

УДК 621.315.626

*Л.Б. ЖОРНЯК, О.Г. ВОЛКОВА, М.А. МАКОГОН***К ВОПРОСУ ОБ УЛУЧШЕНИИ КАЧЕСТВА ВНУТРЕННЕЙ ИЗОЛЯЦИИ
ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ**

В данной работе исследованы вопросы повышения надежности электрической изоляции высоковольтных измерительных трансформаторов, которые находятся в эксплуатации в различных энергообеспечивающих системах, методы повышения срока службы такого электротехнического оборудования. Обоснована возможность применения в них перфтортрансформаторного масла в качестве жидкого диэлектрика с целью повышения эксплуатационных характеристик.

Ключевые слова: измерительные высоковольтные трансформаторы, старение изоляции, бумажно-масляная изоляция, диэлектрические потери, жидкий диэлектрик, электрическая изоляция, перфтортрансформаторное масло, ди(октафторпентиловый) эфир

У даній роботі досліджені питання підвищення надійності електричної ізоляції високовольтних вимірювальних трансформаторів, які знаходяться в експлуатації в різних енергозабезпечуючих системах, методи підвищення терміну служби такого електротехнічного обладнання. Обґрунтовано можливість застосування в них перфтортрансформаторного масла в якості рідкого діелектрика з метою підвищення експлуатаційних характеристик.

Ключові слова: вимірювальні високовольтні трансформатори, старіння ізоляції, паперово-масляна ізоляція, діелектричні втрати, рідкий діелектрик, електрична ізоляція, перфтортрансформаторне масло, ді (октафторпентиловий) ефір

In this paper, the issues of increasing the reliability of electrical insulation of high-voltage measuring transformers, which are in operation in various power supply systems, and methods for increasing the service life of such electrical equipment researched. The possibility of using perfluorotransformer oil as a liquid dielectric in them for the purpose of improving the performance characteristics is substantiated.

Keywords: measuring high-voltage transformers, insulation aging, paper-oil insulation, dielectric losses, liquid dielectric, electrical insulation, perfluorotransformer oil, di (octafluoropenty) ether

Введение. Высокое развитие электроэнергетики, повышение номинальных напряжений и токов электрооборудования, создание объединенных энергосистем требует применения новых, более современных электрических аппаратов в системах измерения, защиты и контроля. К таким электрическим аппаратам относится высоковольтные измерительные трансформаторы тока и напряжения (ТТ и ТН). Высоковольтные измерительные трансформаторы тока и напряжения, являющиеся основными устройствами защиты и измерения в электроэнергетике, отличаются от применяемых в низковольтной области трансформаторов уровнем изоляции между первичной и вторичной обмотками. От надежности этих аппаратов зависит непрерывное снабжение электроэнергией потребителей. Длительная работа в номинальном режиме, а также работа в аварийном режиме приводит к постепенному ухудшению свойств трансформаторов, особенно качества изоляции. Следовательно, от состояния качества трансформаторного масла, залитого в маслосистемы высоковольтного оборудования, зависит надежность работы этого оборудования [1, 2].

В электроэнергетике Украины, также как и в других странах, в настоящее время в эксплуатации находится около 70% измерительных трансформаторов с длительным сроком службы, который в основном составляет 25 лет, и значительная часть этого оборудования уже отработала этот нормативный срок. В связи с этим некоторая часть трансформаторов на электростанциях и подстанциях требует замены или ремонта, а это приводит к существенным финансовым вложениям, и не всегда целесообразно с точки зрения технических и экономических затрат.

Известно, что элементы внутренней изоляции в высоковольтных конструкциях в процессе эксплуатации подвергаются сильному электрическому, тепловым и механическим воздействиям, а это, в свою очередь, приводит к ухудшению диэлектрических свойств изоляции, которая “старее” и утрачивает свою электри-

ческую прочность. Электрическая прочность изоляции под действием естественного старения снижается годами и зависит от качества изоляционных материалов, конструкции изоляции и культуры эксплуатации. При нормальных условиях изоляция должна работать десятки лет. Для имеющей наибольшее распространение изоляции класса А максимальная температура может равняться 105° С, при которой срок службы изоляции равен примерно 7 годам. Практика показывает, что превышение температуры на 8° С сверх максимальной сокращает срок службы изоляции вдвое. Когда через диэлектрик проходит ток, то происходит его нагрев, а потери энергии на нагрев называются диэлектрическими и возникают при промышленной частоте в основном за счет поляризации диэлектрика. Параметр $\tan \delta$ характеризует диэлектрические потери в изоляции, является показателем наличия в изоляции посторонних включений и увлажнения изоляции. Тепловые воздействия обусловлены тепловыделениями в активных частях оборудования (в проводниках и магнитопроводах), а также диэлектрическими потерями в самой изоляции. В условиях повышения температуры значительно ускоряются химические процессы в изоляции, которые ведут к постепенному ухудшению ее свойств [5, 6, 15].

