

УДК 621.311.001.18

**І.О. Бандура, М.В. Романюк***Луцький національний технічний університет***ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ВИПРОБУВАННЯ ШУНТОВИХ РЕАКТОРІВ ВИСОКОЮ НАПРУГОЮ***Наведено детальний аналіз існуючих методів випробувань шунтових реакторів високою напругою, вказані переваги та недоліки різних випробувальних схем.**Ключові слова: ізоляція обладнання, випробування шунтових реакторів.***И.А. Бандура, М.В. Романюк****ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ИСПЫТАНИЯ ШУНТИРУЮЩИХ РЕАКТОРОВ ВЫСОКИМ НАПРЯЖЕНИЕМ***Приведен подробный анализ существующих методов испытаний шунтирующих реакторов высоким напряжением, указанные преимущества и недостатки различных испытательных схем.**Ключевые слова: изоляция оборудования, испытания шунтирующих реакторов.***I. Bandura, M. Romanyuk****RESEARCH OF METHODS OF TEST OF SHUNT REACTORS WITH HIGH VOLTAGE***The detailed analysis of existing methods of tests of shunt reactors with high voltage is given, the advantages and disadvantages of different test schemes are given.**Keywords: isolation of equipment, testing of shunt reactors.***Постановка проблеми.**

На сьогодні робота енергосистеми України характеризується складними умовами експлуатації, що зумовлено зниженням запасів електричної міцності електрообладнання високої та надвисокої напруги. Це є причиною виникнення аварій, які несуть за собою не тільки економічні втрати, але й людські жертви. Парк трансформаторів та реакторів потужністю більше 80 МВА, які знаходяться в експлуатації складає біля 5500 одиниць. Середня кількість аварій за період з 2004 по 2007 рік склала 17 аварій в рік. Основна частина відмов(55%) – це обладнання з напрацюванням більше 20 років, ще 28% пошкоджень – реактори з напрацюванням більше 30 років. На рисунку 1 зображено результати комплексних обстежень реакторів з виявлення дефектів.

Систематизувавши результати обстежень, було встановлено наступні причини відмови реакторів (таблиця 1).

*Таблиця 1.***Характеристики пошкоджуваності реакторів**

Причина пошкодження реактора	Кількість аварій
Пробій ізоляції уздовж обмоток дискової конструкції з розвитком розрядів по циліндрах	9
Порушення електричного кола в обмотках переплетеного типу з виникненням виткових замикань	3
Газовиділення через конструктивні недоліки реакторів	3
Пошкодження високовольтних ввідів	2

