для RIP-ізоляції просочується епоксидною смолою у вакуумі, і тому газові включення повністю усуваються, що призводить до зниження рівня часткових розрядів (максимум 5 пКл в умовах дворазової фазної напруги), і зниження діелектричних втрат (тангенс від 0,25 до 0,45%). Що стосується термічної та механічної стійкості RIP-ізоляції, то дані якості дуже високі (таблиця 1.1) [6, 8, 12, 16].

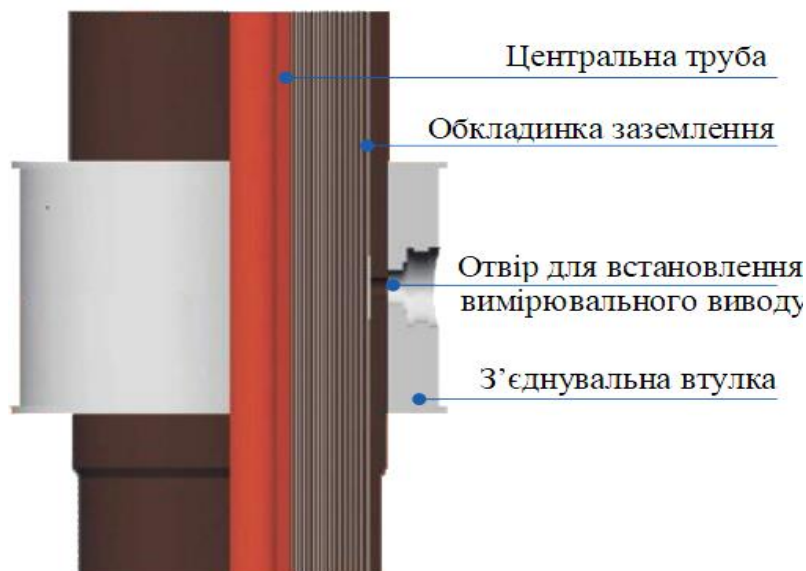


Рисунок 1.9 – Внутрішня RIP-ізоляція [16]

Високовольтні вводи не потребують якогось особливого догляду протягом усього терміну експлуатації, достатньо лише зовні очищати фарфор по мірі забруднення, і раз на шість років вимірювати тангенс кута діелектричних втрат і електроємність.

Термін служби вводів із RIP-ізоляцією наразі становить понад 40 років, тому розробники наголошують, що на сьогоднішній день RIP-ізоляція є найкращим варіантом внутрішньої ізоляції високовольтних вводів, через те, що вона є безпечнішою за паперово-масляну ізоляцію, і несе в собі кращі якості від твердої RBP-ізоляції, при цьому клас напруги зріс до 500 кВ. Така ізоляція широко застосовується сьогодні у виробництві трансформаторних вводів найкращої якості на напругу до 500 кВ. Крім того, RIP-ізоляція залишається актуальним матеріалом для виробництва пофазноізольованих струмопроводів [6, 8, 12, 16].

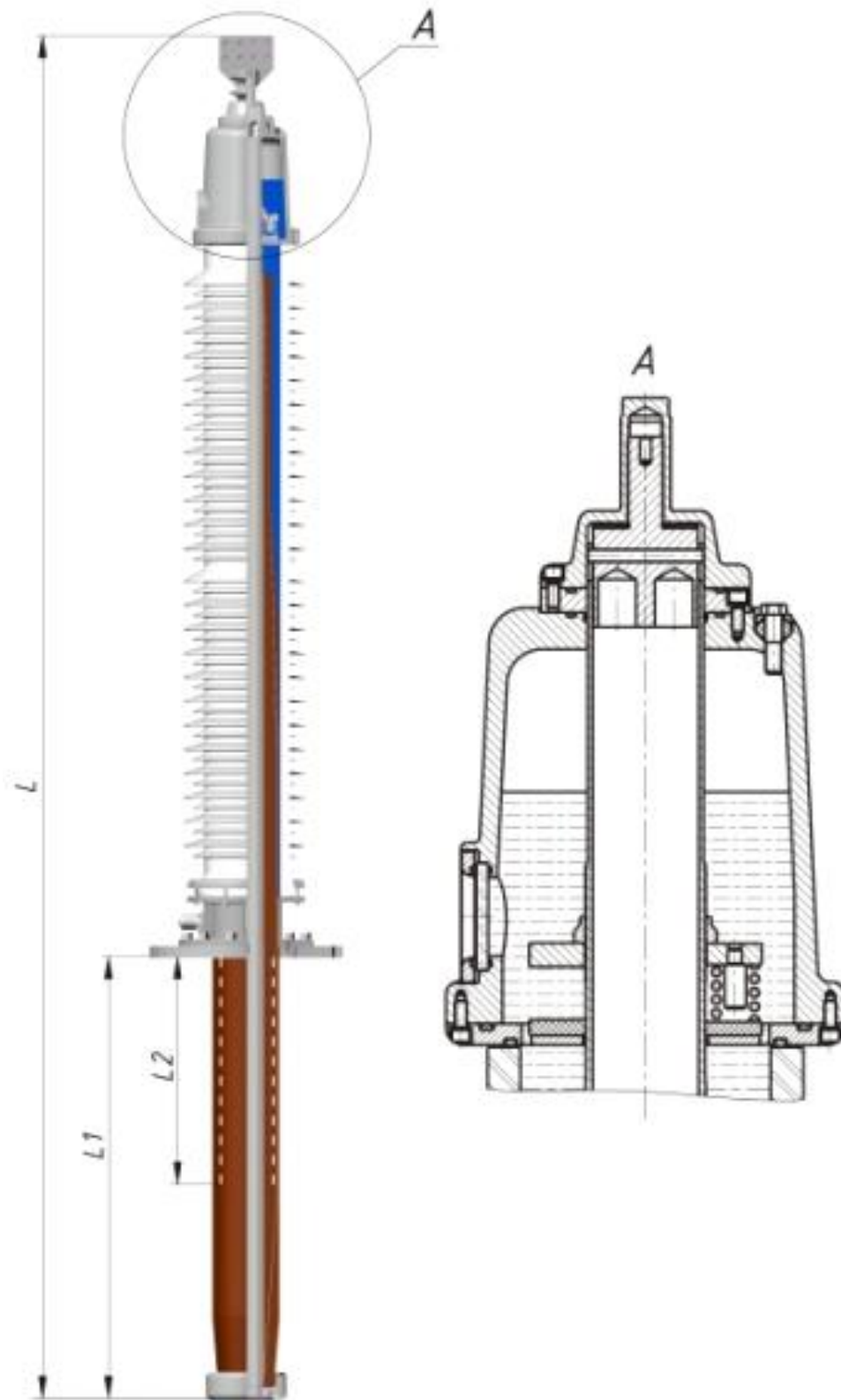


Рисунок 1.10 – Вводи 220 кВ з RIP – ізоляцією та оптичним
масловказівником [8, 15]

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики [15]

Ввод	BRIB-90-220-1050-2000
Тип внутрішньої ізоляції	RIP (папір, просочений компаундом)
Тип зовнішньої ізоляції	Фарфор (коричневий)
Заповнення	Мікагель
Клас напруги	220 кВ
Найбільша робоча напруга	252 кВ
Максимальна фазна напруга	153 кВ
Напруга грозового випробувального імпульсу 1.2/50 мкс	1050 кВ
Витримувальна напруга промислової частоти під дощем	
Витримувальна однохвилинна напруга промислової частоти 50 Гц в сухому стані	460 кВ
Номінальний струм	2000 А
Струм термічної стійкості I_T	50 кА
Струм динамічної стійкості I_d	125 кА
Інтенсивність часткових розрядів	не більше 2×10^{-12} при $2U_\phi$
Довжина шляху утікання	не менше 6500 мм
Розрядна відстань	2152 мм
Температура оточуючого середовища	-60°C... +55°C
Кут установки до вертикалі	0° ... 90°
Випробувальне консольне навантаження 1 хвилина	5000 Н
Сейсмічна стійкість по шкалі MSK-64	9 балів

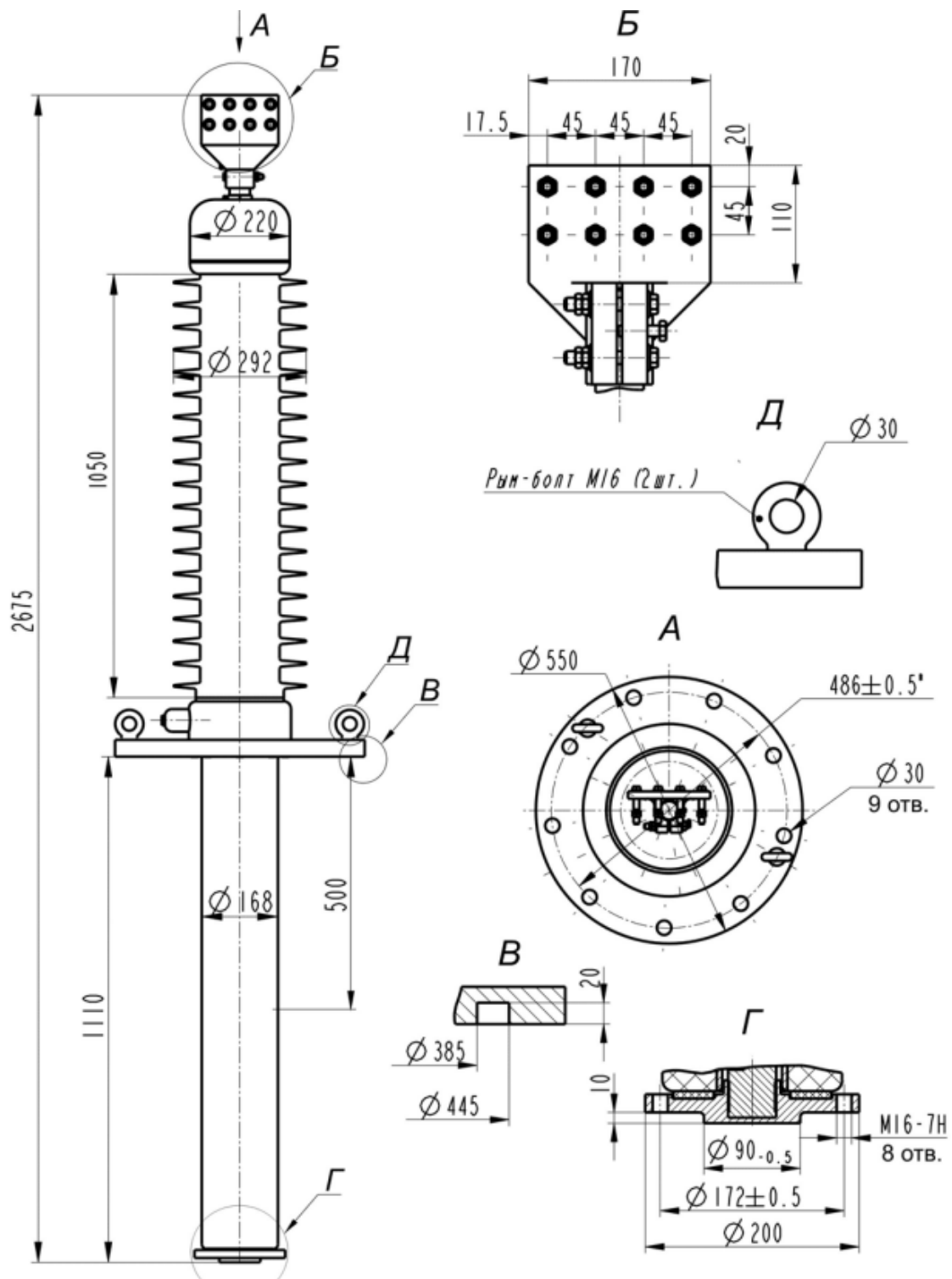


Рисунок 1.11 – Ввод BRIB-90-220-1050-2000 з RIP ізоляцією [15]

Компанія Hitachi Energy виробляє вводи масло/повітря по технології BRIB для вимикачів, що складаються з RIP остова, фарфорової ізоляції та заповненого сухим ізоляційним матеріалом MICAGEL. Ці BRIB вводи призначені для встановлення на

бакових масляних вимикачах (заміна вводів старих конструкцій). Основні параметри обладнання має наступні: напруга 220 кВ та струм 2000 А [16].

Основною конструктивною частиною конденсаторного вводу із твердою ізоляцією RIP служить його ізоляційний остов, який виготовляється із спеціального крепованого паперу з просоченням епоксидною смолою та конденсаторними обкладинками з алюмінієвої фольги. Обкладинки служать для розподілу електричного поля та за рахунок хорошої провідності забезпечують оптимальний розподіл напруги.

Намотування остова на трубу здійснюється на спеціальному обладнанні з автоматичним контролем натягу паперу для отримання заданої щільності. Перед намотуванням папір повинен бути висушений до необхідного рівня вологості. Комплекти конденсаторних обкладинок готуються у кліматизованому приміщенні, рівень вимог до якого вищий ніж на ділянці намотування та в складальному цеху. Розміри та розташування обкладинок розраховуються на комп'ютері за спеціально розробленими програмами і задаються у конструкторській документації. Після намотування остови поміщаються у сушильну установку і далі – у спеціальні камери для просочення під вакуумом. Смола, що просочується, готується на спеціальному обладнанні з обов'язковим контролем складу, в'язкості та інших параметрів для кожної партії. Після просочення і полімеризації остови піддаються нагріванню відповідно до певного температурного режиму для зняття залишкових механічних напруг.

