УДК 621.316.174

ПОВЫШЕНИЕ ИНФОРМАТИВНОСТИ КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ИЗОЛЯЦИИ СУДОВЫХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Филиппов Евгений Анатольевич

старший механик

Danaos Shipping Co Ltd

Научный руководитель: **Кажекин Илья Евгеньевич**

к.т.н., доцент

ФГБОУ ВО «Калининградский

государственный технический университет»

Аннотация: Приведены основные способы диагностирования судового электрооборудования, применяемые как в судоремонте, так и в эксплуатации. Проведена оценка их пригодности для использования в непрерывном диагностировании под рабочим напряжением. Выявлены возможности для улучшения информативности системы контроля состояния изоляции за счет оценки ее дополнительных параметров.

Ключевые слова: морской транспорт, судовое электрооборудование, изоляция, диагностирование, параметры изоляции.

INCREASING THE INFORMATIVE CONTROL OF THE INSULATION STATE OF SHIP POWER SYSTEMS

Filippov Evgeny

Abstract: The main methods of diagnosing ship electrical equipment, used both in ship repair and operation, are given. An assessment of their applicability for use in continuous diagnostics under operating voltage has been carried out. Opportunities for improving the information content of the insulation state monitoring system by assessing its additional parameters have been identified.

Key words: sea transport, ship electrical equipment, insulation, diagnostics, insulation parameters.

Основные тенденции в развитии современной морской техники во многом определяются тезисами доклада GMTT 2030 «Глобальные тенденции в области морских технологий 2030» [1], которые представляет собой отчет Регистра Lloyd, британской многонациональной оборонной компании QinetiQ и университета Саутгемптона. В нем приводится оценка 56 различных технологий и определяется вектор развития морского судоходства на ближайшие 15 лет. Многие из отмеченных в этом докладе технологий стали реалиями современной морской транспортной индустрии: гибридные силовые установки, автономные суда, «интернет вещей» и пр. Информационные сети стали неотъемлемой частью электроэнергетической установки. Современный судовладелец желает получать информацию о состоянии судна в режиме онлайн на основе современных технологий. В конечном счете это сводится к реализации концепции «безэкипажного судна».

О необходимости концептуально новых подходов к проектированию, строительству и эксплуатации судов, учитывающих мировые тенденции, говорит и «Стратегия развития судостроительной промышленности на период до 2035 года» [2]. В условиях постоянно растущих показателей электроэнерговооруженности судов это накладывает на проектантов обязанности по обеспечению другого, более высокого уровня безопасности, надежности и качества энергии судовых электрических сетей.

Во многом надежность и безопасность судового электрооборудования обеспечивается наличием и качеством контроля состояния изоляции. Электрическая изоляция токоведущих частей является одним из наиболее важных элементов судового электрооборудования, ограничивающих его работоспособность. В качестве параметра технического состояния изоляции обычно используют активную составляющую её сопротивления токам утечки – как наиболее легко поддающуюся измерениям и контролю [3, с. 5].

Однако контроль лишь активного сопротивления изоляции не столь информативен, и не позволяет дать оценочную характеристику ее состоянию и работоспособности элементов судовой электроэнергетической системы. Поэтому встает вопрос о поиске дополнительных диагностических методов оценки исправности электрической изоляции, которые позволят не только оценивать текущее состояние элементов судового электрооборудования, но также выявлять сложные аварийные (неполное или неустойчивое замыкание фазы на корпус) и предаварийные режимы и даже локализовать место дефекта. Раннее обнаружение дефектов изоляции позволит исключить

аварийные ситуаций во время эксплуатации, устранить неисправности во время технического обслуживания, повысить срок службы и безопасность всей электроэнергетической системы.

К наиболее распространенным методам диагностики изоляции, которые применяются для судового электрооборудования относятся:

- измерение характеристик частичных разрядов;
- измерение тангенса диэлектрических потерь $\text{tg}\delta$;
- измерения коэффициента абсорбции;
- измерение индекса поляризации.

Под частичным разрядом (ЧР) подразумевают искровой разряд сверхмалой мощности, происходящий в изоляции электрооборудования. Появление таких разрядов, как правило, обусловлено наличием газовых или токопроводящих включений. Само наличие ЧР ещё не говорит о пробое изоляции, но появление его - это начальная стадия развития большинства дефектов в высоковольтной изоляции. Появление ЧР сопровождается следующими физическими явлениями: протеканием импульсного тока в искусственно создаваемых цепях, где имеются объекты с ЧР; электромагнитным излучением в окружающее пространство; ударными волнами; разложением диэлектрика на молекулярные группы в зоне действия ЧР; световым излучением в окружающее пространство; нагревом локальных объемов изоляции с ЧР [4, с. 8]. На основе этих явлений было разработано множество методов обнаружения ЧР, но наиболее распространен электрический метод. Главным недостатком такой оценки состояния является то, что ЧР характерны для систем, работающих под напряжением от 3 кВ и выше, а, следовательно, для низковольтной изоляции этот подход не применим.