Пробой внутренней изоляции электрооборудования под воздействием высокого напряжения приводит к полной или частичной утрате электрической прочности. Большинство видов внутренней изоляции принадлежит к группе несамовосстанавливающейся изоляции, пробой которой означает необратимое повреждение конструкции. Это означает, что внутренняя изоляция должна обладать более высоким уровнем электрической прочности, чем внешняя изоляция, т.е. таким уровнем, при котором пробой полностью исключается в течение всего срока службы. Необратимость повреждения внутренней изоляции сильно осложняет накопление экспериментальных данных для новых видов внутренней изоляции и для вновь разра-

батываемых крупных изоляционных конструкций оборудования высокого и сверхвысокого напряжения. Ведь каждый экземпляр крупной дорогостоящей изоляции можно испытать на пробой только один раз.

Остаются неизменными требования, предъявляемые к диэлектрикам, используемым для изготовления высоковольтной, и не только, внутренней изоляции электрооборудования. Они должны обладать комплексом высоких электрических, теплофизических и механических свойств и обеспечивать необходимый уровень электрической прочности, а также требуемые тепловые и механические характеристики изоляционной конструкции при размерах, которым соответствуют высокие технико-экономические показатели всей установки в целом. Диэлектрические материалы должны также:

- обладать хорошими технологическими свойствами, т.е. должны быть пригодными для высокопроизводительных процессов изготовления внутренней изоляции;

- удовлетворять экологическим требованиям, т.е. не должны содержать или образовывать в процессе эксплуатации токсичные продукты, а после отработки всего ресурса они должны поддаваться переработке или уничтожению без загрязнения окружающей среды;

- не быть дефицитными и иметь такую стоимость, при которой изоляционная конструкция получается экономически целесообразной.

Длительная практика создания и эксплуатации различного высоковольтного оборудования показывает, что во многих случаях весь комплекс требований наилучшим образом удовлетворяется при использовании в составе внутренней изоляции комбинации из нескольких материалов, дополняющих друг друга и выполняющих несколько различные функции. Так, только твердые диэлектрические материалы обеспечивают механическую прочность изоляционной конструкции; обычно они имеют и наиболее высокую электрическую прочность. Детали из твердого диэлектрика, обладающего высокой механической прочностью, могут выполнять функцию механического крепления проводников. Высокопрочные газы и жидкие диэлектрики легко заполняют изоляционные промежутки любой конфигурации, в том числе тончайшие зазоры, поры и щели, чем существенно повышают электрическую прочность, особенно длительную. Использование жидких диэлектриков позволяет в ряде случаев значительно улучшить условия охлаждения за счет естественной или принудительной циркуляции изоляционной жидкости [18].

Цель работы. Изучение возможностей повышения надежности работы измерительных трансформаторов за счет улучшения внутренней изоляции, использования новейших технологических решений и материалов, а также мониторинговых испытаний эксплуатируемого оборудования является, на наш взгляд, актуальным вопросом. поэтому целью данной работы, в конечном счете, есть анализ возможности применения новейших материалов как во вновь разрабатываемом высоковольтном оборудовании, так и находящемся в эксплуатации долгое время.

Анализ конструктивных методов повышения надежности измерительных трансформаторов. Повышения надежности измерительных трансформаторов можно достичь за счет усовершенствования как конструкции самих трансформаторов, так и технологии их изготовления. В новых сериях трансформаторов проводятся принципиальные изменения, связанные с конструктивными особенностями основных узлов и позволяющие улучшить потребительские свойства трансформаторов, а также снизить затраты на их изготовление. Разработки и исследования в связи с этим связаны с вопросами улучшения свойств трансформаторных сталей для магнитопроводов, обмоток и внешней металлоконструкцией, а также повышения качества и надежности изоляционных материалов [5-10].