В термінології Hitachi Energy для вводів тип вводу можна визначити по останній букві:

- BRIT – Transformer – для трансформаторів;
- BRIB – Breakers – для вимикачів;
- BRIL – Line – лінійні вводи;

а також матеріал зовнішньої покритишки: порцеляна чи полімер.

Застосування вводів із RIP-ізоляцією дозволяє отримати оптимальний розподіл електричного поля та напруженості. Також високовольтні вводи з RIP-ізоляцією мають високу вогнетривкість і практично усувають ризик пожежі.

Навіть при пробі всередині бака силового трансформатора або бакового масляного вимикача високовольтні вводи з RIP-ізоляцією, будучи "пробкою", перешко-

джають надходженню кисню всередину бака і, відповідно, спалаху трансформаторного масла.

Конструкція вводів з RIP-ізоляцією дозволяє використовувати, як порцелянові (рис. 1.8), так і полімерні покриття (рис. 1.11 та 1.12) в якості зовнішньої ізоляції. Такі покриття є склоепоксидною трубою з гумовими ребрами і двома металевими фланцями для кріплення до з'єднувальної Вводи і верхнього фланця вводу. Простір між ізоляційним остовом і полімерним ізолятором заповнюється або трансформаторним маслом, або спіненим поліуретаном.

На рисунку позначені наступні вузли та матеріали вводу з RIP-ізоляцією, що розроблений і виготовляється фірмою АВВ:

1 – внутрішня контактна шпилька;

2 – запірне кільце із пружинної сталі;

3 – алюмінієвий фланець;

4 – RIP - остов – коло послідовних циліндричних конденсаторів, намотаних на дріт чи трубу;

5 – Мікагель (Micagel) – спеціальний запатентований склад, застосовується як додатковий захист RIP- остова від впливу довкілля, який є хімічно вивіреном складом компонентів;

6 – фібергласовий циліндр – додатковий захист від механічних впливів;

7 – конденсаторна конструкція означає, що в рулон спеціального крепированого паперу, що намотується на дріт, вкладаються алюмінієві обкладинки (в основі цього технічного рішення є математична точність виготовлення обкладинок та їх намотування на остов. Коректність математичної моделі розподілу електричного поля заснована на наукових дослідженнях та досвіді експлуатації);

8 – зовнішня ізоляція для зовнішньої установки (за вибором замовника може бути або порцеляна, або полімер);

9 – фланець кріплення, який має у своїй конструкції інтегрований тест-вивід. Спеціальна конструкція тест-виводу (ПН) гарантує надійне заземлення останньої обкладки RIP-остова;

10 – тест-вивід;

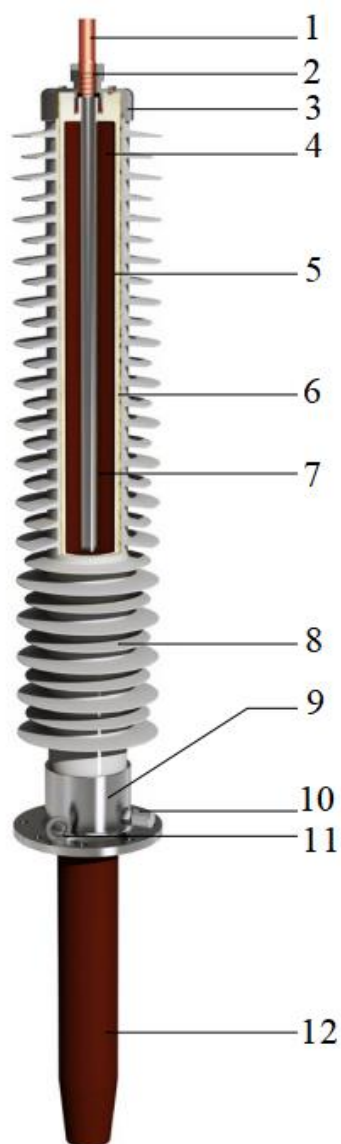


Рисунок 1.12 – Конструкція вводу з RIP-ізоляцією з полімерною
покришкою [6]

11 – рим-болт;

12 – RIP-остов.

Завдяки матеріалам, які застосовуються в RIP-вводах транспортування можливе в будь-якому положенні.

Основними перевагами введів з внутрішньою RIP-ізоляцією є:

- низькі діелектричні втрати (менше 0,5%);
- низький рівень часткових розрядів при подвійній найбільшій фазній напрузі (менше 5 пКл);
- робоча напруженість електричного поля (від 4,0 кВ/мм до 6,0 кВ/мм);
- висока механічна стійкість;
- висока термічна стійкість;
- відсутність нижньої порцелянової покришки;
- зменшення витрат на технічне обслуговування;
- вогнестійкість та вибухостійкість (в разі пошкодження фарфорового ізолятора через зовнішній вплив сухий RIP-Ввод залишається працездатним);
- відсутні обмеження щодо кута нахилу при установці;
- можливість їх використання при дуже низьких температурах навколишнього середовища;
- високий рівень безпеки для обслуговуючого персоналу;
- мала маса та габарити;
- вводи абсолютно безпечні з погляду екології, через те, що немає небезпеки забруднення навколишнього середовища через витік олії.

Обидва види ізоляції, фарфорова та полімерна, успішно застосовуються та експлуатуються протягом усього терміну служби, і її вибір часто залежить від географічного розташування об'єкта, місцевих реалій та просто переваг замовника.

Полімерні покришки мають ряд переваг, такі як:

- підвищену стійкість до впливу доквілля;
- менша вага;
- високий рівень безпеки для обслуговуючого персоналу;

- чудові характеристики при роботі в умовах забруднення за рахунок гідрофобної силіконової поверхні полімерної покриття;
- хороша ударостійкість;
- менший ризик пошкоджень під час транспортування та монтажу.

Всі дослідження доводять, що застосування введів з полімерною кришкою в районах з підвищеною сейсмонебезпекою є найбільш перспективним [6, 7, 8, 10, 12, 15]. В експлуатації високовольтні вводи з RIP-ізоляцією вимагають мінімального догляду, а саме, вимірювання тангенсу кута діелектричних втрат та ємності періодичністю один раз на шість років, а також чищення фарфору в міру його забруднення.

Випробування твердої ізоляції доводять, що технологічний процес забезпечує:

- монолітність ізоляції, як композиційної структури «папір + Al обкладинки + компаунд»;
- відсутність порушення монолітності цієї структури ізоляції в експлуатації через внутрішніх механічних напруги, особливо при охолодженні до низьких температур.

Окремо варто зупинитися на перевагах введів із внутрішньою RIP ізоляцією та полімерною зовнішньою ізоляцією [1, 6, 26, 40, 42, 45]. Зовнішній полімерний ізолятор як альтернатива фарфорової покриття застосовується давно і вже досить відомий у світі. Зазвичай він являє собою скло епоксидну трубу з нанесеними тим або іншим способом гумовими ребрами та двома металевими фланцями для кріплення до сполучної вводи та верхнього фланця вводу. Простір між ізоляційним остовом і полімерним ізолятором у цьому випадку заповнюється або трансформаторним маслом, або спіненим поліуретаном. Важливе відмінність нашої полімерної ізоляції полягає в те, що нам вдалося за допомогою спеціального покриття остова проводити полімеризацію безпосередньо на кістяк без будь-якої було межі поділу. Відбувається як би дифузія одного матеріалу в поверхневий шар іншого. Крім того, відмінність нашої технології полягає в тому, що виготовлення зовнішньої ізоляції відбувається цілком за один разів незалежно від класу напруги. При цьому унікальна конструкція пресформ дозволяє зробити практично неможливим виникнення ковзного розряду по зовнішній поверхні ізоляції. Вводи з полімерною зовнішньою ізоляцією були піддані

всім можливим випробуванням з визначення трекінгеррозійної стійкості, стійкості до займання, вологонепроникності, електричним випробуванням межі розділу за допомогою крутого грозового фронту тощо. Після всіх проведених випробувань стан вводів залишається незмінним, що доводить, що на сьогоднішній день – це сама передова технологія нанесення полімерного оребріння, за якою виготовляються лише окремі одиниці обладнання.

Основними перевагами вводів з внутрішньою RIP-ізоляцією та полімерною зовнішньою ізоляцією є [45]:

- відсутність необхідності технічного обслуговування;
- абсолютно суха конструкція, відсутність ізоляційного масла вище опорного фланця вводу;
- вогнестійкість. Виключено небезпеку вибуху та пожежі трансформатора через відсутність витоків масла через вводи;
- вибухостійка конструкція. У разі пошкодження фарфорового ізолятора в результаті зовнішніх впливів сухий RIP-вводу залишається працездатним. При використанні зовнішньої полімерної ізоляції відсутня розкид уламків;
- придатність для експлуатації у місцях з підвищеною сейсмічністю за рахунок використання еластичних матеріалів з гарною ударостійкістю;
- чудові характеристики при роботі в умовах забруднення за рахунок гідрофобної силіконової поверхні полімерної покришки;
- не розбивається при завантаженні-розвантаженні, транспортування та монтажі;
- відсутні обмеження щодо кута на клоні під час встановлення;
- може використовуватися за дуже низьких температурах довкілля;
- мала маса та габарити;
- вводи є екологічними, тому немає небезпеки через забруднення навколишнього середовища через витік масла.

1.4 Конструкція вводів з елегазовою ізоляцією

Вводи з елегазовою ізоляцією (рис. 1.12) застосовуються до 1100 кВ для електрообладнання з елегазовою ізоляцією і можуть бути розташовані вертикально, горизонтально чи під кутом.

Елегаз у порівнянні з маслом та твердими ізоляційними матеріалами має певні переваги, головні з яких: мала провідність та відсутність діелектричних втрат, незалежність у однорідному полі електричної міцності. Чистий газоподібний елегаз інертний і за звичайних експлуатаційних умовах не діє ні на які матеріали, що застосовуються в апаратобудуванні. Має підвищену тепловідвідну здатність. Елегаз при правильній експлуатації не старіє і не вимагає ретельного догляду і додаткових спеціальних пристроїв (зливних колодязів, розширювальних баків) як це потрібно у разі застосування трансформаторного масла. Однак на даний момент вводи з елегазовою ізоляцією не знайшли широкого поширення, оскільки продукти розкладання елегазу в результаті дії розрядів токсичні і хімічно активні, до того ж, вони мають великі експлуатаційні витрати.

1.5 Застосування азотної подушки

Провідні розробники високовольтних вводів, такі як ЗАТ «Мосизолятор» [8, 15, 56] пропонує компенсації зміни об'єму масла в маслорозширювачі застосувати азотну подушку. Тиск газу в маслорозширювачі збільшується при розширенні масла і знижується при зменшенні його обсягу.

Для компенсації змін лінійних розмірів вводу використовуються гнучкі зв'язки між з'єднувальною металевією трубою та верхнім контактним вузлом. Це дозволяє усунути надлишковий тиск масла у введенні, знизити масу всієї конструкції, спростити технологічний процес виготовлення електротехнічного пристрою і, отже, знизити собівартість виробу. Поліпшення системи індикації рівня олії у введенні дозволяє вчасно визначити аварійний стан апарату та вжити відповідних заходів [12, 16].

Недоліком такої конструкції вводу є наявність безпосереднього контакту між трансформаторним маслом і газом в маслорозширювачі. При підвищенні температури і тиску підвищується розчинність газів в маслі. При зниженні температури і тиску

знижується розчинність і надлишок розчиненого газу може виділятися в масло у вигляді бульбашок і потрапляти в ізоляцію.



Рисунок 1.13 – Конструкція вводу з елегазовою ізоляцією [12, 15, 16]

Наявність вільного газу в ізоляції знижує її електричну міцність, може призвести до електричного пробою, вибуху вводу та виходу апарату з ладу. Крім того, конструкція такого вводу вимагає додаткового пристрою для компенсації зміни лінійних розмірів між стягуючої трубою і верхнім контактним вузлом. Недоліком також є неможливість своєчасного виявлення в експлуатації втрати герметичності, якщо розгерметизація відбулася в зоні розташування газової подушки та незручності при транспортуванні. Такі вводи слід транспортувати у горизонтальному положенні, через те, що газ із верхньої частини вводу переміщується в паперово-масляну ізоляцію вводу, що є неприпустимим. Так само, при недостатньому обсязі азоту в зимовий час може утворитися вакуум у верхній частині вводу, а відсутність надійної герметизації може призвести до потрапляння води у вводу з подальшим його пробоем [1, 5, 12, 15].

1.6 Конструкція вводів із RIN-ізоляцією

З метою збільшення стійкості твердої ізоляції до дії вологи та важких умов експлуатації вводів автори заводу «ІЗОЛЯТОР» вирішили замінити кріплений папір, який має високу гідрофільність [4, 5, 11, 12, 18]. Для виготовлення нової ізоляції типу RIN використовується полімерний нетканый матеріал, який володіє хорошими водовідштовхувальними властивостями і може легко просочуватися електроізоляційним компаундом.

