

ІЗОЛЯЦІЙНІ РІДИНИ РОСЛИННОГО ПОХОДЖЕННЯ В ВИСОКОВОЛЬТНОМУ ЕЛЕКТРОУСТАТКУВАННІ

Проценко О.Р., к.т.н., доц., Петрина О.М., студент

НТУУ «КПІ», кафедра техніки і електрофізики високих напруг

Вступ. Інтерес до ізоляційних рідин рослинного походження (ІРРП) виник досить давно. Згадки щодо застосування касторової та бавовняної олії (олія з насіння бавовни) для використання в конденсаторах з паперовою ізоляцією з'явилися вже в 1962 [1]. Конденсатори були єдиним типом електрообладнання, яке серйозно розглядали для використання рослинних олій. Більш високі діелектричні проникності цих рідин краще підходять целюлозним діелектрикам, забезпечуючи рівномірний розподіл електричного поля в конструкціях [2].

З кінця 1990-х років інтерес до ІРРП виник і в частині використання їх для високовольтних трансформаторів. Перші патенти на такі ізоляційні рідини і трансформатори на їх основі були отримані в США (1998-1999рр.). Це послужило поштовхом до активізації робіт у цьому напрямку в усьому світі. З'явилися десятки патентів і повідомлень про дослідження і застосування ІРРП в силових розподільних трансформаторах.

Є дві, як мінімум, причини, чому виробники енергетичного обладнання звернулися до ідеї заміни трансформаторного мінерального масла рідинами рослинного походження:

1. Трансформаторне масло практично не розкладається в атмосферних умовах і у разі аварій, що призводять до витоків і розливам масла, може забруднити ґрунт і водні джерела на довгі роки.

2. Нафтопродукти зрештою коли-небудь закінчаться (серйозний дефіцит прогнозуються вже до середини 21-го сторіччя), а рослинні олії не мають ресурсних обмежень і їх запаси невичерпні.

Мета роботи полягає в аналізі діелектричних характеристик сучасних ІРРП та в порівнянні їх з характеристиками трансформаторного масла мінерального походження.

Матеріали та результати досліджень. Серед основних переваг ІРРП можна виділити:

- майже однакові з трансформаторним маслом діелектричні характеристики;
- поліпшений розподіл поля в конструкціях з паперово-масляною ізоляцією;
- сумісність з целюлозною ізоляцією;
- екологічну чистоту, обумовлену високою здатністю до розкладання в атмосферних умовах;
- відсутність шкідливого впливу на оточуюче середовище та на здоров'я обслуговуючого персоналу.

Активно в напрямку дослідження ІРРП працюють такі фірми, як "ABB Power T&D Company Inc." (США) – ІРРП типу "BIOTEMP" [3], "Cooper Power Systems" (США) – ІРРП типу "Envirotemp FR 3", "M&I MATERIALS" (Англія) – ІРРП типу "Midel®eN"[4] та ряд інших.

У таблиці [5] представлено порівняння деяких фізичних та електричних характеристик ІРПІ, з характеристиками трансформаторного масла та кремнійорганічного масла, що використовуються в трансформаторах .

Таблиця 1 – Порівняння деяких фізичних та електричних характеристик ІРПІ

Властивості	Ізоляційні рослинні олії або суміші	Високотемпературне Трансформаторне масло	Кремнійорганічне масло
Питома вага при 25 °С, г/см ³	0.91 - 0.92	0.89	0.96
Кінематична в'язкість, сSt (сантистокс) при 25 °С	55 – 75	300	50
Температура плинності, °С	-15 ... -25	-20 max	-50 max
Температура займання, °С	354 – 360	160 – 180	340
Вологовміст, ppm для сухої рідини	50 – 100	10 – 25 ^a	50
Теплоємність, кал/г °С	0.50 – 0.57	0.488	0.363
Теплопровідність, Вт/м. К	0.17 ^a	0.13	0.15
Діелектрична проникність при 25 °С	3,1	2,2	2,71
Об'ємний питомий опір при 25 °С, Ом см	10 ¹⁴	10 ¹⁴ -10 ¹⁵	10 ¹⁴
Пробивна напруга, кВ			
Тест ASTM D 1816, проміжок між електродами 2мм	74 «ВІОТЕМР»	60	–
Імпульсна пробивна напруга, кВ (голка – негативний потенціал)	116 ^a	145	136
Біорозчинність, %			
Тест СЕС-L-33 (21 день) [6].	97 – 99	30	Дуже низька