Например, ведущие мировые фирмы и предприятия предложили наряду с трансформаторами с бумажно-масляной изоляцией, которые имеют вполне удовлетворительные характеристики при работе с энергооборудованием до 750 кВ и выше, применять трансформаторы с твердой, газовой и другими видами изоляции. ОАО «Свердловский завод трансформаторов тока» (СЗТТ) в 1997 году выпустил трансформатор с литой эпоксидной изоляцией. Такие трансформаторы зарекомендовали себя как надежные, более всего подходящие для работы в условиях с высокой загрязненностью (на металлургических, химических предприятиях и предприятиях горнодобывающей отрасли), а их качество подтверждается бесперебойной работой от крайнего севера до субтропиков [11]. Долгое время данный вид изоляции применялся только в трансформаторах на класс напряжения до 35 кВ включительно, т.к. эпоксидные компаунды не пригодны для трансформаторов наружной установки, поскольку разрушаются под воздействием солнечной радиации и климатических факторов. Однако, ОАО «СЗТТ» решил данную проблему технологическим путем: делая две заливки (первая - из обычного компаунда, а вторая, которая определяет внешнюю форму трансформатора, выполняется из материала, устойчивого к внешним воздействиям. Данное техническое решение позволило изготовить трансформатор, предназначенный для работы в сетях до 110 кВ (рис.1). Концерн АВВ разработал трансформаторы с песчано-масляной изоляцией (рис.2). По сути, трансформаторы являются маломасляными, так как их внутренний объем заполнен кварцевым песком, пропитанным минеральным маслом [13]. Такая конструкция позволяет добиться высоких механических характеристик и повысить стойкость к сквозным токам короткого замыкания.

Однако данный вид изоляции имеет свои недостатки. Так, песок для высоковольтной изоляции необходимо использовать только определенных месторождений, требуется его тщательная промывка, прокаливание и магнитная сепарация для удаления проводящих частиц. Однако, проводящие частицы, которые по своей природе антимангнитные, удалить невозможно. Оставаясь в изоляции, они становятся источниками концентрации местных зарядов, участвующих в развитии ползущих разрядов. В составе песка всегда присутствуют частицы кремниевых соединений, ко-

торые поглощают влагу и при колебаниях температуры эта влага перераспределяется, увлажняя бумажную изоляцию. Кроме того, присутствие кварцевого песка в масле вызывает образование большого количества водорода, выделение газовых пузырьков, что вызывает микро пробой в изоляции. Накопление парогазовых пузырьков является причиной относительно быстрого пробоя бумажно-масляной изоляции. Это явление достаточно хорошо исследовано при аварии трансформатора тока серии ИМВ на подстанции "Итатская", которые имели песочно-масляную изоляцию. Повреждения трансформаторов происходили с периодичностью от 1 месяца на подстанции "Итатская" до 12 часов на подстанции "Беркут" с момента включения.

Для оборудования напряжением до 1100 кВ как правило применяют трансформаторы с элегазовой изоляцией (рис. 3), основным преимуществом которых является их полная пожаробезопасность, что по-

зволяет уменьшить размеры подстанций или помещений, где они размещены, и снизить их стоимость в целом. Однако нужно отметить, что такие трансформаторы имеют большие эксплуатационные расходы, а элегаз в результате действия разрядов токсичен [12].

На сегодняшний день заводом КО «Запорожский завод высоковольтной аппаратуры» решена проблема, которая возникала при аварийных ситуациях в сетях, где установлены маслonaполненные трансформаторы. Иногда повреждение трансформатора сопровождалось разрушением изолятора с разлетом осколков и разбросом масла, что, в свою очередь, влекло за собой повреждение рядом стоящего оборудования. Применение современных материалов, в частности высокопрочных изоляторов и сильфонных компенсаторов, дало маслonaполненным измерительным трансформаторам статус взрывобезопасных (рис. 4) [14].



Рис. 1 – Трансформатор ТОЛ-110



Рис. 2 – Трансформатор ИМВ-110



Рис. 3 – Трансформатор ТОГ 110

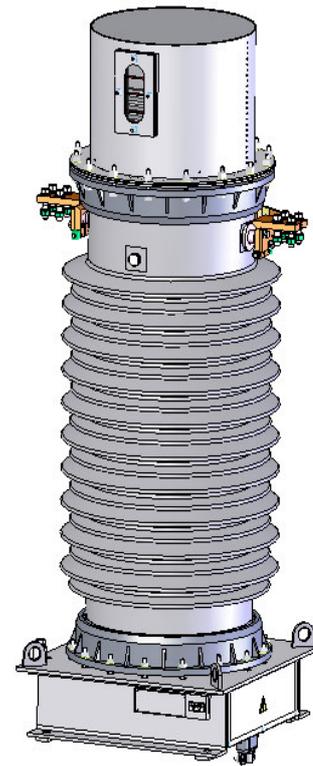


Рис. 4 – Трансформатор ТФЗМ 110 (производство КО «ЗЗВА»)

Наряду с конструктивными методами повышения надежности трансформаторов, существуют также технологические методы. Поэтому от состояния качества трансформаторного масла, залитого в маслосистемы высоковольтного оборудования, зависит надежность работы этого оборудования. Известно, что трансформаторное масло, являясь жидким диэлектриком, обеспечивает надежную изоляцию в электрических маслонаполненных аппаратах (силовых и измерительных трансформаторах, реакторах, высоковольтных вводах и др.), охлаждает активные части этих аппаратов, а также в некоторых случаях служит для гашения электрической дуги. Поскольку на протяжении эксплуатации всего оборудования подстанций необходимо проводить постоянный мониторинг качества масла и, по статистике, через год оно требует очистки, а через 4-5 лет – регенерации, то актуален вопрос повышения качества масла различными способами. Одним из таких способов является ингибирование трансформаторных масел антиокислительной присадкой.