Такі неткані матеріали у всьому світі використовують для виробництва високоякісних легких композитних виробів. У таблиці 1.2 наводяться основні показники крепованого паперу та полімерного нетканого матеріалу. Технологія виготовлення RIN-ізоляції практично повністю повторює процес виробництва RIP-ізоляції.

На першому етапі виробляють намотування нетканого матеріалу на струмопровідну трубу або стрижень із закладкою порівняльних обкладинок для контролю електричного поля. Вирівнювальні обкладинки виготовляють з електропровідного матеріалу, який вже успішно використовують на заводі «Ізолятор» при виробництві ОІР та RIP-ізоляції для реакторних вводів замість алюмінієвої фольги. Даний електропровідний матеріал легко просочується епоксидним компаундом, це призводить до утво-

рення монолітної структури композитної RIP-ізоляції з міцним зв'язком. На відміну від крепованого паперу, який має рельєфну поверхню, полімерний нетканий матеріал гладкий, що визначає правильне концентричне розташування обкладинок всередині ізоляції в процесі намотування і після затвердіння (рис. 1.13 та 1.14).



Рисунок 1.14 – Високовольтний Ввод з RIN-ізоляцією [8, 15]

При цьому досягається більш однорідний розподіл електричного поля всередині RIN-ізоляції, надійність її підвищується.

Таблиця 1.2 – Показники матеріалів на основі даних виробників та результатів лабораторних досліджень [8]

Показник	Крепований папір	Нетканий матеріал
Зольність	< 1	< 1
Остаточна вологість, %	6...9	< 0,1
Міцність на розрив, Н	> 50	> 80
Відносне подовження, % - по- довжній напрямок	90...110	< 39
поперековий напрямок	3,0...3,0.	< 35

З таблиці 1.2 виходить, що полімерний нетканий матеріал має перевагу над кріпленим папером, він є гідрофобним, не містить води. Це дозволяє не тільки скоротити технологічний процес виготовлення та постачання будь-якого типу введів замовнику. Відмова від проведення такої складної технологічної операції як термовакуумне сушіння дозволяє істотно підвищити надійність нового типу ізоляції. Залишкова волога після сушіння намотаних ізоляцій є причиною прихованих дефектів. Вода в порах кріпленого паперу може викликати дуже сильний екзотермічний ефект реакції затвердіння епоксидного компаунду, а в процесі експлуатації за низьких температур може закристалізуватися. Все це збільшує ймовірність утворення мікротріщин всередині RIP-ізоляції та руйнування під час експлуатації [8].

Таким чином, одразу після намотування проводять термовакуумне просочення епоксидним компаундом і затвердіння як при виготовленні RIP-ізоляції. Після отримання необхідної геометричної форми RIN-ізоляції при токарній обробці збирають вводи нового типу. Завод «Ізолятор» серійно випускає вводи із зовнішньою порцеляною та силіконовою ізоляцією. На вимогу споживачів вводи з порцеляновими покриттями можуть заповнюватися маслом, ізоляційним газом або сухим наповнювачем.

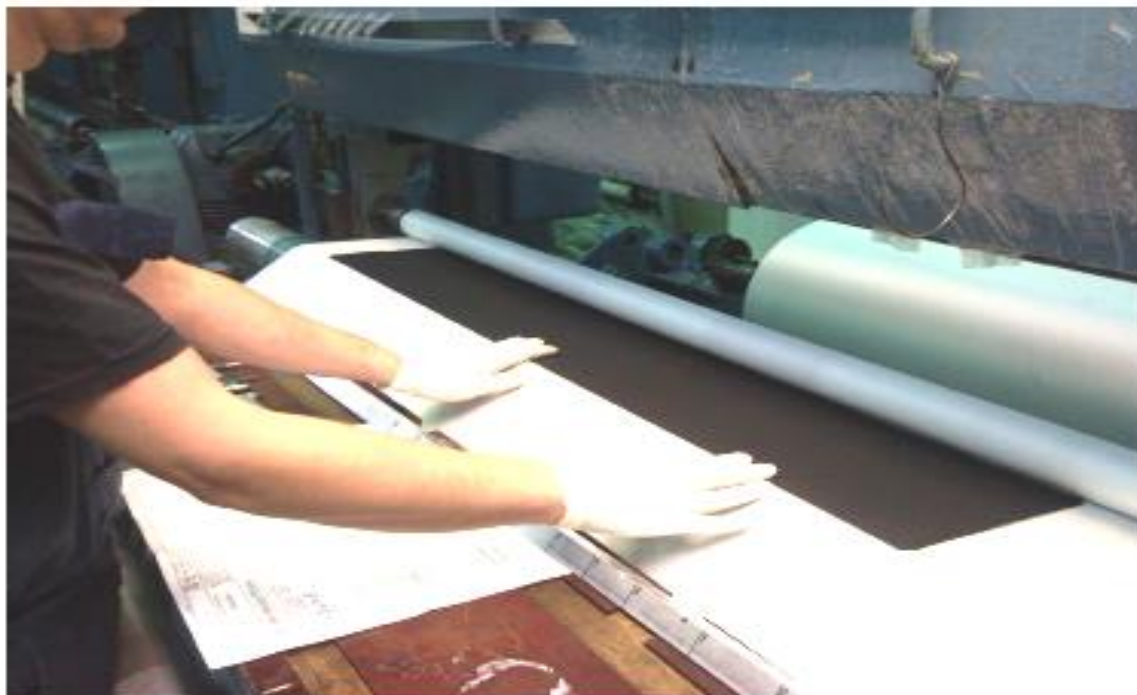


Рисунок 1.15 – Намотка RIN – ізоляції полімерним нетканим полотном з обкладинками з електропровідного матеріалу [6, 8, 12, 15]

Завод «Изолятор» виготовляє вводи із зовнішньою силіконовою ізоляцією, яка відливається безпосередньо на поверхню основної твердої ізоляції вводи [5, 8]. Відсутність клейових з'єднань, наповнювача та ущільнень у таких вводах повністю виключає проникнення вологи та агресивних речовин з атмосфери та пошкодження твердої ізоляції. Силіконова ізоляція забезпечує надійну роботу вводи, унеможливує їх обслуговування, тобто. періодичне очищення зовнішньої ізоляції. Силіконова гума, як було доведено розробниками та виробниками, має чудову адгезію не тільки до RIP, а також до RIN-ізоляції [6].

На даний час випробування дослідних вводів з RIN- ізоляцією на 110 і 220 кВ, в тому числі також спеціальні випробування, відображають експлуатаційні впливи, перші результати електричних випробувань представлені у таблиці 1.3.

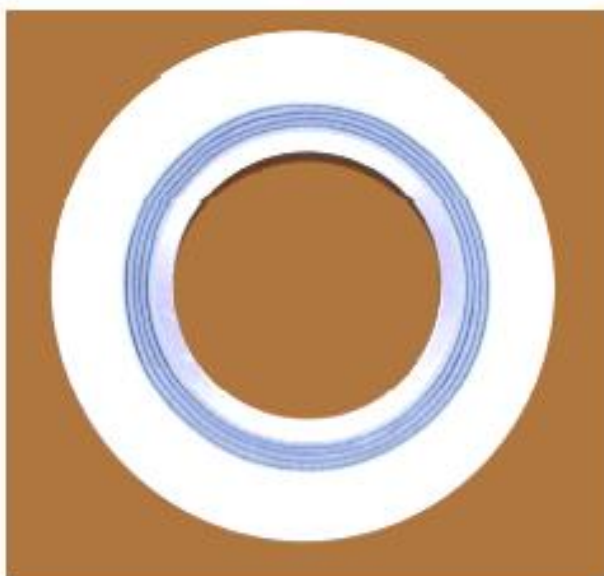


Рисунок 1.16 – Правильне концентричне розташування обкладинок на перерізі RIN – ізоляція 220кВ, де можна побачити вирівнювальні електропровідні обкладинки [8]

Таблиця 1.3 – Результати високовольтних випробувань вводів з RIN- ізоляцією 220 кВ (за умови температури $T = 20^{\circ}\text{C} - 23^{\circ}\text{C}$) [18]

Показники	$\tan \delta, \%$	Часткові розряди, пКл	$C_1, \text{пФ}$
$U = 252 \text{ кВ}$	0,25	< 5	708
$U \text{ випр.} = 460 \text{ кВ}$ 1 хвилину - витримав	-	< 5	-
$U = 252 \text{ кВ}$	0,25	< 5	708



Рисунок 1.17 – Коhezійний розрив за якісної перевірки адгезії RTV-2 (Room Temperature Vulcanization), яка стає твердою при кімнатній температурі полімерна композиція силіконової гуми на поверхні RIN-ізоляції [52, 53, 56, 58]

1.7 Висновки

Основні переваги введів із RIN-ізоляцією:

- висока гідрофобність поверхні ізоляції, стійкість до атмосферного впливу;
- малі розміри, низька маса;
- високі електричні характеристики, що повністю відповідають вимогам світових стандартів IEC;
- найкращий розподіл електричного поля в ізоляції;
- скорочення технологічного процесу, скорочення термінів виготовлення;
- конкурентна ціна.

Вводи з RIN-ізоляцією та зовнішньою силіконовою ізоляцією мають додаткові переваги:

- без масла, без порцеляни, пожежо- та вибухобезпечні,
- не вимагають обслуговування.

Високі показники якості введів з RIN-ізоляцією (рис. 1.18 та 1.19) на основі полімерного нетканого полотна визначають можливість виготовлення введів з таким типом ізоляції на напругу до 500 кВ і вище для вимикачів.



Рисунок 1.18 – Конструкції вводів 220 кВ с внутрішньою RIN-ізоляцією [58]



Рисунок 1.19 – Конструкції вводів 220 кВ с внутрішньою RIN-ізоляцією та зовнішньою силіконовою ізоляцією [58]

2 РОЗРАХУНОК СТРУМОПРОВІДНОЇ ЧАСТИНИ ВВОДУ

2.1 Вибір струмопровідної частини

Враховуючи силу струму 2000 А з [21, 55, 61], було вибрано мідну шину у вигляді труби розміром 70 х 62 мм.

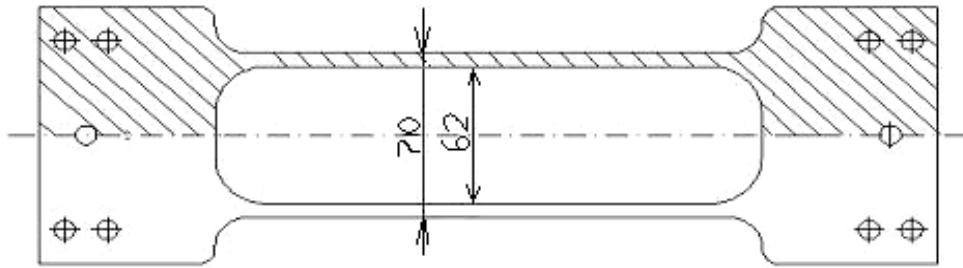


Рисунок 2.1 – Струмопровідна труба

2.2 Розрахунок втрат

Активна потужність P , що виникає в провіднику (втрати), визначається наступним виразом [2]:

$$P = I^2 \cdot R, \text{ Вт}, \quad (2.1)$$

Активний опір розраховується за формулою [58]:

$$R = \rho_{\vartheta} \cdot \frac{l}{S}, \text{ Ом}, \quad (2.2)$$

де l – довжина провідника, м;

S – переріз провідника, м^2 ;

ρ_{ϑ} – питомий опір при температурі $\vartheta^{\circ}\text{C}$, $\text{Ом} \cdot \text{м}$ [55].

Довжина шини буде дорівнювати 5000 мм відповідно до обраного аналога ізолятора.

$$S = \pi D^2 / 4 - \pi d^2 / 4 \quad (2.3)$$

$$S = 3.14 \cdot (140 \cdot 10^{-3})^2 / 4 - 3.14 \cdot (120 \cdot 10^{-3})^2 / 4 = 0.829, \text{ м}^2$$

$$\rho_{\vartheta} = \rho_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \vartheta) = \rho_{20} \cdot (1 + \alpha(\vartheta - 20)), \quad (2.4)$$

де ρ_{20} – питомий опір для міді;

α – температурний коефіцієнт опору для міді.

$$\rho_{\vartheta} = 0.01681 \cdot 10^{-6} \cdot (1 + 0.0042 \cdot (120 - 20)) = 0.024 \cdot 10^{-6}, \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

Підставив усі обчислені параметри (3.2):

$$R = 0.024 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{5000 \cdot 10^{-3}}{829 \cdot 10^{-6}} = 144 \cdot 10^{-6}, \text{ Ом}$$

Тепер ми можемо обчислити активну потужність P :

$$P = 2000^2 \cdot 144 \cdot 10^{-6} = 576, \text{ Вт.}$$

Зробити розрахунок за тепловими розрахунками в усталеному режимі можна за формулою, в яку в один коефіцієнт тепловіддачі включаються всі види тепловіддачі. Фізичний сенс його полягає в тому, що потужність P , яка виділяється в деталях, відводиться від неї поверхнею. Ця формула має вигляд [55]:

$$P = K_T \cdot S_{\Pi} \cdot (\vartheta_{\text{уст}} - \vartheta_{\text{о.с.}}), \text{ Вт} \quad \text{тому} \quad \vartheta_{\text{уст}} = \frac{P}{K_T \cdot S_{\Pi}} + \vartheta_{\text{о.с.}}, \quad (2.5)$$

де K_T – коефіцієнт тепловіддачі, $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$;

$\vartheta_{\text{уст}}$ та $\vartheta_{\text{о.с.}}$ – температура поверхні стаціонарного та навколишнього середовища, $^\circ\text{C}$.

$$K_T = K_{\text{к}} + K_{\text{р}}, \quad (2.6)$$

де K_k – коефіцієнт тепловіддачі конвекцією;

K_p – коефіцієнт тепловіддачі випромінюванням (радіацією).