При прикладывании к диэлектрику переменного напряжения любой величины, в нем начинает течь ток, при этом возникают диэлектрические потери. Они представляют собой электрическую мощность, рассеиваемую диэлектриком в виде тепла. Параметр $\text{tg}\delta$ является важной характеристикой состояния изоляции, так как определяет температурный режим работы изоляции, а это влияет на скорость термического старения изоляции. Поэтому величина $\text{tg}\delta$ в значительной степени зависит от состояния изоляции. Проблема оценки изоляции низковольтных систем по $\text{tg}\delta$ заключается в отсутствии нормативов о предельно допустимых значениях этого параметра.

Однако в ряде работ предлагается контролировать изменения тангенса угла диэлектрических потерь и емкости изоляции. При наличии местного дефекта на начальной стадии развития, величина $\operatorname{tg}\delta$ изменится незначительно, а при наличии изменения $\operatorname{tg}\delta$ зависит от приложенного напряжения. Именно по характеристикам изменения этой величины можно судить о состоянии кабеля и вынести первую оценку состояния изоляции [5].

Другим методом оценки состояния изоляции является вычисление коэффициента абсорбции $K_{\text{абс}}$, который представляет собой отношение сопротивления изоляции, зафиксированных мегаомметром через 60 с и через 15 с. Этот параметр позволяет определить уровень влажности и загрязненности изоляционного материала. Суть измерения в том, что электрическая изоляция характеризуется ёмкостью, и напряжение мегомметра, приложенное к изоляции, заряжает постепенно ее емкость. Для проникновения тока в изоляцию требуется время, и это время чем больше, тем лучше состояние изоляции. Применение $K_{\text{абс}}$ для оценки состояния изоляции в судовых условиях ограничивается относительно малыми длинами судовых кабелей и длительность переходного процесса в сотые доли секунды. Кроме того, оценка этого показателя без снятия рабочего напряжения весьма затруднительна.

В зарубежной практике широко используется оценка такого показателя состояния изоляции как индекс поляризации. Он отражает подвижность заряженных частиц внутри диэлектрика под действием электрического поля. Согласно этому методу считается, что чем лучше состояние изоляции, тем меньше внутри нее, как в диэлектрике, движутся заряженные частицы. Для определения индекса поляризации требуется произведение двух замеров активного сопротивления изоляции: на первой минуте и на десятой. Полученные значения сравнивают, а их отношение и называют индексом поляризации. В общем случае, значения отношения не ниже двух соответствует удовлетворительному состоянию изоляции, четыре и выше – отличному. К недостаткам этого метода следует отнести длительность проведения измерений, а также трудности оценки состояния изоляции без снятия рабочего напряжения.

Таким образом, можно сделать вывод, что среди известных методов, которые используются для дополнительной оценки состояния изоляции, основная часть не может быть применена в низковольтных судовых электросетях без снятия рабочего напряжения. Исключением является

измерение тангенса диэлектрических потерь, позволяющее идентифицировать некоторые виды пробоя изоляции, находящиеся на начальной стадии формирования.

Список литературы

1. Global Marine Technology Trends 2030. URL: https://globalmaritimehub.com/wp-content/uploads/attach_696.pdf/ (дата обращения: 04.08.2021)
2. Стратегия развития судостроительной промышленности на период до 2035 года. Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации 28 октября 2019 года № 2553-р. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/72831068/> (дата обращения: 04.08.2021)
3. Иванов Е. А. Методы контроля изоляции судовых электроэнергетических систем / Е.А. Иванов, С.Е. Кузнецов. - СПб.: «Элмор», 1999. – 80 с.
4. Вдовико В. П. Частичные разряды в диагностировании высоковольтного оборудования. — М.: Наука, 2007. — 156 с.
5. Власов А. Б. Оценка состояния судового кабеля посредством измерения характеристик его изоляции/ А.Б. Власов, С.А. Був //Вестник МГТУ.– 2020. –Т. 23, № 4. –С. 335–344.

© Е.А. Филиппов, 2021