Используемые и перспективные жидкие диэлектрики. В настоящее время во вновь вводимом в эксплуатацию оборудовании в соответствии с Монреальским протоколом до 2030 года должны быть запрещены к применению продукты и материалы, которые негативно влияют на окружающую среду. Задача во всем мире стоит в том, что в действующем оборудовании они также должны быть заменены на другие продукты. А в США, Японии и некоторых европейских странах они уже были запрещены к применению с 1979 г. в связи с их высокой токсичностью и устойчивостью к процессам биоразложения.

Поиски альтернативных вариантов жидких диэлектриков привели к созданию таких веществ, как кремнийорганические жидкости (КОЖ), синтетические

сложные эфиры, углеводородные жидкости, парафины, фторуглеводороды. Все жидкие диэлектрики - заменители хлорфторсодержащих веществ должны удовлетворять следующим требованиям: температура воспламенения выше 200 °С, рабочий диапазон температур от -65 до +155 °С, диэлектрическая проницаемость 4-6 на частотах 50-10000 Гц, tg δ менее 0,02 при и частотах 50-10000 Гц, удельное сопротивление более $2 \cdot 10^{10}$ Ом·см при 90 °С. Они должны быть самогасящимися, нетоксичными, биоразлагаемыми, иметь низкий коэффициент объемного расширения при нагреве.

В случае замены трансформаторного масла кремнийорганическими жидкостями (КОЖ) или, так называемыми «силиконовыми маслами», не содержащими реакционноспособных функциональных групп, они сохраняют текучесть в широком диапазоне температур (от -135 до 250-300 °С). Кремнийорганические жидкости бесцветны и по виду напоминают очищенные нефтяные масла. Для них характерны такие ценные свойства, как, относительно малое изменение вязкости с изменением температуры, более высокая по сравнению с жидкими углеводородами сжимаемость (до 36% по объему при 4000 МПа), низкие температуры застывания и стеклования, гидрофобность, химическая инертность, высокие термическая (240-350 °С) и термоокислительная (150-300 °С) стабильности, хорошие диэлектрические свойства.

В работе [21] авторы справедливо отмечают, одной из самых актуальных проблем является обеспечение электрической изоляции действующих высоковольтных устройств - трансформаторов, емкостных накопителей, высоковольтных вводов и кабелей. Применяемые с этой целью вещества принято подразделять по своему происхождению на нефтяные масла и синтетические жидкие диэлектрики.

Недостатками нефтяных масел являются пожаро- и взрывоопасность, невысокая стойкость к тепловому и электрическому старению, гигроскопичность, горючесть. Поэтому в процессе их эксплуатации необходим постоянный контроль основных параметров: влагосодержания, кислотности, пробивного напряжения, тангенса угла диэлектрических потерь. В частности в трансформаторах с массой масла 1000 кг и более для поддержания необходимого качества изоляции, замедления старения, масло должно подвергаться непрерывной регенерации в термосифонных или адсорбционных фильтрах. Трансформаторы напряжением 110 кВ и выше должны иметь воздухоосушительные фильтры для замедления процесса увлажнения масла. Для замедления процесса старения рекомендуется вводить в масло стабилизирующие присадки, например, такие как ионол.

Перспективным способом улучшения качества масла является метод введения в трансформаторное масло фторорганической жидкости (фторуглеродов) взамен органических [5-8]. Поскольку фтор является самым сильным окислителем, более сильным, чем кислород, а фторорганическая жидкость инертна по отношению к любым воздействиям, в т.ч. стабильна под действием электрического поля и температуры, то фторорганические жидкости выступают, как пожаробезопасные жидкие диэлектрики. Замена атома водорода на атом фтора позволяет использовать перфтортрансформаторное масло в качестве морозостойкой смазки, поскольку при нормальных условиях оно приобретает свойства твердого диэлектрика.