Якщо визначальний розмір (L в міліметрах) плоскої (h) поверхні та різниці температур задовільні до диспропорції [2]:

$$\vartheta - \vartheta_{o.c} \leq \left(\frac{840}{L} \right)^3, \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (3.7)$$

тоді режим руху шару – ламінарний при n , що дорівнює $1/4$ і

$$(\text{Gr} \cdot \text{Pr})_m = 5 \cdot 10^2 \div 2 \cdot 10^7.$$

Якщо не задовольняє, то режим – вертикальний при n рівних $1/3$ і

$$(\text{Gr} \cdot \text{Pr})_m = 2 \cdot 10^7 \div 1 \cdot 10^{13}.$$

$$120 - 40 \leq \left(\frac{840}{5000} \right)^3,$$

$$80 \geq 0.0047$$

Тоді маємо режим руху вертикального шару. А коефіцієнт тепловіддачі конвекцією при цьому режимі можна визначити як [2]

$$K_k = 0.135 \cdot \lambda \cdot \left(\frac{g \cdot \beta \cdot \text{Pr}}{\nu^2} \right)^{0.333} \cdot (\vartheta - \vartheta_{o.c.})^{0.333} = A_3 \cdot (\vartheta - \vartheta_{o.c.})^{0.333}, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$$

де значення A_3 для визначальної температури ϑ_{cp} взято з рис. 2.2 [21, 22, 25].

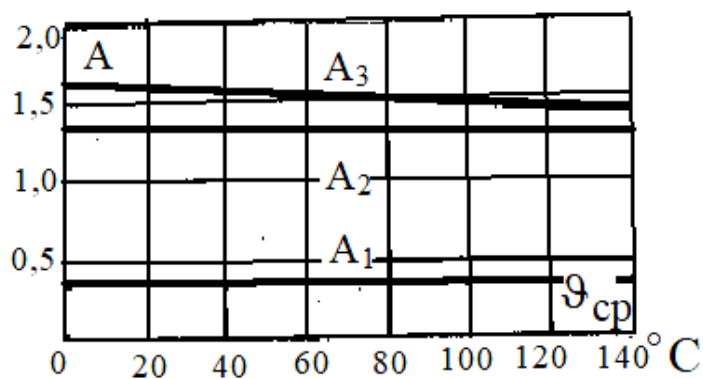


Рисунок 2.2 – Зв'язок між факторами A від температури [21, 23]

$$t_{\text{cp}} = \frac{t - t_{\text{о.с.}}}{2}, ^{\circ}\text{C} \quad (2.9)$$

де t та $t_{\text{о.с.}}$ – температура поверхні стаціонарного та навколишнього середовища, $^{\circ}\text{C}$.

$$t_{\text{cp}} = \frac{120 - 40}{2} = 40, ^{\circ}\text{C}$$

звідси отримуємо значення A_3 , що дорівнює 1,55 з рисунка 2.2.

Отже, з (2.8) маємо:

$$K_{\text{к}} = 1.55 \cdot (120 - 40)^{0.333} = 6.68, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$$

Коефіцієнт теплопередачі випромінюванням поверхні S_1 однієї частини апарату на іншу поверхню S_2 або навколишнє середовище можна виразити наступним чином [21]:

$$K_{\text{p}} = \frac{\varepsilon_{\text{пр}12} \cdot \varphi_{12} \cdot C_0 \left(-\left(\frac{t_1 + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{t_2 + 273}{100} \right)^4 \right)}{t_1 - t_2}, \quad (2.10)$$

де $\varepsilon_{\text{пр}12}$ – приведений коефіцієнт випромінювання;

φ – кутовий коефіцієнт опромінення;

C_0 – коефіцієнт випромінювання абсолютного чорного тіла,

$C_0=5,67$, Вт/(м²·°С⁴);

ϑ_1 та ϑ_2 – температури тіл.

З посилання [2] отримуємо для фарфору і міді і за формулою (2.11) знаходимо $\varepsilon_{\text{пр}12}$:

$$\varepsilon_{\text{пр}12} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1}, \quad (2.11)$$

$$\varepsilon_{\text{пр}12} = \frac{1}{\frac{1}{0.924} + \frac{1}{0.3} - 1} = 0.29$$

$$K_p = 0.29 \cdot 1 \cdot 5.67 \cdot 10^{-3} \cdot (((120 + 273)/100)^4 - ((40 + 273)/100)^4) / (120 - 40) = 2.51$$

Підставивши значення K_k і K_p в (3.6) отримуємо :

$$K_T = 6.68 + 2.51 = 9.19.$$

Для розрахунку площі поверхні труби використовується наступна формула:

$$S_{\Pi} = \pi \cdot D \cdot L, \quad (2.12)$$

$$S_{\Pi} = 3.14 \cdot 70 \cdot 5000 = 1099000 \text{ мм}^2 = 1,099 \text{ м}^2.$$

Стала температура труби дорівнює:

$$\vartheta_p = \frac{20.43}{9.19 \cdot 1,099} + 40 = 42^\circ \text{C}$$

Оскільки встановлена температура 50 °С менше допустимої температури нагріву 120 °С, можна зробити висновок, що труба була обрана правильно.

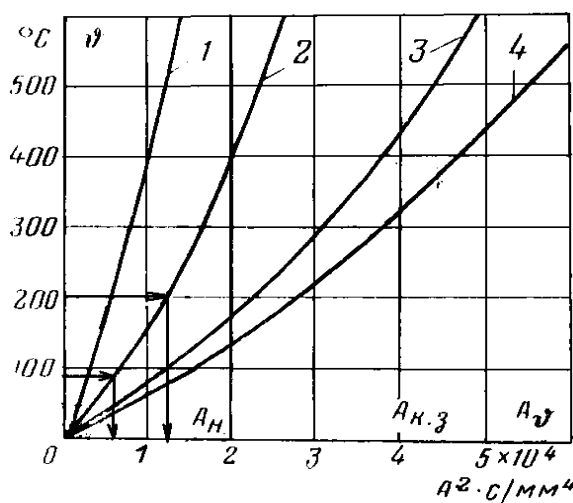
2.3 Розрахунок при струмах короткого замикання

Розрахунок густини струму має бути менше допустимого. Для розрахунку густини струму я використовую наступну формулу з посилання [23]:

$$j_{\text{рас}} = \sqrt{\frac{A_{\text{г}} - A_{\text{Н}}}{t}}, \quad \text{А/мм}^2, \quad (2.13)$$

де $A_{\text{г}}$ та $A_{\text{Н}}$ – коефіцієнти, отримані з рис. 2.2 [21];

t – тривалість короткого замикання, t дорівнює 4 с.



1 – бронза; 2 – алюміній; 3 – срібло; 4 – мідь .

Рисунок 2.2 – Криві нагрівання провідників [21, 22]

Якщо $\vartheta_{\text{Н}}$ дорівнює 50 °С (з формули 3.5), ϑ_{max} дорівнюватиме 200 °С.

$$j_{\text{рас}} = \sqrt{\frac{1.2 \cdot 10^4 - 0.45 \cdot 10^4}{4}} = 43 \text{ А/мм}^2.$$

Через те, що розрахункове значення менше за допустиме (допустиме значення для алюмінію дорівнює 48 А/мм²), то щільність коректна.

2.4 Розрахунок контактних з'єднань

Початковим параметром для розрахунку є номінальний струм. Розміри контактного з'єднання залежать від величини необхідної контактної поверхні, а кількість гвинтів – від необхідної сили контактного натискання. Значення густини струму можна розрахувати з [22] за формулою:

$$j_{ал} = j_M \sqrt{\frac{1/\rho_{ал}}{1/\rho_M}} \quad (2.14)$$

де j_M – щільність струму для міді (для струму більшого за 2000 А можна взяти 0.12 А/мм²)

Підставлення всіх значень у формулу (2.14) дає результат:

$$j_{ал} = 0.12 \sqrt{\frac{1/2.7}{1/8.9}} = 0.22, \text{ А/мм}^2.$$

Контактна площа має розмір $a \times b$. Необхідна контактна площа розраховується за формулою з джерела [22]:

$$S_K = a \times b = \frac{I_H}{j_M}, \quad (2.15)$$

де S_K – площа контактної поверхні, мм² значення якої розрахована як

$$S_K = \frac{2000}{0.12} = 16666 \text{ мм}^2.$$

Тепер можна розрахувати розмір контактної площадки, а ширина розрахована за формулою

$$b = \pi \cdot D / 2, \quad (2.16)$$

$$b = 3.14 \cdot 70 / 2 = 109,9 \text{ мм}.$$

Довжина контактної площадки:

$$a=S/b, \quad (2.17)$$

$$a = 16666/109,9 = 151,6 \text{ мм.}$$

Обирається довжина 170 мм.

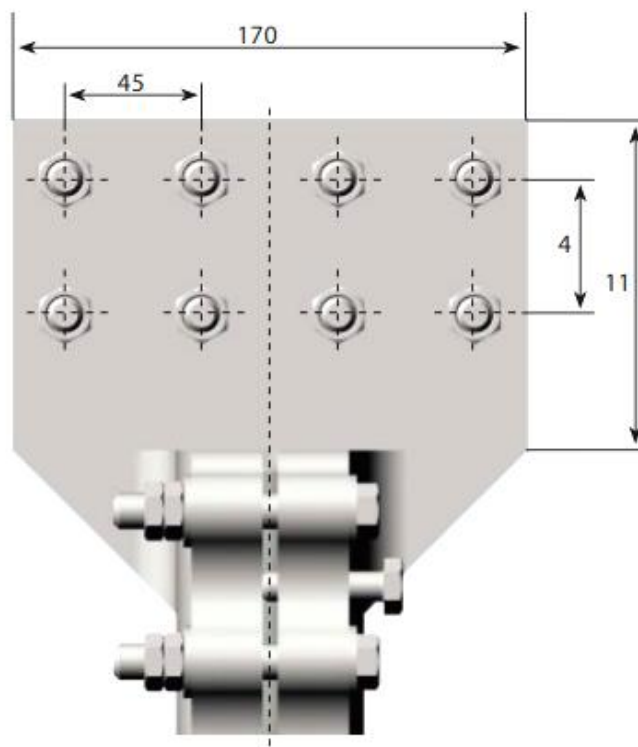


Рисунок 2.3 – Контактна поверхня із болтовим з'єднанням [6]

Експериментально встановлено, що для отримання допустимих значень перехідного опору та напруги падіння в контактному з'єднанні необхідно забезпечити контактний тиск f_K на шину з алюмінію не менше 100 кгс/см^2 . Відповідно до площі контактної площадки S_K та значення контактного тиску f_K визначаємо необхідну силу контактного тиску:

$$F_K = f_K \cdot S_K, \quad (2.18)$$

$$F_K = 100 \cdot 166,66 = 16666 \text{ кгс} = 16,66 \text{ кН.}$$

Відповідно значення сили F_K та струму I_n обирається 8 болтів М14 ГОСТ 7805-70 с шестигранною головкою [2].

2.5 Перевірка розрахунку контактної з'єднання

Для запобігання значних втрат енергії в контакт, перевищення його температури допустимого значення, падіння напруги не повинно перевищувати 7 мВ. Падіння напруги U_K в контактному з'єднанні та його визначальний електричний опір R_K розраховують за формулами [2]:

$$U_K = I_H \cdot R_K, \quad (2.19)$$

$$R_K = R_{nx} + R_M, \text{ Ом} \quad (2.20)$$

де R_{nx} – перехідний опір;

R_M – опір контактної матеріалу;

Перехідний контактний опір визначається за формулою [55]:

$$R_{nx} = \frac{k_{nx}}{n_b \cdot (0.102 \cdot F_b)^m} \left(1 + \frac{2}{3} \cdot \alpha \cdot (\vartheta_K - \vartheta_{o.c.}) \right), \text{ Ом} \quad (3.21)$$

де F_b – сила одного болту, N;

m – коефіцієнт, що враховує форму контактних частин провідників, для з'єднання (0.5 – 0.7);

n_b – кількість болтів;

k_{nx} – значення, що характеризує матеріал і стан контактної поверхні;

α , ϑ_K , $\vartheta_{o.c.}$ – температурний коефіцієнт опору матеріалу, температура контактної з'єднання та середовища відповідно.