a: змінюється залежно від класів напруги трансформатора

Відмінною рисою ІРПІ від трансформаторного масла є висока температура застигання. Для звичайних рослинних олій така температура становить -5 ... -10°С. Додавання спеціальних присадок дозволяє знизити цю температуру до -30°С. Однак потрібно врахувати, що в робочому стані температура обладнання не може опускатися нижче 5 ... 10°С, що полегшує умови використання ІРПІ.

Важливою характеристикою ізоляційної рідини також є термін експлуатації, який для енергетичного обладнання повинен складати 30-40 років та вимагає високої стабільності характеристик. В ІРПІ такий строк експлуатації отриманий шляхом добавок сильних протиокислювальних інгібіторів, склад яких, на жаль, не розголошується.

Загальна технологія кондиціонування ІРПІ включає в себе відділення твердих складових, обробку спеціальними розчинниками, відбілювання, дезодорація, дегазування та сушка. Після виконання зазначених процедур питомі електропровідності знаходяться в межах 5–50 пСм/м. Однак для використання в трансформаторах бажано мати питому електропровідність 1,0 пСм/м або нижчою.

Крім цього рослинні олії гігроскопічні; отже, вони можуть абсорбувати воду в кількості 1200 ppm (частин на мільйон) або й більше, в насиченому стані при кімнатній температурі. Для застосуванні в трансформаторах бажано знизити цей показник до 100 ppm.

Однією з важливих особливостей ІРРП є їх здатність до біологічного розкладання. Для перевірки може використовуватися тест на здатність до розкладання мікроорганізмами мастил у водному середовищі, відомий як тест СЕС-L-33. Тест триває 21 день. На рисунку 1 показана діаграма порівняння здатності до розкладання мікроорганізмами рослинних олій та інших ізоляційних рідин [6].

У процесі експлуатації ізоляційні рідини в трансформаторах піддаються тепловим та електричним впливам. Наслідком таких впливів є, зокрема, виділення газів. Кількість і тип газів служить достовірною інформацією про наявність в обладнанні дефектів та їх розвиток.

На рисунку 2 показаний відсоток газів, виділених з ізоляційних рідин ВІОТЕМР і Envirotemp FR3 протягом 22 днів при 250 °С [7].



Рисунок 1

Діаграма порівняння здатності до розкладання мікроорганізмами рослинних олій

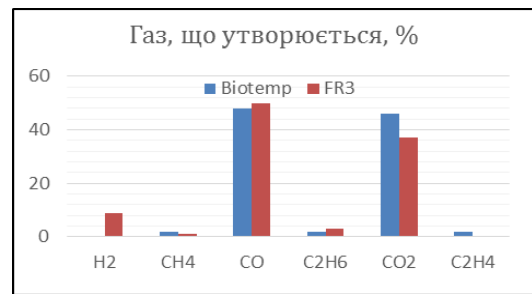


Рисунок 2

Відсоток газів, виділених з ізоляційних рідин ВІОТЕМР і Envirotemp FR3

Насамперед можна сказати, що склад виділених газів для обох рідин практично однаковий (крім водню в рідині FR3). Однак, у порівнянні з трансформаторним мінеральним маслом, основна відмінність полягає в присутності значної кількості CO і CO₂. На відміну від вуглеводневих рідин, ефірні рідини містять карбонільну групу COO, яка в результаті теплових та електричних впливів руйнується з виділенням CO і CO₂. Крім цього, водень в рідині FR3 з'являється в результаті термічного розкладання наявних присадок і не є типовим для інших рідин.

Результати дослідження рідин на основі рослинних олій і мінерального трансформаторного масла на предмет розкладання їх під дією часткових розрядів представлений на рисунку 3 [5].