Применение перфтортрансформаторного масла в высоковольтном оборудовании, например, в измерительных трансформаторах, позволит значительно улучшить их внутреннюю изоляцию, за счет его свойств и возможностей, таких как: негорючесть; высокая термическая и химическая стабильность; инертность по отношению к металлам, твердым диэлектрикам и резинам; нетоксичность, отсутствие цвета и запаха [4-6, 15]. Важной особенностью является достаточно высокая электрическая прочность в газообразном (парообразном) состоянии - до 200-300 кВ/см, т.к. фторуглеродные молекулы имеют высокое сродство с электроном, т.е. они являются электроотрицательными. Из других свойств отметим не только негорючесть, но и термостабильность до температуры более 400 °С. Хотя теплопроводность фторуглеродов в два-три раза ниже, чем у трансформаторного масла, но исключительно высокий коэффициент температурного расширения приводит к возникновению мощных конвективных потоков. При этом конвективный теплоотвод оказывается в 3-4 раза выше, чем у трансформаторного масла. Главный недостаток этого масла – дороговизна (оно дороже трансформаторного масла в несколько десятков раз).

По мнению авторов [19-21] наиболее перспективными с точки зрения высоких эксплуатационных показателей есть полифторированные жидкие диэлектрики, в частности ди(октафторпентиловый) эфир. Это органическое вещество, способ получения которого не требует больших энергетических затрат, производства нового оборудования, и, как следствие, имеет невысокую стоимость. Его получение возможно при произ-

водстве спиртов на основе побочного продукта – октафторпентанола. «Рассматриваемый эфир представляет собой бесцветную жидкость, обладает высокой термической стабильностью и химической стойкостью, а также обладает водо- и маслоотталкивающими свойствами.

Отличительной особенностью ди(октафторпентилового) эфира является отсутствие у него температуры вспышки, воспламенения, самовоспламенения, температурных и концентрационных пределов распространения пламени. По многим электроизолирующим свойствам данная жидкость не хуже перфторуглеродов, а по отдельным имеет лучшие показатели» [18, 21]. Авторы отмечают, что, обладая электрическим сопротивлением, сравнимым с сопротивлением перфтортрансформаторного масла, характеризуется более низким тангенсом угла потерь (10^{-4}), равным значением пробивного напряжения (50 кВ/мм). При этом ди(октафторпентиловый) эфир имеет в три раза большую диэлектрическую проницаемость. Они считают, что «такое вещество позволит осуществить замену устаревших, затратных при эксплуатации электроизолирующих жидкостей на другие, а именно на ди(октафторпентиловый) эфир. Причем, принципиальные изменения в конструкции электротехнических аппаратов не нужны, а их заполнение предлагаемым жидким диэлектриком возможно при плановой замене нефтяного масла или синтетического наполнителя».

Однако, на наш взгляд это невозможно, т.к. раньше эти же авторы утверждали, что эфир «обладает водо- и маслоотталкивающими свойствами». А поскольку эксплуатируемые трансформаторы после ремонта (в частности, после старения масла его замены) имеют все же пропитанную внутреннюю бумажную изоляцию, то заполнение их эфиром кажется нам сомнительным. Также рекомендации по заполнению трансформаторов новых разработок эфиром могут быть после более детальных исследований. Неизвестно, как будет себя вести бумажная изоляция при заполнении такого оборудования ди(октафторпентиловым) эфиром. Ведь технологии заполнения маслом высоковольтного оборудования, приемосдаточных испытаний и мониторинга их основных параметров во время эксплуатации уже отработаны, то утверждение о том, что это вещество есть наиболее перспективным с точки зрения «высоких эксплуатационных показателей» нам представляется также сомнительным.

Напротив, перфтортрансформаторное масло, которое относится к коллоидным растворам, при температурах, близких к 20-ти градусам Цельсия, приобретает свойство твердого диэлектрика. А это очень важно в трансформаторостроении с точки зрения электрической прочности, т.е. способности материала противостоять разрушению его электрическим напряжением и электрическими потерями, характеризующимися тангенсом угла потерь, нагревостойкостью, характеризующейся температурой, предельно допустимой для данного диэлектрика при его длительном использовании в электрооборудовании. В дальнейшем, при нагреве активной части трансформатора это масло начинает переходить в жидкое состояние, что приводит к возникновению мощных конвективных потоков. В связи с тем, что на данном этапе работы мы не обладаем данными по теплопроводности и кинематической вязко-

сти, то в сравнительной таблице приведены данные именно для коллоидных растворов [3-6, 9]. Количество теплоты, отдающееся с поверхностей нагретых частей высоковольтного трансформатора, в основном зависит от условий конвективного теплообмена, поэтому большое значение имеет какое количество теплоты, отводимого конвекцией. Из теории теплообмена следует, что протекание сложных процессов определяется не отдельными физическими факторами, а комплексом параметров [7-9].

В диэлектриках с повышением температуры коэффициент теплопроводности увеличивается. Как правило, для материалов с большей плотностью коэффициент теплопроводности имеет более высокое значение. В связи с тем, что плотность перфтортрансформаторного масла в несколько раз больше плотности трансформаторного, то можно сделать вывод, что перфтортрансформаторное масло обладает высокой теплопроводностью, как у твердых диэлектриков.