Підставивши всі значення в (2.21), отримаємо наступний результат:

$$R_{nx} = \frac{0.09 \cdot 10^{-3}}{8 \cdot (0.102 \cdot 24 \cdot 10^3)^{0.6}} \left(1 + \frac{2}{3} \cdot 0.0042 \cdot (120 - 40) \right) = 0.18 \cdot 10^{-6} \text{ Ом.}$$

Внаслідок викривлення ліній струму та його нерівномірного розподілу вздовж контактного з'єднання поправочний коефіцієнт k включається до формули активного опору:

$$R_m = k_c \cdot \rho \cdot \frac{l}{S}, \text{ Ом} \quad (2.22)$$

де l – довжина перекриття кінців сполучних провідників (формула 2.16);

S – перетин одного провідника (формула 2.3);

$$k_c = 0.5 \div 0.63.$$

$$R_m = 0.63 \cdot 1.62 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{0.155}{829 \cdot 10^{-6}} = 1.91 \cdot 10^{-6} \text{ Ом},$$

$$R_k = 0.19 \cdot 10^{-6} + 1.91 \cdot 10^{-6} = 2.1 \cdot 10^{-6} \text{ Ом},$$

$$U_K = 2000 \cdot 2.1 \cdot 10^{-6} = 0.0042 \text{ В} = 4.2 \text{ мВ}.$$

Отже, оскільки розрахункове значення падіння напруги менше допустимого, перевірочний розрахунок не проводиться.

3 ДОСЛІДЖЕННЯ ВНУТРІШНЬОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ІЗОЛЯЦІЇ ВВОДУ

3.1 Розрахунок електричної ізоляції вводу

Для розрахунку необхідно задаватися параметрами, які взяті з аналогу:

- номінальна напруга $U_n = 220$ кВ;
- максимальна робоча напруга $U_{\max} = 252$ кВ;
- напруга в сухих умовах $U_{\text{сух}} = 550$ кВ;
- напруга під час дощу $U_{\text{уд}} = 425$ кВ;
- випробувальна напруга за хвилину $U_{\text{им}} = 490$ кВ.

Прийнято вважати, що ємності шарів рівні. Тоді напруга в ізоляторі [21, 22, 61]:

$$U = 1.1 \cdot U_{\text{сух}}, \quad (3.1)$$

$$U = 1.1 \cdot 550 = 605 \text{ кВ}.$$

Коефіцієнт 1,1 враховує допустиме відхилення напруги, яке обумовлене умовами випробувань і точністю визначення напруги.

Фазна напруга розраховується за формулою:

$$U_{\phi} = \frac{1,15 \cdot U_n}{\sqrt{3}}, \quad (3.2)$$

$$U_{\phi} = \frac{1,15 \cdot 220}{\sqrt{3}} = 146,1 \text{ кВ}.$$

де 1,15 – співвідношення максимальної робочої напруги та номінальної напруги згідно з ГОСТ 1516.1-76 [32].

Допускається мінімальна товщина ізоляційного шару 0,1 см, тобто відповідає товщині ізоляційного паперу. Максимальна напруга при такій товщині шару розраховується за напругою розряду і визначається

$$E_{\max \text{ расч}} = \frac{74}{\sqrt{\gamma \cdot \varepsilon}}, \quad (3.3)$$

$$E_{\max \text{ расч}} = \frac{74}{\sqrt{0,1 \cdot 3}} = 135 \text{ кВ} \cdot \text{см}.$$

Визначення міцності можна визначити як:

$$E_{\text{м.розр}} = \frac{10,4}{\sqrt{\gamma^{0,55}}} \cdot \frac{U}{U_{\phi}}, \quad (3.4)$$

$$E_{\text{м.розр}} = \frac{10,4}{\sqrt{1^{0,55}}} \cdot \frac{605}{46} = 152,9 \text{ кВ} \cdot \text{см}$$

Кількість шарів в ізоляційній структурі:

$$n = 1.83 \cdot 10^{-4} \cdot 10^4 \cdot \varepsilon \cdot U - E_{\max \text{ расч}}, \quad (3.5)$$

$$n = 1.83 \cdot 10^{-4} \cdot 10^4 \cdot 3 \cdot 605 - 135 = 43 \text{ шарів}.$$

Ескіз паперової ізоляції, просоченої маслом, наведено на рисунку 3.1

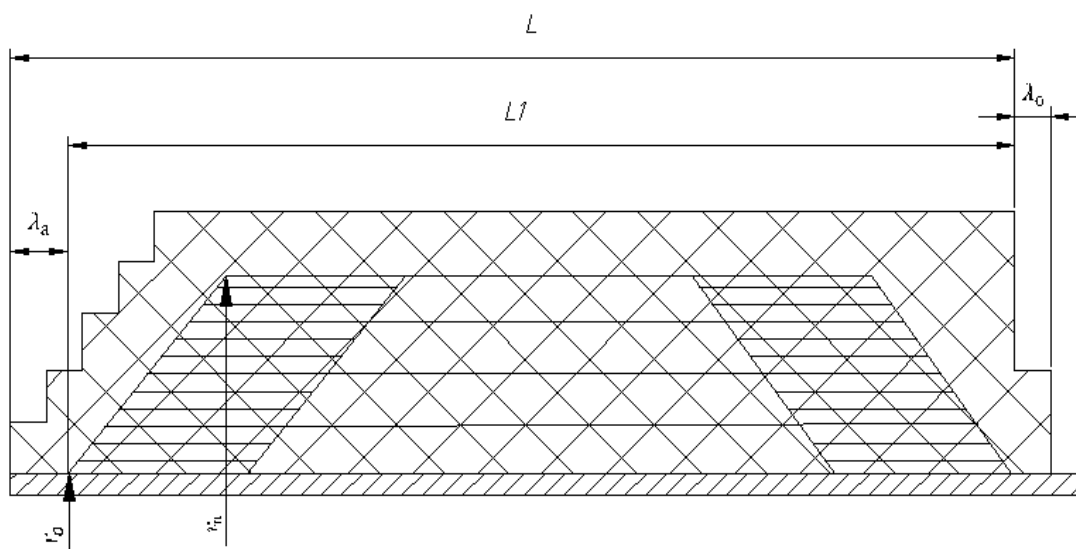


Рисунок 3.1 – Ескіз паперового ізолятора, просоченого маслом

Довжина шару ізоляції в масляній частині:

$$l_m = \frac{5.1 \cdot 10^{-3} m^2 \cdot \left(\frac{U}{n}\right)^2 - 0.1 - \frac{U}{n \cdot E_{расч}}}{\sqrt{\frac{10 \cdot U}{n \cdot E_{расч}}}}, \quad (3.6)$$

$$l_m = \frac{5.1 \cdot 10^{-3} \cdot 1.96^2 \cdot \left(\frac{605}{43}\right)^2 - 0.1 - \frac{605}{43 \cdot 152.9}}{\sqrt{\frac{10 \cdot 605}{43 \cdot 152.9}}} = 1.86 \text{ см}$$

Сума довжин протягування в масляній частині визначається як:

$$\Sigma l_m = n \cdot l_m, \quad (3.7)$$

$$\Sigma l_m = 43 \cdot 1.86 = 79.98 \text{ см}.$$

Довжина шару ізоляції в повітрі визначається як:

$$l_B = \frac{U}{n \cdot 5.5}, \quad (3.8)$$

$$l_B = \frac{605}{43 \cdot 5.5} = 2.5 \text{ см}.$$

Сума довжин шарів ізоляції в повітрі визначається як:

$$\Sigma l_B = n \cdot l_B, \quad (3.9)$$

$$\Sigma l_B = 43 \cdot 2.5 = 107.5 \text{ см}.$$

Повна довжина шарів ізоляції становить:

$$\Sigma l = \Sigma l_m + \Sigma l_B, \quad (3.10)$$

$$\Sigma l = 79.98 + 107.5 \approx 187.5 \approx 1.87 \text{ м}.$$

Відповідно до [25] допускається, що ε дорівнює:

$$\varepsilon = \frac{l_0}{l_n} = 4,1, \quad (3.11)$$

де – довжина заземленого якоря дорівнює:

$$l_n = \frac{\Sigma \lambda}{\varepsilon - 1}, \quad (3.12)$$

$$l_n = \frac{187}{4.1 - 1} = 60.3 \approx 61 \text{ см.}$$

Довжина нульового заземленого якоря становить:

$$l_0 = l_n + \Sigma l, \quad (3.13)$$

$$l_0 = 61 + 187.5 \approx 248 \text{ см}$$

Нульовий радіус арматури:

$$r_0 = \frac{U(\varepsilon + 1)}{2 \cdot \varepsilon \cdot E_{\max \text{ расч}} \cdot \ln \varepsilon}, \quad (3.14)$$

$$r_0 = \frac{605(4.1 + 1)}{2 \cdot 4.1 \cdot 152.9 \cdot 1.41} = 1.7 \text{ см.}$$

Радіус n-арматури дорівнює:

$$r_n = \varepsilon \cdot r_0, \quad (3.15)$$

$$r_n = 4.1 \cdot 1.7 = 6.97 \approx 7 \text{ см.}$$

3.2 Визначення розмірів зовнішньої ізоляції

Довжина верхньої кришки [21]:

$$l_{\text{вп}} = 1.45 \cdot \Sigma l_{\varepsilon}, \quad (3.16)$$

$$l_{\text{вп}} = 1.45 \cdot 107.5 \approx 156 \text{ см.}$$

Найменша довжина покриття:

$$l_{en} = 1,45 \cdot \sum l_M, \quad (3.17)$$

$$l_{en} = 1,3 \cdot 79,98 = 103,9 \approx 104 \text{ см.}$$

Довжина з'єднувального ізолятора визначається як:

$$l_{cu} = l_n \cdot 0,15 \cdot \sum l_s, \quad (3.18)$$

$$l_{cu} = 61 \cdot 0,15 \cdot 107,5 = 983,6 \approx 984 \text{ см.}$$

Діаметри кришок розраховуються як:

$$d_{нвн} = 1,25 \cdot d_{рез}, \quad (3.19)$$

$$d_{нар} = d_{нвн} + (\approx 5).$$

Розрахунок числа ребер:

$$z = \frac{l_{en}}{27} - 1 \quad (3.20)$$

$$z = \frac{156}{27} - 1 = 5,7 \approx 6.$$

Ескіз фарфорової ізоляції показана на рисунку 3.2.

Відповідно до рисунка 3.2 крок ребер становить 27 см.

Середня напруженість [21]:

$$E_{cp} = \frac{U}{r_n - r_0}, \quad (3.21)$$

$$E_{cp} = \frac{605}{7 - 1,7} = 114,2 \text{ кВ/см.}$$

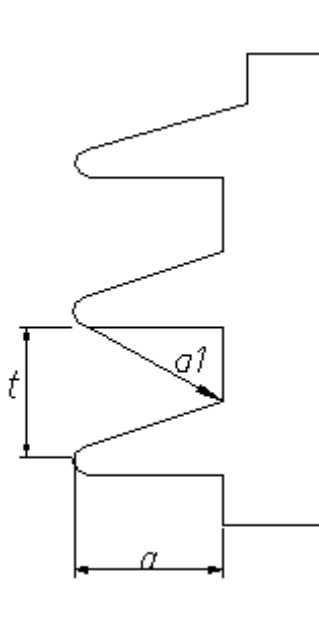


Рисунок 3.2 – Схема порцелянової покритки зовнішньої ізоляції

3.3 Розрахунок термічної стійкості прохідного ізолятора

Приймаємо температуру $T = 30^{\circ}\text{C}$ згідно з [21, 23, 25]. Визначається тепло, що виділяється у дроті довжиною 1 м.

$$q_{qp} = I^2 \cdot \rho \cdot \frac{1}{S} [1 + \alpha(T - 20)], \quad (3.22)$$

$$q_{qp} = 1000^2 \cdot 1,7 \cdot 10^{-9} \cdot \frac{1}{1600 \cdot 10^{-6}} \cdot [1 + 0,0042 \cdot (30 - 20)] = 11,2 \text{ Вт/м} .$$

Залежність $\text{tg } \delta$ від температури має такий вид:

$$\text{tg } \delta = 0,03 e^{0,02 \cdot (T - 20)}, \quad (3.23)$$

$$\text{tg } \delta = 0,03 e^{0,02 \cdot (30 - 20)} = 0,0366 .$$

Температурна різниця в першому шарі ізоляції відповідно до [23]

$$\Delta T = (q_{\text{II}} + \frac{q}{2}) \cdot \left[\ln \frac{(r_x / r_{x+1})}{2\pi \cdot \lambda} \right], \quad (3.24)$$

де $\lambda = 0,17 \text{ Вт/(м} \cdot \text{ }^\circ\text{С)}$ – це теплопровідність ізоляції.

Підставляються числові значення:

$$\Delta T = (11,2 + \frac{0,211}{2}) \cdot \left[\ln \frac{(0,0664)}{6,48 \cdot 0,17} \right] = 0,103 \text{ }^\circ\text{С}.$$

Це – температурна різниця першого шару. Аналогічно обчислюється кожний шар. Щільність струму дроту (провідника), що знаходиться всередині ізолятора, дорівнює $j = 1,25 \text{ А/мм}^2$. Радіус провідника дорівнює $r = 22,5 \text{ мм}$. Поперечний переріз провідника $S = 1600 \text{ мм}^2$.

Таким чином, можна зробити висновок, що вибрані параметри ізолятора, а саме матеріал шини, товщини ізоляції та розміри ізолятора повністю задовольняють технічному завданню.