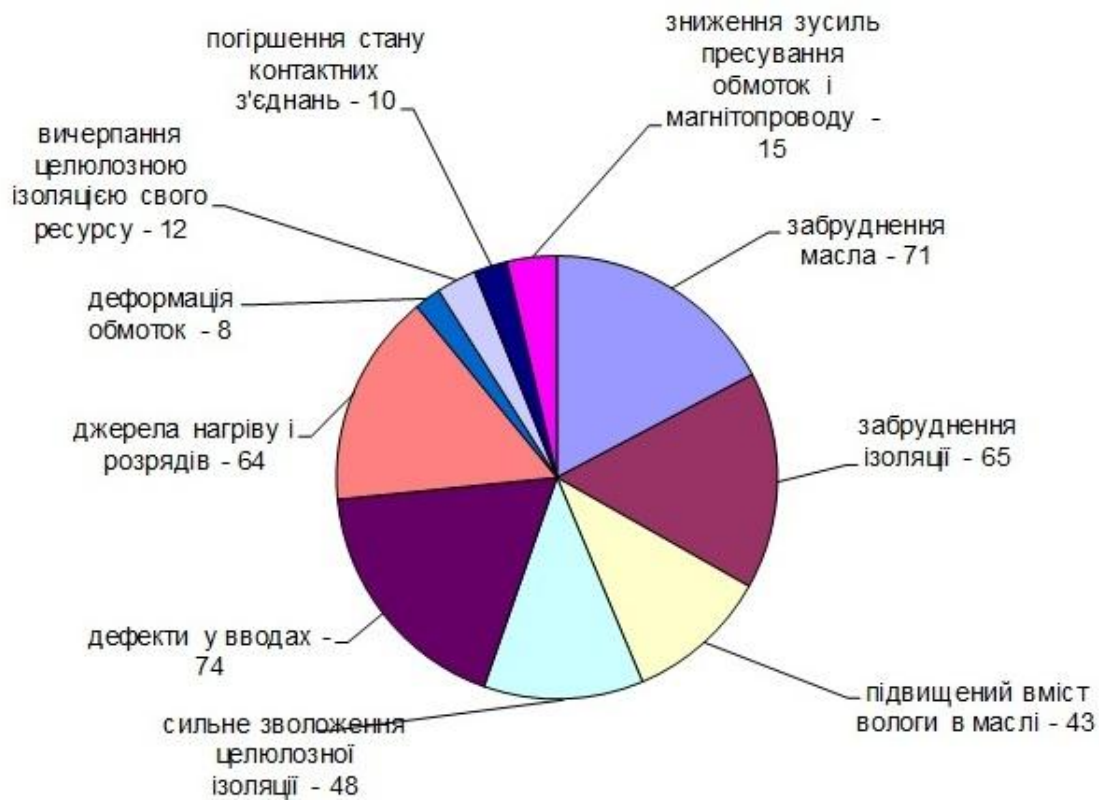


Рис 1. Дефекти реакторів

Випробування електричної міцності ізоляції напругою промислової частоти має за мету перевірити безвідмовну роботу ізоляції оливонаповненого трансформаторного обладнання в експлуатації, як при робочих напругах, так і при комутаційних (внутрішніх) та грозових перенапругах.

Випробування поділяються на кваліфікаційні (для кожного нового розробленого обладнання до випуску з заводу першого екземпляру обладнання відповідного типу), періодичні (для забезпечення відповідності обладнання вимогам стандарту), приймально-здавальні (усе обладнання, яке виготовляється).

Під час експлуатації на ізоляцію впливає робоча напруга з різною тривалістю, атмосферні перенапруги (грозові імпульси) з тривалістю, яка вимірюється мікросекундами, впливають комутаційні (внутрішні) перенапруги. При грозових імпульсах виникають коливання всередині обмоткового обладнання. Вони різноманітні як за формою, так і за тривалістю. Факторами, які визначають вибір розмірів ізоляції, а, відповідно і величин випробувальних напруг, є амплітуда та тривалість цих впливів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Велика частка трансформаторного обладнання відпрацювала свій паспортний ресурс – 25 років. Таке обладнання потребує більш ретельного догляду, нових, інформативніших методів перевірки технічного стану. Визначення технічного стану відноситься до задач діагностування. Визначають технічний шляхом постійного моніторингу за параметрами обладнання та періодичними руйнівними або неруйнівними випробуваннями.

З метою підтримання справного стану обладнання підприємства проводять ремонтні роботи. Враховуючи значні проблеми з фінансуванням ремонтів сторонніми організаціями та з транспортуванням такого обладнання, як трансформатори 330кВ і вище та шунтові реактори в Південно-західній електроенергетичній системі створена потужна служба ремонтів. Однак не всі види випробувань, що виконуються на підприємствах - виробниках, можуть бути виконані в умовах експлуатації.

Тому актуальною на сьогодні є задача розробки, вдосконалення методів та засобів перевірки стану обладнання, відремонтованого в умовах експлуатації, методів, які відтворюють реальні умови, в яких відремонтованому обладнанню доведеться працювати.

З цією метою потрібно дослідити існуючі методи та засоби випробувань високовольтного трансформаторного обладнання.

**Викладення основного матеріалу.** При випробуванні шунтових реакторів високою напругою виникають певні труднощі. Для збудження реактора до номінальної напруги в умовах заводу використовується джерело високої напруги потужністю не менше повної потужності реактора і проміжний трансформатор, розрахований на цю потужність і напругу реактора. Тому джерело живлення - синхронний генератор 50 Гц та проміжний підвищувальний трансформатор повинні мати однофазну потужність, яка дорівнює 5-10 % повної потужності випробувального реактора.

Вимірювання втрат в реакторі теж є складним, так як коефіцієнт потужності при цьому досить малий (менший 0,004). Тому ватметровий метод вимірювання втрат не застосовують. Не просто проводити випробування ізоляції реактора нормованою ГОСТ 1516.1-76 випробувальною напругою промислової частоти. Для цього необхідна спеціальна конденсаторна батарея на повну випробувальну напругу реактора при підвищеній частоті, що складно реалізувати. Тому це випробування замінюють впливом грозових та комутаційних імпульсів (ГОСТ 1516.1-76). Згідно до ГОСТ в програму кваліфікаційних та приймально-здавальних випробувань зібраного шунтового реактора класу напруги 110 кВ та вище входять: а) зовнішній (візуальний) огляд; б) перевірка електричного опору обмоток постійному струму; в) вимірювання параметрів ізоляції ( , С та ; г) випробування проби масла з визначенням пробивної напруги та по ГОСТ 6581-75; д) випробування баку реактора на масло щільність; е) перевірка потужності реактора при номінальній напрузі методом падіння напруги із застосуванням приладів класу точності по [13] для вимірювання потужності; є) вимірювання втрат в реакторі мостовим методом з накладанням номінальної напруги між лінійними та нейтральними вводами реактора (допускається вимірювання при пониженої напрузі); ж) випробування ізоляції нейтралі реактора напругою промислової частоти по ГОСТ 1516.1-76; з) випробування ізоляції реактора повним грозовим імпульсом по ГОСТ 1516.1-76; и) випробування ізоляції реактора зрізаним грозовим імпульсом по ГОСТ 1516.1-76; і) випробування на нагрів при номінальній напрузі на вводах реактора з вимірюванням температур по [13]; к) випробування бака реактора на механічну міцність при вакуумі по ГОСТ 11677-75; л) випробування бака реактора на механічну міцність при вакуумі по ГОСТ 11677-75, при підвищеному внутрішньому тиску; м) вимірювання вібрацій по ГОСТ 19469-74; н) вимірювання рівня звуку по ГОСТ 19469-74; м) вимірювання часткових розрядів в ізоляції реактора для класів напруги 220 кВ та вище.