Исходя из данных, проведенных в табл. 1 можно сделать вывод, что с увеличением теплопроводности и кинематической вязкости, и приближением свойств перфтортрансформаторного масла к свойствам твердого тела, будут заметно улучшаться изоляционные свойства, а также увеличиваться коэффициент теплоотдачи.

Таблица 1 – Физические характеристики изоляционных материалов

| Показатель \ Материал | Трансформаторное масло | Бумага, пропитанная маслом | Коллоидные растворы |
|--|------------------------|----------------------------|---------------------|
| Теплопроводность, λ , Вт/(м·°К) | 0,09-0,14 | 0,21 | 0,71 |
| Кинематическая вязкость, ν , м ² /с | 28-30·10 ⁻⁶ | 33·10 ⁻⁶ | 66·10 ⁻⁶ |

По нашим расчетам коэффициент теплоотдачи в жидкой фазе увеличивается в 8 раз за счет увеличения коэффициента теплопроводности и кинематической вязкости.

Выводы. Повышение энергоэффективности промышленного производства в настоящее время возможно как с внедрением передовых технологий, так и с модернизацией функционирующих систем.

Необходимо отметить, что озоноразрушающий потенциал перфтортрансформаторного масла относительно хлорфторуглеродов равен нулю, а следовательно, он, обладая высокими диэлектрическими свойствами, не может нанести вред окружающей среде. Проведенный анализ показывает, что замена широко распространенных жидких диэлектриков, нефтяных масел и диэлектриков на основе полихлордифенилов (ПХД), на перфтортрансформаторное масло обоснована высокими изоляционными свойствами, экологической безопасностью и открывает широкие перспективы для повышения эксплуатационных характеристик высоковольтного электротехнического оборудования такого, как высоковольтные измерительные трансформаторы.

Поскольку трансформаторы, заполненные новыми жидкостями, в основном имеют конструкцию, близкую к традиционной, и в большинстве случаев

остается требование их герметизированного исполнения. Причина этого - повышенное влагопоглощение, интенсивное выделение паров жидкости, либо другие соображения, то это дополнительный аргумент в пользу применения перфтортрансформаторного масла в качестве жидкого диэлектрика маслонаполненного высоковольтного оборудования [2, 18].

Проведенные исследования по повышению надежности и долговечности различного высоковольтного оборудования энергосистем показывают, что перспективным направлением все же является повышение качества изолирующих материалов, в частности масла. Применение новых технологий позволяет качественно изменять свойства трансформаторного масла, а темпы же развития этих технологий позволяют сделать вывод о том, что стоимость таких усовершенствований со временем будет уменьшаться, а значительное снижение эксплуатационных расходов в дальнейшем сможет многократно окупить вложения в производство.

Список литературы

1. Энергетика світу та України. Цифри та факта. - Київ: Українські енциклопедичні знання. - 2005. - 404 с.
2. Гончар, В.С. Техника высоких напряжений. Изоляция и перенапряжения: учеб. пособие / В.С. Гончар. - СЗТУ. - СПб., 2006. - 228 с
3. Липштейн, Р.А. Трансформаторное масло [Текст] / Р.А. Липштейн, М.И. Шахнович. - М.; Энергоатомиздат. - 1983 г. - 296 с.
4. Жорняк, Л.Б. Проблемы надежности и способы повышения эффективности работы высоковольтных вводов [Текст] / Л.Б. Жорняк // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». - 2005. - № 48. - С. 48 - 51.
5. Жорняк, Л.Б. Повышение надежности и эффективности высоковольтных вводов [Текст] / Л.Б. Жорняк, Е.Ю. Райкова, В.И. Осинская // Вісник КДПУ імені Михайла Остроградського. Вип. 4/2008 (51). Ч. 1. - С. 95-99.
6. Жорняк, Л.Б. Основные направления улучшения качества высоковольтных вводов оборудования энергосистем [Текст] / Л.Б. Жорняк, О.Ю. Райкова, В.И. Осинская, В.М. Снігірьов // Електротехніка та електромеханіка. - 2008. - № 3. - С. 17-21
7. Славинский, А.З. Новые программы и перспективные разработки ЗАО «Мосизолятор» [Текст] / А.З. Славинский // Тезисы докладов XI международной научно-технической конференции «Трансформаторостроение». - 2005.
8. Соколов В.В. Проблемы надежности мощных трансформаторов после длительной эксплуатации [Текст] / Соколов В.В. Тезисы докладов XI международной научно-технической конференции «Трансформаторостроение». - 2005.
9. ГКД 34.20.302-2002. Приймання, застосування та експлуатація трансформаторних масел. Методичні вказівки. НД/Енергетики, Київ - 1998.
10. <http://vvod-kulikov.ru>. ТД «Калуга-энергопоставка»
11. <http://www.marketelectro.ru> - Московский завод «Изолятор» им. А. Баркова
12. <http://www.sermir.narod.ru/tryd/Posob> журнал «Электрофизика»
13. <http://www.abb.ru> - Концерн АBB
14. <http://www.zva.zp.ua/>
15. Николаев, Г.А. Техническое состояние маслонаполненного оборудования тяговых подстанций и система его комплексного диагностирования [Текст] / Г.А. Николаев, А. В. Кузнецов // Вестник ВНИТ. - <http://www.css-rzd.ru/vestnik-vniizht/v2003-4>
16. <http://www.belenergo.by> - НПІ «БелЭнергоСпецОбор»
17. <http://master-oil.com/theory/3/>
18. Бормосов, В.А. Перспективы и состояние разработок распределительных трансформаторов массовых серий [Текст] / В.А. Бормосов, М.Н. Костоусова, А.Ф. Петренко, Н.Е. Смольская // Информационный портал "TRANSFORMаторы"
19. Рахимов, А.И. Электроизолирующие свойства ди(октафторпентилового) эфира [Электронный ресурс] / А.И. Рахимов, В.П. Заярный, Л.В. Хоперскова // Исследования технических наук: электрон. науч. журнал. - 2012. - Вып. 1 (январь-март). - С. 8-11. - Режим доступа: <http://www.researches-of-technical-sciences.ingnpublishing.com>
20. Рахимов, А.И. Новая реакция полифторированных спиртов с