4 ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ЗОВНІШНЬОЇ ІЗОЛЯЦІЇ ВВОДУ 220 КВ

4.1 Область застосування масло-повітряного вводу з внутрішньою ізоляцією конденсаторного типу сімейства O Plus Dry™

Компанія АББ виробляє сухі вводи з внутрішньою ізоляцією конденсаторного типу більше 30 років. Технологія, задіяна для проектування та виготовлення цього типу вводів постійно вдосконалювалася. Результатом є наступне покоління вводів – O Plus Dry™ вводи [6, 12, 18].

Ці вводи O Plus Dry розроблені та виготовлені з новітніх матеріалів, техніки та процесів. У вводах O Plus Dry використовується просочена синтетична смола (RIS) – технологія, в результаті чого ні містять масло, папір або порцеляну. Конденсатор RIS відливається в тверде тіло, що містить систему епоксидної смоли з фольгою. Силіконовий шар покриття потім накладається на повітряну частину конденсатора. Результатом є сімейство вводів, які підвищують безпеку та надійність з наступними перевагами:

- покращена доступність;
- зменшені потреби в обслуговуванні;
- без олії та порцеляни;
- вибухостійкий;
- антипірен;
- гідрофобний/самоочисний;
- зручне зберігання.

Вводи O Plus Dry призначені для використання в мінеральному маслі у вимикачах змінного струму та відповідають усім вимогам відповідного IEEE електричних та розмірних стандартів, а також напругам, що мають бути витримані для звичайних рівнів випробувань, які вимагаються стандартами ІЕС.

Ні масла, ні паперу, ні порцеляни, ні проблеми за рахунок:

- вводи мають захисні погодні покриття, які утворюються з використанням наповненої високотемпературної вулканізації (НТВ) силіконової гуми, яка спіралью видавлена на повітряній частині вводу (рис. 4.1);
- вводи повинні мати перевірочний або допустимий вивод напруги для перевірки коефіцієнта потужності без відключення виводів обмотки;
- вводи не повинні містити паперу;
- вводи не повинні містити жодної ізоляційної рідини для відокремлення ізоляційної рідини з вимикачем.
- часткові розряди для вводів мають бути нижче 5 pC при дворазовому збільшенні максимальної напруги лінія-земля (L-G);
- коефіцієнт потужності S1 для вводів не повинен перевищувати 0,50 відсотка при 20 °C.



Рисунок 4.1 – Зовнішня спіральна антипогодна ізоляція високовольтного вводу O Plus Dry™ [2, 6, 7]

4.2 Конструкція високовольтного вводу O Plus Dry™

Конструкція високовольтного вводу O Plus Dry™ починається з центрального остова (провідника). Провідник виготовлений з відповідного металу чи сплаву і може бути порожнистим або суцільним залежно від специфічних вимог до застосування. Використовуючи провідник, конструкція конденсатору, має систему ізоляції, яка

просочена і наповнена епоксидною смолою, а потім затверділою. На конденсатор особливо точно намотаний синтетичний матеріал і розміщені алюмінієві фольги, які забезпечують ємнісні вирівнювання градування, які необхідні для контролю і формуванню електричного поля. Поле контролюється в таким чином, щоб оптимізувати розміри, масу та електричні характеристики вводу залежно від класу напруги та інших параметрів вводу.

Після того як конденсор намотаний, його поміщають у форму наповнену епоксидною смолою, і відливають нею навколо та всередині конденсатор. Після повністю затвердіння смоли корпус конденсатора покривається ще твердим шаром, що дозволяє захистити весь ввід від цвілі. Зовнішня ізоляція (конденсатор) виходить з форми в остаточній формі; тому для формування конструкції покриття не потрібна додаткова механічна обробка корпусу.

Перед додаванням шару, захищаючого від впливу погодних умов, на ввід встановлюється фланець. Прикріплення фланця після процесу формування покриття (конденсатора) дозволяє АББ використовувати такий дизайн завдяки великому діапазону механічних конфігурацій ввідів. Шари, захищаючи від впливу погодних умов, формуються за допомогою наповненої високотемпературної вулканізованої (НТВ) силіконової гуми, яка є спіральною екструдованою на повітряну сторону твердого конденсатора. Після процесу екструзії ввід знову нагрівається в нагрівачі, щоб зміцнити силіконову зовнішню ізоляцію (покриття). Застосовуючи силіконові покриття НТВ, АББ може позбутися порцеляни, яка часто сприяє довготривалому часу вироблення звичайних ввідів [2, 6, 7].

Завдяки твердій міцній ізоляції (конденсатору), просоченому епоксидною смолою, дуже мало кроків потрібно для завершення вводу. Встановлюється тестовий вивід або вивід напруги. Для вищої напруги вводу понад 69 кВ, високо-діелектричні, гнучкий матеріал вводиться між фланцем і корпусом конденсатора для ізоляції виводу напруги. Потім, відповідні кінцеві термінали додатково під'єднуються відповідно до IEEE або спеціальних вимог замовник.

Покриття, що захищає від впливу погодних умов, було ретельно розроблено, щоб оптимізувати її роботу як погодну покриття. Цей профіль має чергування малих

і більших ребер для самоочищення (рис. 4.2). Така конструкція була спроектована як безперервна неглибока спіраль з крапельним краєм і крутістю схилу, щоб забезпечити стікання води по краю сараю. Нижня поверхня так само, як і верхня поверхня кожного ребра нахилена під кутом вниз. Цей прийом оптимізує захищені зони від погодних опадів, в результаті чого забезпечено мінімально можливі струми витоку навіть у важких умовах. Кінець кожного ребра добре закруглений завдяки чому забезпечено мінімізацію величини діелектричної напруги та зменшення ризику ерозії.

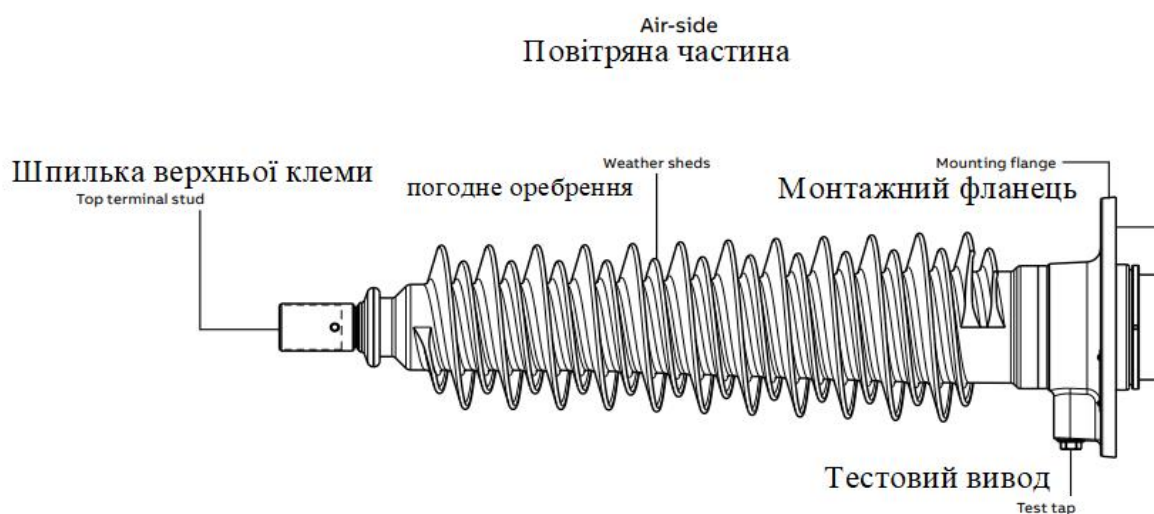


Рисунок 4.2 – Покришка, що захищає від впливу погодних умов [2, 6, 7]

Спеціально розроблена силіконова гума НТВ, що захищає від впливу погодних умов, на корпус епоксидної покришки наносяться за допомогою процесу спіральної екструзії без пустот. АББ розробив запатентований метод екструдкування ребер з гвинтовим рисунком. Цей метод екструзії дозволяє застосовувати погодне оребрення незалежно від довжини повітряної сторони вводу. Звуження на початку і в кінці покришки ретельно формується вручну. Покришки з силіконової гуми повністю герметичні завдяки хімічному з'єднанню, яке забезпечує найкраще з можливих поєднань між силіконом і корпусом ізолятора. Результатом є безшовне силіконове покриття без формувальні лінії з'єднання. Це зменшує ймовірність розривів, оскільки немає неоднорідного матеріалу злиття лінії, на якій можуть накопичуватися забруднюючі речовини.

У вводах O Plus Dry використовуються тільки високоякісні наповнювачі НТВ силіконової гуми від кращих постачальників. Використання силіконової гуми НТВ

забезпечує найвищу можливу довговічність покриттів, а також стійкість до розтріскувань та стійкість до ерозії. Цей матеріал стабільний навіть за температурних умов відповідно до вимог стандартів IEEE [6, 12, 18]..

Силіконова гума НТВ має властивість бути високо гідрофобною. Ця властивість сприяє розриву плівок води на поверхні в окремі краплі. Це явище значно зменшує струм витoku вздовж поверхні, допомагає запобігти спалаху та підвищує рівень здатності витримувати напругу під час вологих і сильно забруднених умов. Низький струм витoku мінімізує активність розряду на поверхні та мінімізує ерозію. По суті, гідрофобність діє як властивість до самоочищення, яка продовжує термін служби та значно знижує потребу в обслуговуванні очищення ізолятора.

Механізм гідрофобної властивості силіконової гуми НТВ має низьку дифузійну молекулярної маси (LMW) силікону з тіла матеріалу на поверхню. Низькомолекулярний силікон утворює шар на поверхні ізолятора, який є гідрофобним і має тенденцію до інкапсулювати забруднення. Цей шар надзвичайно тонкий, тобто товщиною лише кілька молекул, і розподіляється по всій поверхні ребрення. LMW силікон в гумі дифундує на поверхню впродовж всього терміну служби вводу. Кількість втраченого силікону через цей процес є незначним і не впливає на очікуваний термін служби вводу.

Другою властивістю силіконової гуми НТВ є її здатність швидко відновлюватися після забруднення. При сильному і тривалому забрудненні гідрофобні характеристики можуть бути знижені тимчасово, але швидко відновлюється, як тільки умови нормалізуються. Тестування, проведене компанією АВВ, показує втрату гідрофобності під час екстремуму умови 1000-годинного випробування соляним туманом можна відновити протягом кількох днів, якщо дати йому висохнути, і навіть швидше під впливом ультрафіолетового світла та високої температури.

Верхній/нижній термінали вводу O Plus Dry оснащені посрібленими верхніми клемними шпильками, які відповідають IEEE C57.19.01-1991 та IEEE C57.19.01-2017. Конкретні відомості про термінали наведено на рис. 4.3. Для вводів з номінальною напругою понад 69 кВ нижній термінал зазвичай входить до комплекту, який включає в себе щиток і кріплення (рис. 4.3). Ця інформація не охоплює всіх можливих не-

передбачених ситуацій чи обставин, які можуть виникнути під час встановлювання або інсталяції, експлуатації чи технічного обслуговування деталі та варіанти цього обладнання. Ескізний рисунок (рис. 4.3) вводу містить відповідну інформацію для специфічного вводу, яка потрібна для безпечного і правильного встановлення та застосування.

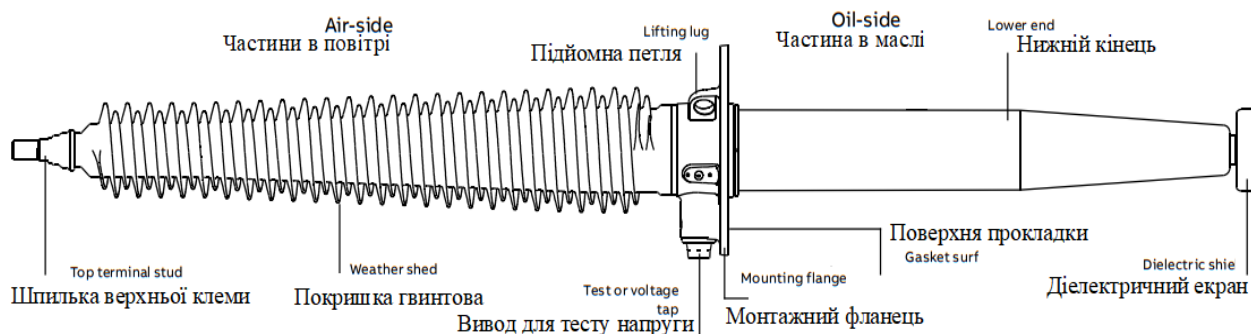


Рисунок 4.3 – Ескіз зовнішньої ізоляції високовольтного вводу O Plus Dry™ [2, 6, 7]

Тестовий вивод (відпайка) O Plus Dry вводу з номінальною напругою 69 кВ і нижче мають невеликий корпус, що містить тестовий вивод як частину монтажного фланця. Тестовий вивод (відпайка) забезпечує зручний спосіб для визначення коефіцієнта потужності та ємності вимірювання шляхом випробування незаземленого метод вимірювання (UST) (рис. 4.4) [2, 6, 7].