Аналіз даних показав, що в цьому випадку присутні водень, метан, CO і CO₂. Поява CO і CO₂ має ту ж природу, що і в попередньому випадку.

Вплив дугового розряду на мінеральне масло призводить до виділення, головним чином, водню та ацетилену. При аналогічному впливі на ІРРП крім зазначених газів знову з'являється CO і CO₂. На рисунку 4 показано порівняння

газоутворення від ІРРП (ВІОТЕМР) і від звичайного трансформаторного мінерального масла [6].

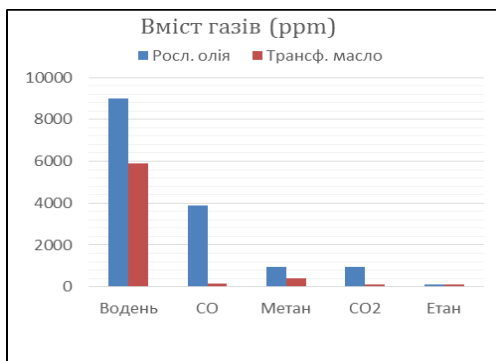


Рисунок 3

Результати дослідження рідин на основі рослинних олій і мінерального трансформаторного масла

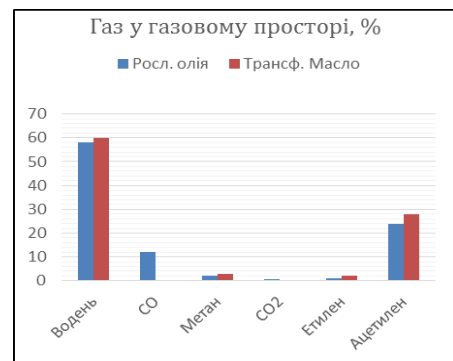


Рисунок 4

Порівняння газоутворення від ІРРП (ВІОТЕМР) і від звичайного трансформаторного мінерального масла

Ресурсні випробування ІРРП, що проводяться за стандартом ANSI/IEEE C 57.100-1986 при підвищених температурах (до 200°C), показали, що згадані вище ІРРП, перевершили нормальний період ресурсного випробування [8].

Висновки. Застосування ізоляційних рідин на основі рослинних олій має інноваційний характер, та є одним з перспективних напрямків розвитку енергетики XXI-го століття. Порівняльний аналіз характеристик рідких діелектриків на основі ІРРП показав, що вони мають реальні перспективи широкомасштабного впровадження, особливо в країнах, багатих біологічними ресурсами.

Перелік посилань

1. F.M. Clark, *Insulation Materials for Design and Engineering Practice*. New York: McGraw-Hill, 1962.
2. Справочник по электротехническим материалам: В 3т. Т.1/ Под.ред. Ю.В.Корицкого и др.– 3-е изд., перераб. – М.: Энергоатом издат, 1986. – 368с.
3. Мендес Х.К., Рейс А.С.Г., Ногава Е.К., Ферра К., Мартинс А.Х.А.Л., Пассос А.К. Более рациональное использование растительного масла АBB ВІОТЕМР в высоковольтных силовых трансформаторах // АББ Ревю. – № 3. – 2007. – С. 53-57.
4. M&I Materials Limited: <http://http://www.midel.com/ru/products/midel/midel-en>
5. T.V. Oommen, et al., “A New vegetable oil based transformer fluid: Development and verification,” in Proc. CEIDP, Victoria, British Columbia, Canada, 2000, pp. 308-312.
6. T.V. Oommen and C.C. Claiborne, “Biodegradable insulating fluid from high oleic vegetable oils,” presented at the International Council on Large Electric Systems (CIGRE) Paris Session, 1998.
7. L.R. Lewand, “Laboratory evaluation of several synthetic and agricultural-based dielectric liquids,” presented at the Doble Spring Conference, April 2000.
8. T.V. Oommen, “Vegetable oils for liquid-filled transformers,” IEEE Electrical insulation magazine, vol. 18, no. 1, pp. 6-11, 2002.