тионилхлоридом [Текст] / А.И. Рахимов, А.В. Мирошниченко // FluorineNotes (Фторные заметки): on-line журнал. [Электронный ресурс]. - 2011. - № 3.

21. Рахимов, А.И. Способ повышения эксплуатационных характеристик высоковольтного электротехнического оборудования [Текст] / А.И. Рахимов, В.П. Зярянный, Л.В. Хоперскова // Известия Волгоградского государственного технического университета. - 2014. - С. 66 - 67.

References (transliterated)

1. Yenergetika svitu ta Ukraïni. Tsifri ta fakta. - Kiïv: Ukraïns'ki yentsiklopedichni znannya - 2005. - 404 s.
2. Gonchar, V. S. Tekhnika vysokikh napryazheniy. Izolyatsiya i perenapryazheniya: ucheb. posobiye. V. S. Gonchar.- SZT. SPb., 2006. 228 s.
3. Lipshteyn, R. A. Transformatornoye maslo [Tekst]. R. A. Lipshteyn, M. I Shakhnovich. - M. ; Energoatomizdat. - 1983 g. - 296 s.
4. Zhornyak, L. B. Problemy nadezhnosti i sposobov povysheniya effektivnosti raboty vysokovol'tnykh vvodov [Tekst]. L. B. Zhornyak. Visnik Natsional'nogo tekhnichnogo universitetu «KHPİ». - 2005. No 48. - S. 48-51.
5. Zhornyak, L. B. Povysheniye nadezhnosti i effektivnosti-zhizni vysokovol'tnykh vvodov [Tekst]. L. B. Zhornyak, Ye. YU. Raykova, V. I. Osinskaya. Visnik KDPU imeni Mikhayla Ostrogradskogo. Vip. 4/2008 (51). CH. 1. - P. 95-99.
6. Zhornyak, L. B. Osnovnyye napravleniya uluchsheniya kachestva vysokovol'tnykh vvodov oborudovaniya ener-gosistem [Tekst]. L. B. Zhornyak, O. YU. Raykova, V. I. Osinska, V. M. Snigiriov. Yelektrotekhnika i yelektromekhanika. - 2008. No 3. - C. 17-21.
7. Slavinskiy, A.Z. Novyye programmy i perspektiv-nyye razrabotki ZAO «Mosizolyator» [Tekst]. A. Z. Slavinskiy. Tezisy dokladov XI mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Transformatorstroyniye». - 2005.
8. Sokolov V. V. Problemy nadezhnosti moshchnykh transformatorov posle dlitel'noy ekspluatatsii [Tekst]. Sokolov V. V. Tezisy dokladov XI mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya «Transformatorstroyniye». - 2005.
9. GKD 34.20.302-2002. Priymannaya, zastosuvannya ta yekspluatatsiya transformatornikh masel. Metodichni vkazivki. ND. Yenergetiki, Kiïv - 1998.
10. <http://vvod-kulikov.ru>. TD «Kaluga-energo-postavka»
11. <http://www.marketelectro.ru> - Moskovskiy zavod «Izolyator» im. A. Barkova
12. [http://www.sermir.narod.ru/tryd/Posob-zhurnal «Elektrofizika»](http://www.sermir.narod.ru/tryd/Posob-zhurnal/Elektrofizika)
13. <http://www.abb.ru> - Kontsern ABB
14. <http://www.zva.zp.ua/>
15. Nikolayev, G. A. Tekhnicheskoye sostoyaniye maslonapol-nennogo oborudovaniya tyagovykh podstantsiy i sistema yego kompleksnogo diagnostirovaniya [Tekst]. G. A. Nikolayev, A. V. Kuznetsov. Vestnik VNIT. <http://www.css-rzd.ru/vestnik-vniizht/v2003-4>
16. <http://www.belenergo.by> - NPP «BelEnergoS-petsObor»
17. <http://master-oil.com/theory/3/>
18. Bormosov V.A. Perspektivy i sostoyaniye razrabotok raspredelitel'nykh transformatorov massovykh seriy [Tekst]. V. A. Bormosov, M. N. Kostousova, A. F. Petrenko, N. Ye. Smolskaya. Informatsionnyy portal "TRANSFORMatory"
19. Rakhimov, A. I. Elektroizoliruyushchiye svoystva di (oktaftorpentilovogo) efira [Elektronnyy resurs]. A. I. Rakhimov, V. P. Zayarnyy, L. V. Khoperskova. Issledovaniya tekhnicheskikh nauk: elektron. nauch. zhurnal. - 2012. - Vyp. 1 (yanvar'-mart). - P. 8-11. - Rezhim dostupa: <http://www.researches-of-technical-sciences.ingnpublishing.com>
20. Rakhimov, A.I. Novaya reaktsiya polifloriro-vannykh spirtov s tionilkhloridom [Tekst]. A. I. Rakhimov, A. V. Miroshnichenko. FluorineNotes (Ftornyye za-metki): on-layn zhurnal. [Elektronnyy resurs]. - 2011. No 3.
21. Rakhimov, A.I. Spособ povysheniya ekspluatatsionnykh kharakteristik vysokovol'tnogo elektrotekhnicheskogo oborudovaniya [Tekst]. A. I. Rakhimov, V. P. Zayarnyy, L. V. Khoperskova. Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. - 2014. - P. 66-67.