Вивод напруги вводу 115 кВ і вище забезпечуються типом А (нормально заземлений) виводу напруги, як описано в IEEE C57.19.01-2017 і показано на рис. 4.4, б. Ця відпайка підключається до одного з внутрішніх фольгових електродів конденсатора, під'єданого разом як фольга С1. Завдяки виводу, обмотка заземляється за умови нормальної роботи. Якщо напруга обмотки використовується в поєднанні з потенціалом або пристроєм моніторингу, напруга між відпайкою обмотки і земля повинна бути обмежена до 8 кВ безперервно, коли ввід заповнений мінеральним маслом.

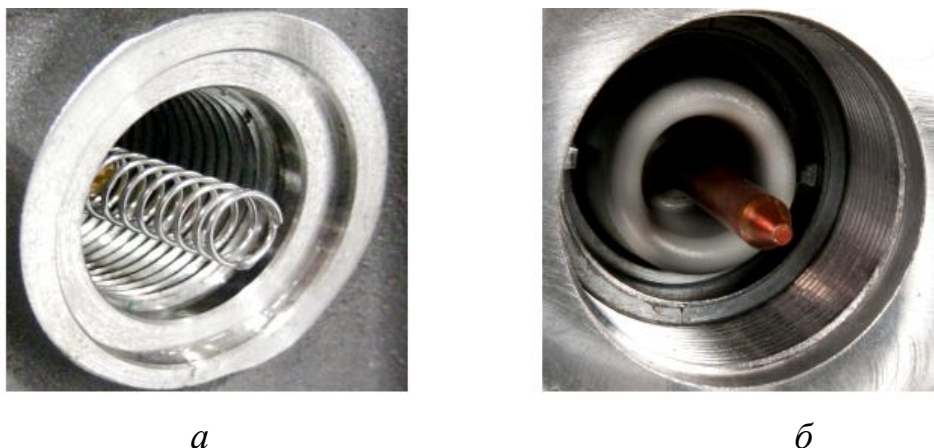


Рисунок 4.4 – Конструкція виводів для тестування (а) та вимірів напруги (б) [2, 6, 7]

4.3 Методика розрахунку температурного режиму вводу

Найгарячіша температура вводу під час роботи залежить від конструкції вводу (геометрії і матеріалів), струму і частоти навантаження, підвищення температури верхнього шару масла вимикача, температури навколишнього середовища та тривалості роботи. Стандарт IEEE C57.19.100-2012 забезпечує термічні константи, які можуть бути використані для оцінки підвищення температури найгарячішої точки вводу [2, 6, 7].

Ці константи є унікальними для певної конструкції вводу, це чотири константи (не справді константи, але відносно узгоджені в прийнятному діапазоні), а також опис їх значення, є:

K_1 – пояснює самонагрівання вводу, в першу чергу, завдяки $I_2 \square R$ втратам ;

K_2 – враховує та пояснює вплив гарячого масла, в якій занурений ввід;

n – показник ступеня пов'язує самонагрівання втулки при умови перевантаження до номінального умови. Оскільки найбільший компонент самонагрівання становить $I_2 \square R$ втрат, близько до 2, але такі речі, як ефективність охолодження, зміна опору провідника, і зміни теплового випромінювання с температури згортаються в цей експонент;

τ – постійна часу, пов'язана з синхронізацією теплових переходів, що відбуваються після умови експлуатації змінюються

$$\theta_{SS} = \Delta\theta_{HS} + \theta_A = K_{1\Box}(I_a / I_r)^n + K_{2\Box}\Delta\theta_0 + \theta_A, \quad (4.1)$$

де θ_{SS} – температура в сталому (стаціонарному) стані найгарячішої точки вводу (°C);

$\Delta\theta_{HS}$ – перевищення підвищення температури найгарячішої точки в сталому (стаціонарному) стані вводу над температурою навколишнього середовища (°C);

θ_A – температура навколишнього повітря (°C);

$\Delta\theta_0$ – підвищення температури над навколишнім середовищем у верхніх шарах масла вимикача (°C) в сталому (стаціонарному);

I_a – фактичний струм навантаження вводу в (A);

I_r – номінальний струм вводу (A).

Ще одна незначна відмінність у термінології полягає в тому, що співвідношення (I_a/I_r), що використовується тут, згадується в стандарті IEEE просто як струм « I ». Однак термін « I » є універсальним використовується для позначення струму. Цей « I » (пер IEEE) не поточний, а скоріше струм на одиницю, з посиланням на рейтинг втулки. Додатково терміни « I_a » та « I_r » окремо об'єднує все в одному рівнянні.

Для короткочасних перевантажень ввід може не встигнути досягти рівноважної температури. Як результат, короткочасні перевантаження, які в іншому випадку було б неприпустимими, можуть бути нешкідливим на цьому інтервалі часу, тобто в залежності від тривалості перевантаження і початкової температури вводу перед перевантаженням. Підвищення температури від початкової температури до сталого режиму є приблизно експоненціальним, а постійну часу « τ » можна використовувати для прогнозування температури в даному випадку час під час цього переходу. Конкретні розрахунки тут не показані, але пояснюються в IEEE C57.19.100-2012, §4.2.2 [6, 12, 18].

Однак навіть без повних розрахунків, постійна часу може дати уявлення про те, чого очікувати. Через п'ять постійних часу температура набуде стабільності в нових умовах експлуатації, тому будь-яка тривалість перевантаження, що перевищує п'ять постійних часу можна фактично вважати за стаціонарний режим роботи. Після досягнення однієї постійної часу температура досягне 63 відсотків різниці температур над

«до початку перевантаження» і «після закінчення перевантаження». Після трьох постійних часу, температура становитиме 95 відсотків різниці.

Автори звертають увагу на те, що оскільки наведені розрахунки перехідних процесів у стандарті IEEE передбачені лише на те, як температура переходить від початкового значення до кінцевого значення, ці значення можуть бути фактичними температурами, або вони можуть бути значеннями підвищення температури. Оскільки у стандарті IEEE ці розрахунки вже починаються зі значень підвищення температури, і тому результатом є підвищення температури. Однак після розрахунків необхідно додавати температуру навколишнього середовища, щоб отримати фактичну температуру [6, 12, 18].

Коли температура для заданих робочих умов та їх тривалість визначено, вона має бути порівняна з температурними обмеженнями вводу. Для введів O Plus Dry обмеження для безперервних робочих температур (фактична, а не просто підвищення над температурою навколишнього середовища), становить 120 °C, а також для короткочасних режимів – трохи більша о межа становить 130 °C. Ці обмеження не повинні бути перевищеним.

Як останнє зауваження, вводи O Plus Dry були розроблені для і при 60 Гц, тому термічні константи встановлені при 60 Гц. За рахунок збільшення глибини шару провідності при 50 Гц, вводи, що працюють при 50 Гц, будуть мати меншу температуру та охолоджуватимуться краще, ніж ті, що працюють при 60 Гц. Таким чином, робота введів при 50 Гц є прийнятною без додаткового розгляду.

Розрахуємо температуру вводу за пропонованою методикою для наступних даних [6, 12, 18].

Дано ввід з коефіцієнтами: $K_1 = 17,9$, $K_2 = 0,96$, $n = 1,99$ і розрахований на 2000 А, але витримує режим навантаження струмом 2500 А, в вимикача з підйомом масла у верхній частині температура становить 59 °C, а зовнішня температура навколишнього середовища 34 °C. Розрахуємо температуру найгарячішої точки при досягненні сталого режиму, тобто коли температура стане стабільною. Для цих розрахунків скористуємося формулою (4.1). Відповідно, підставимо всі значення:

$$\theta_{ss} = 17,9 \cdot (2500/2000)^{1,99} + 0,96(59) + 34 = 118,6 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Оскільки досягнута температура нижча за межу 120 °С, цей набір робочих умов є прийнятним для безперервної роботи.

4.4 Методика розрахунку номінального струму короткого замикання вводу

Немає існуючих номінальних значень короткого замикання для вводів внутрішньої ізоляції (конденсатора), визначених стандартами IEEE. Однак стандарти IEEE містять вимоги до трансформаторів та вимикачів, які можуть слугувати орієнтиром для рейтингів коротких замикань вводів. У IEEE C57.12.00-2015 § 7.1.3.1 максимальна тривалість короткого замикання для вимикачів та трансформаторів категорій II, III та IV визначена як дві секунди [6, 12, 18]..

Розв'язавши рівняння (4.1), наведеного раніше, можна визначити, що номінальний струм симетричного короткого замикання дорівнює 25-кратному перевищенню номінального струму у нормальному режимі.

В IEC 60137 § 4.3 зазначено, що номінальний струм короткого замикання повинен у 25 разів перевищувати нормальний номінальний струм протягом двох секунд з посиланням на IEC 60076-5. Номінальний паспортний струм симетричного короткого замикання не повинен перевищувати 100 кА.

Вводи компанії O Plus Dry були оцінені за методом перевірки, наведеним у IEC 60137 § 8.8 [6, 12, 18], і придатні для струму, який у 25 разів перевищує номінальний, протягом двох секунд. За результатами розрахунків сухий ввід O Plus Dry витримує такий випадок короткого замикання, але такий випадок не обов'язково може бути повністю.

Таким чином, рекомендується ретельно оцінити вводи, які зазнають вплив короткого замикання близько вказаних меж або перевищують їх, перед повторним увімкненням вимикача чи трансформатора, навіть якщо видимих пошкоджень не спостерігається.

Крім того, цей метод розрахунків відноситься до теплової характеристики вводів. Механічний навантаження також викликає занепокоєння, але механічні навантаження залежать від того, як вмикаються остови (провідники), розташовані та підтримуються. Це потрібно робити через те, що сили, створені на терміналах вводів, не виходять за межі консолей вводів.

Конструкція нижнього підключення є відповідальністю конструктора вимикача чи трансформатора, а щоб уникнути перегріву правильні розміри нижнього терміналу обов'язкові. Крім того, рекомендується використовувати стопорні шайби, щоб забезпечити стабільне з'єднання та запобігти будь-які вібраційні втрати через виникаючі гармоніки, що призведе до пошкодження обладнання.

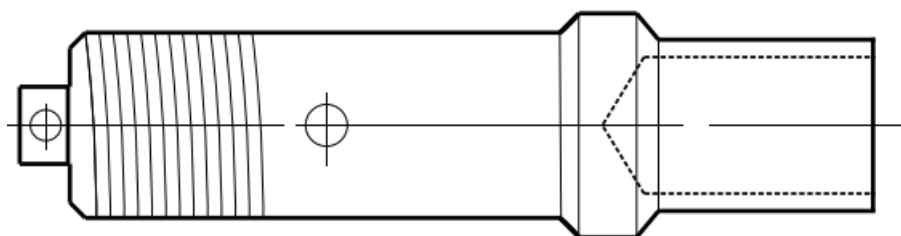


Рисунок 4.5 – Шпилька з'єднання вводу та вимикача [2, 6, 7]

Правильний розмір тягового кабелю є важливим і за відповідальністю конструктора вимикача або трансформатора. Максимальний номінальний струм для підключення дроту вводів на 69 кВ і нижче становить 400 ампер. Максимальний номінальний струм для підключеного дроту вводів на 115 кВ і вище становить 800 А.

Розробники вимикачів або трансформаторів повинні знати діаметр прохідної провідної трубки (остову), оскільки це обмежить вибір розміру кабелю. Обраний кабель повинен бути належним чином ізолюваний (тобто ізоляція товщиною 1 мм або більше), щоб ізолювати його від внутрішнього діаметра остову (трубки) вводу та уникнути утворення дуг між тяговим кабелем і остовом вводу.

Якщо ввід виконаний з обжимним роз'ємом, як показано на рисунку 4.5, то для 400 Ампер пропонується 350 мкм стандартного багатожильного мідного кабелю МСМ діаметром з паперовою ізоляцією не менше 1 мм. Для 800 Ампер ми пропонується 1000 мкм багатожильного мідного кабелю з паперовою ізоляцією мінімум 1 мм. Ці рекомендації припускають рівень масла в трубці вводу не менше 1/3 відстані від фла-

нця до верху терміналу, а всі умови роботи в межах обмеження, визначені IEEE C57.19.00 – 2004 [2, 6, 7].

Якщо дотримуватись цих рекомендацій щодо кабелю зокрема (розміри та теплоізоляція), теплові константи на рис. 4.2 можуть використовуватися в загальному використанні. Їх вибирають так, щоб вони відповідали найгарячішому випадку, і є безпечні для використання в усіх випадків.

Таблиця 4.1 – Загальні теплові константи вводів O Plus Dry [2, 6, 7]

Клас напруги, (кВ)	Кабель 1 мм папір, мкмк	K_1	K_2	n	τ , мін
25...69	350	19,00	0,94	2,20	10
115...138	1000	16,80	0,91	2,14	40
230	1000	21,90	0,98	2,33	80

Таблиця 4.2 – Електричні характеристики вводів O Plus Dry 230 кВ

Номер типу ввода	Номінальна напруга системи, кВ	Повний рівень імпульсу, кВ	Максимальна напруга лінія-земля, кВ	Номінальний струм, А	Мінімальний шлях витоку відстань мм/дюйм
230N0800AA	230	900	146	800	7040/ 277.2
230N0200AA	230	900	146	1200	7040/ 277.2
230N0800CA	230	1050	146	800	8525/ 335.6
230N1200CA	230	1050	146	1200	8525/ 335,6

Електричні показники, наведені в [2, 6, 7], стосуються вводів, що працюють при частоті 60 Гц.