При внутрішніх перенапругах відомі випадки виходу з ладу високовольтних реакторів. Природний процес старіння ізоляції призводить до зростання впливу параметрів робочого режиму на термін її експлуатації. Не зважаючи на широко вживані в експлуатації заходи по захисту від перенапруг, повністю виключити їх вплив на обладнання сьогодні не можливо. Якщо вплив при імпульсних випробуваннях відповідає атмосферним перенапругам, то відповідність випробування однохвилинною напругою промислової частоти експлуатаційним впливам є сумнівною. Є сумнівним також положення, що успішне випробування реактора однохвилинною напругою у всіх випадках є достатньою гарантією стійкості його ізоляції по відношенню до впливу робочої напруги та внутрішніх перенапруг. Тому більш доцільним є розробка методів випробувань ізоляції, які забезпечують імітацію впливів внутрішніх перенапруг та робочої напруги. Застосування цих методів дозволяє не лише створити ізоляцію, яка має оптимальні розміри при підвищеній експлуатаційній надійності, але і переконатися у можливості роботи відремонтованого обладнання в реальних умовах.

На сьогодні до таких методів відносять: випробування з застосуванням схем, що використовують принцип розряду конденсатора на обмотку випробовуваного реактора. Такі схеми застосовують для збудження в обладнанні коливального імпульсу з частотою, близькою до власної частоти коливаний обладнання, для збудження швидко затухаючого імпульсу максимально можливої тривалості. Такі схеми використовують Wright та Saunders. Але випробування по таких схемах вимагає застосування генераторів імпульсних напруг, які в умовах заводу реально виконати, а в умовах експлуатації є неможливим.

Схеми, які базуються на принципі обриву постійного струму, який протікає по обмотці випробовуваного обладнання, є більш придатним для випробування потужного обладнання на місці експлуатації, хоч теж має ряд недоліків.

Схеми, що ґрунтуються на принципі ударного збудження обладнання, знову ж вимагають застосування імпульсного генератора.

Схеми з використанням коливальних контурів ґрунтуються на використанні тиратронів і використовуються для збудження випробувальних трансформаторів.

Особливе місце для випробування обладнання високих та надвисоких класів напруги займають схеми, які забезпечують накладання випробувальної хвилі на напругу, близьку до робочої. За таких випробувань часткове ушкодження ізоляції під час перенапруги може перерости у ковзний розряд, який розвивається при робочій напрузі, тобто відбудеться «підхват» дії часткового розряду. При випробуванні без накладання на робочу напругу, такому частковому розряду не надається значна увага, так як при одиночних імпульсних впливах ушкодження, яке ним завдається незначне.

Випробування з накладанням перенапруг на робочу напругу більш ефективно, ніж просто випробування при тривалому впливі напруги, воно ближче всього по структурі до найбільш небезпечних реальних експлуатаційних впливів.

Найбільш цікавими для випробувань реакторів є схеми випробувань індуктованою напругою. Випробування в режимі резонансу напруг не вимагає застосування вартісного випробувального трансформатора, розрахованого на повну потужність та на повну випробувальну напругу реактора. Ця схема полегшує реєстрацію часткових розрядів, але потребує стабілізації напруги мережі живлення ( зміна частоти цієї напруги призводить до різких коливань випробувальної напруги). Випробування в режимі резонансу струмів вимагає високовольтного випробувального трансформатора, що є її недоліком, в той же час вона не має залежності впливу зміни частоти цієї напруги на коливання випробувальної напруги.

З наведених вище методів випробування, найбільш оптимальними в умовах експлуатації будуть методи випробування реакторів індуктованою напругою.

**Висновки.** Вдосконалення методів випробувань схем шунтових реакторів, які використовують індуктовану напругу, явища резонансу струмів та напруг дасть можливість визначити функціональну справність; оцінити ступень зношення устаткування; визначити об'єм ремонту; оцінити залишковий ресурс, а головне визначення можливості продовження експлуатації без ремонту, оцінювання можливості і умови продовження роботи устаткування, яке має дефекти та розробити заходи, які забезпечують реалізацію ресурсу, що залишився.

**Список використаних джерел:**

1. Испытания мощных трансформаторов и реакторов. Г.В. Алексеенко., М., Энергоатомиздат. 1978;
2. Изоляция установок высокого напряжения., Кучинский Г.С.,М., Энергоатомиздат, 1987.

Стаття надійшла до редакції 19.03.2019