Надійшла (received) 07.10.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

До питання про покращення якості внутрішньої ізоляції високовольтних вимірювальних трансформаторів / Л.Б. Жорняк, О.Г. Волкова, М.А. Макогон // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Серія: Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. – X. : НТУ "ХПІ", 2017. – № 34 (1256). – С. 19–25. – Библиогр.: 16 назв. – ISSN 2079-3944.

К вопросу об улучшении качества внутренней изоляции высоковольтных измерительных трансформаторов / Л.Б. Жорняк, О.Г. Волкова, М.А. Макогон // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Серія: Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. – X. : НТУ "ХПІ", 2017. – № 34 (1256). – С. 19–25. – Библиогр.: 16 назв. – ISSN 2079-3944.

To the question of improving the quality of internal insulation of high-voltage measurement transformers / L.B. Zhorniak, O.G. Volkova, M.A. Makohon // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Problems of Electrical Machines and Apparatus Perfection. – Kharkiv : NTU "KhPI", 2017. – No. 34 (1256). – P. 19–25. – Bibliography: 16. – ISSN 2079-3944.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Жорняк Людмила Борисівна – доцент, кафедра електричних та електронних апаратів ЗНТУ, Запоріжжя; e-mail: zporoton@zntu.edu.ua.

Жорняк Людмила Борисовна – доцент, кафедра электрических и электронных аппаратов ЗНТУ, Запорожье; e-mail: zporoton@zntu.edu.ua.

Zhorniak Liudmila – associate professor, Department of Electrical and Electronic Apparatus of ZNTU, Zaporozhye; e-mail: zporoton@zntu.edu.ua.

Волкова Ольга Григорівна – доцент, кафедра теоретичної і загальної електротехніки ЗНТУ, Запорожье; e-mail: volkova@zntu.edu.ua

Волкова Ольга Григорьевна – доцент, кафедра теоретической и общей электротехники ЗНТУ, Запорожье; e-mail: volkova@zntu.edu.ua.

Volkova Olga – Associate Professor, Department of Theoretical and Environmental Engineering of ZNTU, Zaporozhye; e-mail: volkova@zntu.edu.ua

Макогон Михайло Андрійович – студент, кафедра електричних та електронних апаратів ЗНТУ, Запоріжжя.

Макогон Михаил Андреевич – студент, кафедра электрических и электронных аппаратов ЗНТУ, Запорожье.

Makohon Mykhailo – student, Department of Electrical and Electronic Apparatus of ZNTU, Zaporozhye.