Щоб отримати конкретну інформацію, зверніться до плану малювання

Установка, експлуатація та обслуговування вводу представляє різноманітність потенційно небезпечних умов, включаючи, але не обмежуючись цим наступне:

- високий тиск;
- смертельна течія;
- рухомі механізми;
- важкі компоненти.

Потрібні спеціальні процедури та інструкції і необхідно дотримуватися при роботі з вводами. Недотримання вимог техніки безпеки може призвести до серйозних наслідків, регіональна та місцева безпека вимоги.

ВИСНОВКИ

Значимість високовольтних вводів обумовлена забезпеченням створення надійної роботи систем електропостачання та безпекою виникнення пошкоджень зі значними матеріальними втратами. Тому необхідність підвищення надійності та ефективності роботи вводів за допомогою технологічних нововведень, є актуальним завданням.

Основою електричних розрахунків внутрішньої ізоляції будь-якого виду є допустимі значення напруженостей. Від грамотної оцінки значень цих напруженостей вирішальним чином залежать техніко-економічні показники вводу, що розробляється та досліджується. Завищені значення робочих напруженостей ведуть до скорочення термінів служби ізоляції, а занижені значення – до невиправданого збільшення її розмірів, підвищеної витрати матеріалів, більш трудомісткого та тривалого виконання технологічних операцій.

Особливу важливість має контроль за дотриманням технології виготовлення на всіх стадіях виробничого циклу. Саме склад компаунду та технологічні режими, які відпрацьовувалися як розрахунковим так і експериментальним шляхом протягом тривалого часу є гарантією збереження високих діелектричних властивостей RIP-ізоляції кістяків протягом тривалих термінів експлуатації. Ретельний контроль за дотриманням технологічних режимів у процесі сушіння, просочення, а також під час циклу затвердіння забезпечують постійно високу якість одержуваних ізоляційних кістяків щодо рівня часткових розрядів та механічних показників. Після затвердіння ізоляційного кістяка надається певна форма шляхом токарної обробки..

В результаті магістерської роботи було досліджено високовольтний ввід типу BRIB-90-220-1050-2000 для масляних вимикачів. В результаті розрахунків головних параметрів вводу було виконано креслення кожної його деталі, яку можна побачити на обох кресленнях формату А1. Високовольтний ввід має ряд переваг, таких як: контактна система досить надійна для пропускання струму, конструкція всіх частин має необхідну механічну міцність, контактна система забезпечує впевнене вмикання та розмикання контактів. Майже всі недоліки високовольтного вводу пов'язані з проєк-

туванням його струмопровідної системи та вирішенням цієї проблеми. Економічно вигідно застосовувати лінії електропередачі для більш високої напруги.

Виготовлення остовів для введів вимикачів 220 кВ 2000 А з полімерною зовнішньою ізоляцією є перспективним технічним рішенням для переозброєння та розвитку виробництва на даний час. До того ж вводи з полімерною зовнішньою ізоляцією, такою як випускає компанія АВВ О Plus Dry™ дозволить ефективно вирішувати проблеми, виникаючі при експлуатації високовольтних введів вимикачів та трансформаторів.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. [http:// www.belenergo.by](http://www.belenergo.by) – НПП «БелЭнергоСпецОбор»
2. http://hydrauliks.ru/ref/ko8fficient_teploprovodnosti.html
3. <http://referats-collection.ru/collect/49/78627.html>
4. <http://vvod-kulikov.ru> - ТД «Калуга-энергопоставка»
5. http://window.edu.ru/window_catalog/pdf2txt?p_id=16503&p_page=3
6. <http://www.abb.ru> – Концерн АБВ
7. http://www.derevodom.com/show_1899.html
8. <http://www.marketelectro.ru> – Московский завод «Изолятор» им. А. Баркова
9. <http://www.sermir.narod.ru/tryd/Posob> – журнал «Электрофизика»
10. <http://www.xumuk.ru/nekrasov/x-04.html>
11. <http://www.oil.ru/transform.html>
12. <https://abb.com/electricalcomponents>
13. <https://moodle.zp.edu.ua/course/view.php?id=1824>
14. <https://moodle.zp.edu.ua/course/view.php?id=3462#section-6>
15. https://mosizolyator.ru/files/nodus_items/0000/0012/document-12-1354703480.pdf
16. <https://www.hitachienergy.com/ru/ru/offering/product-and-system/transformer-insulation-and-components/bushings/vysokovoltnye-vvody/>
17. https://zp.edu.ua/uploads/dept_s&r/2022/conf/4.1/TN_2022.pdf.
18. NEW DIAGNOSTIC TOOLS FOR HIGH VOLTAGE BUSHINGS. Proceedings of the 16th International Symposium on High Voltage Engineering, 2009 SAIEE, Innes House, Johannesburg.
19. www.readbookz.com/book/197/7471.html - 18k
20. www.vr.com.ua/book/kotler.htm - 18k – Филлип Котлер. Основы маркетинга
21. Александров, Г. Н. Изоляция электрических аппаратов высокого напряжения [Текст] / Г. Н. Александров, В. Л. Иванов. – Л.: Энергоатомиздат, Ленингр. отделение, 1984. – 208с.

22. Александров, Г. Н. Проектирование электрических аппаратов: учебник для вузов [Текст] / Г.Н. Александров, В. В. Борисов, Г.С. Каплан и др.; под ред. Г. Н. Александрова. – Л.: Энергоатомиздат, Ленингр. отд-ние, 1985. – 448с.

23. Александров, Г. Н. Теория электрических аппаратов: учебник для вузов [Текст] / Г. Н. Александров. – М.: Высшая школа, 1985. – 312 с.

24. АТ Український науково-дослідний проектно-конструкторський та технологічний інститут трансформаторобудування «ВІТ» [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.vit.zp.ua/>

25. Афанасьев, В. В. Справочник по электрическим аппаратам высокого напряжения [Текст] / Под ред. В. В. Афанасьева. – Л.: Энергоатомиздат, Ленингр. отд-ние, 1987. – 544 с.

26. Бажанов, С.А. Техническое обслуживание и ремонт вводов изоляторов высокого напряжения [Текст]: / С. А. Бажанов. – М.: Энергоатомиздат, 1984 – 293 с.

27. Бурьянов, Б.П. Трансформаторное масло. 3-е издание [Текст]: / Б. П. Бурьянов.– М.; Государственное Энергетическое Издательство, 1955 г. – 191 с.

28. Вводы герметичные на класс напряжения 110-220 кВ. Техническое описание и инструкция по эксплуатации ОИВ.463.004

29. Волкова, О. Г. Диагностика силовых трансформаторов длительное время находящихся в эксплуатации [Текст]: / О. Г. Волкова, Л. Б. Жорняк, И. В. Левенков // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Серія: Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. – Х.: НТУ «ХПІ». – 2018. – № 32 (1308). – С. 3 – 7.

30. ГКД 34.20.302-2002. Приймання, застосування та експлуатація трансформаторних масел. Методичні вказівки. НД/Енергетики, Київ 1998 г.

31. ГОСТ 13109-87. Электрическая энергия. Требования к качеству электрической энергии в электрических сетях общего назначения. Взамен ГОСТ 13109-67. Введ. 16.12.87. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 20 с.

32. ГОСТ 1516.1-76. Электрооборудование переменного тока на напряжение от 3 до 500 кВ. Требования к электрической прочности изоляции. Введен 01.07.1990.

33. ГОСТ 1516.2-97 Електроустаткування і електроустановки змінного струму на напругу 3 кВ і вище. Загальні методи випробувань електричної міцності ізоляції. З поправкою [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://online.budstandart.com>

34. ГОСТ 2.755-87. ЕСКД.Обозначения условные графические в электрических схемах. Устройства коммутационные и контактные соединения. – 13 с.

35. Дмитриевский В.С. Расчет и конструирование электрической изоляции. – М.: Энергоатомиздат, 1981 – 392 с.

36. ДСТУ 2304-93 Апарати комутаційні електричні. Вимикачі. перемикачі. Терміни та визначення.

37. ДСТУ 3008: 2015. Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлювання: чинний з 2017- 07-01. – К: ДП «УкрНДНЦ», 2016 – 26 с. (Інформація та документація) (Національний стандарт України).

38. ДСТУ ГОСТ 7.1-2006. Бібліографічний запис. Бібліографічний опис. Загальні вимоги та правила складання: чинний з 2007-07-01. – К.: Держспоживстандарт України, 2007. – 47 с. (Система стандартів з інформації, бібліотечної та видавничої справи) (Національний стандарт України).

39. Энергетика світу та України. Цифри та факти. – Київ: Українські енциклопедичні знання, 2004. – 404 с.

40. Жорняк Л.Б. Проблемы надежности и способы повышения эффективности работы высоковольтных вводов. Электротехника и электроэнергетика. Научный журнал. ЗНТУ, 2004.

41. Жорняк, Л. Б. Основные направления улучшения качества высоковольтных вводов оборудования энергосистем [Текст] / Л. Б. Жорняк, О. Ю. Райкова, В. І. Осинська, В. М. Снігірьов // Електротехніка та електромеханіка. – 2008. - № 3. – С. 17 – 21.

42. Жорняк, Л. Б. Повышение надежности и эффективности высоковольтных вводов [Текст] / Л. Б. Жорняк, О. Ю. Райкова, В. І. Осинська // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського. – 2008. - №4. – С. 95 – 99.

43. Жорняк, Л. Б. Проблемы надежности и способы повышения эффективности работы высоковольтных вводов [Текст] / Людмила Жорняк // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». – 2005. – № 48. – С. 48 – 51.

44. Зеличенко А.С. Устройство и ремонт воздушных линий электропередачи и высоковольтных вводов – М.; Высшая школа, 1984. – 400 с.

45. Кратковременная электрическая прочность твердой RІP-изоляции высоковольтных вводов конденсаторного типа. Влияние толщины слоя конденсаторной изоляции на электрическую прочность. – ІХ Симпозиум «Електротехніка 2030». – 2007.

46. Кульчинский Г.С., Кизеветтер В.Е. – Изоляция установок высокого напряжения – М.: Энергоатомиздат, 1987- 387 с.

47. Липштейн Р.А., Шахнович М.И. Трансформаторное масло. 3-е издание – М.; Энергоатомиздат, 1983 г.- 296 с.

48. Николаев, Г. А. Техническое состояние маслонаполненного оборудования тяговых подстанций и система его комплексного диагностирования. Г. А. Николаев, А. В. Кузнецов. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.css-rzd.ru/vestnik-vniizht/v2003-4>

49. Патент А.с. 14780. Герметичный высоковольтный маслонаполненный ввод. /Носачев В. А., Руденко В. И., Бельдий В. Т., Панченко Н. И./ № 95083730 Заявлено 08.08.1995. Опубликовано 15.08.2001. Бюл. № 7, 2001, – 3 с.

50. Правила улаштування електроустановок : / Міненерговугілля України. – 5-те вид., перероб. і доп. (станом на 22.08.2014) (чинне з 22.11.2014). – Харків : 2014. – 793 с.

51. Правила устройства электроустановок /Минэнерго. П-68го СССР – 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1987 – 648 с., ил.

52. Проблемы контроля изоляции и защиты высоковольтных вводов Крайчич А.В., к.т.н., Мордкович А.Г., к.т.н., Цфасман Г.М., к.т.н. ООО «АСУ-ВЭИ»

53. Разработка высоковольтных вводов с RІP-изоляцией для передачи постоянного тока высокого напряжения. - ІV МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ, «Силовые трансформаторы и системы диагностики», – 2009

54. Розанов, Ю. К. Электрические и электронные аппараты [Текст] /Под ред. Ю. К. Розанова, Е. Г. Акимова и др. – М: Энергоатомиздат, 1998. – 160 с.

55. Сахаров, П. В. Проектирование электрических аппаратов [Текст]/ П. В. Сахаров. – М.: Энергия,1977. – 560 с.

56. Славинский А.З. Новые программы и перспективные разработки ЗАО «Мосизолятор» Тезисы докладов XI международной научно-технической конференции «Трансформаторостроение - 2005».

57. Славинский А.З. Физика диэлектриков. Высоковольтная изоляция энергетической аппаратуры. – М.: ООО Издательство «Научтехлитиздат», 2007.

58. Славинский, А. З. Высоковольтные вводы для масляных выключателей с RIN-изоляцией [Электронный ресурс]: / А. З Славинский, М. Б. Верещагин, С. Д. Касихин, К. Г. Сипилкин // Режим доступа: www.mosizolyator.ru

59. Соколов В.В. Проблемы надежности мощных трансформаторов после длительной эксплуатации. Тезисы докладов XI международной научно-технической конференции «Трансформаторостроение - 2005».

60. Технологическая инструкция 5755564..25207.00001. Контроль и испытания трансформаторного масла.

61. Чунихин, А. А. Электрические аппараты [Текст]/ А. А. Чунихин. – М.; Энергоатомиздат, 1988. – 720 с.