

Торайғыров университетінің хабаршысы
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайғыров университета

Торайғыров университетінің ХАБАРШЫСЫ

Энергетикалық сериясы
1997 жылдан бастап шығады



ВЕСТНИК Торайғыров университета

Энергетическая серия
Издается с 1997 года

ISSN 2710-3420

№2 (2026)

ПАВЛОДАР

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайгыров университета

Энергетическая серия
выходит 4 раза в год

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания

№ 14310-Ж

выдано

Министерство информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность

публикация материалов в области электроэнергетики,
электротехнологии, автоматизации, автоматизированных и
информационных систем, электромеханики и теплоэнергетики

Подписной индекс – 76136

<https://doi.org/10.48081/BGQF2124>

Бас редакторы – главный редактор

Талипов О. М.

доктор PhD, ассоц. профессор (доцент)

Заместитель главного редактора

Калтаев А.Г., *доктор PhD*

Ответственный секретарь

Сағындық Ә.Б., *доктор PhD*

Редакция алқасы – Редакционная коллегия

Клецель М. Я.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Никифоров А. С.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Новожилов А. Н.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Алиферов А. И.,	<i>д.т.н., профессор (Российская Федерация)</i>
Кошеков К. Т.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Приходько Е. В.,	<i>к.т.н., профессор</i>
Кислов А. П.,	<i>к.т.н., доцент</i>
Нефтисов А. В.,	<i>доктор PhD</i>
Шеръязов С. К.	<i>т.ғ.д., профессор (Российская Федерация)</i>
Искакова З. С.	<i>технический редактор</i>

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели

Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов

При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник Торайгыров университета» обязательна

© Торайгыров университет

<https://doi.org/10.48081/BGQF2146>

**А. Н. Новожилов¹, Т. А. Новожилов²,
*Ж. С. Исенов³, О. М. Талипов⁴**

^{1,3,4}Торайғыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар;

²Омский Государственный Технический Университет,
Российская Федерация, г. Омск.

¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7530-5034>

²ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0293-7852>

³ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2388-602X>

⁴ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8355-1769>

*e-mail: issenov.zh@gmail.com

МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ ЧАСТИЧНЫХ РАЗРЯДОВ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИНАХ

В процессе эксплуатации электрических машин в изоляции обмотки статора под воздействием старения или повреждений возникают частичные разряды (ЧР). Появление ЧР сопровождается импульсным током в электрических цепях, электромагнитным излучением, локальным нагревом и химическим разложением изоляции, а также оптическим излучением и ударными волнами.

В настоящее время для обнаружения частичных разрядов применяются электрический, электромагнитный, акустический, химический, оптический и термический методы диагностики. Каждый из этих методов обладает определёнными преимуществами и недостатками, которые существенно влияют на их диагностические возможности и область практического применения. Для объективной оценки эффективности данных методов необходим их глубокий сравнительный анализ.

В связи с этим в статье показано, что основным достоинством электрического метода является то, что он позволяет получить комплекс характеристик ЧР с определением их количественных значений. Основным достоинством электромагнитного метода является возможность осуществлять диагностику электрических машин дистанционно. Анализ возможностей акустического, химического, оптического и термического методов показал, что

одни из них из-за трудности применения в электрических машинах в рабочем режиме и погрешности измерений ЧР в массовое применение не приняты. Другие методы для исследования электрических машин не имеют конкретных параметров использования.

Ключевые слова: электрические машины, изоляция обмоток статора, частичные разряды, методы диагностики, поверхностные разряды.

Введение

В статье рассматриваются методы обнаружения частичных разрядов (ЧР), возникающих в изоляции обмоток статора электрических машин в процессе эксплуатации. Показано, что старение и повреждение изоляции сопровождаются импульсными токами, электромагнитным, акустическим, световым и тепловым излучением, а также химическими изменениями диэлектрика. На основе анализа литературных источников приведена классификация основных методов диагностики ЧР: электрического, электромагнитного (СВЧ), акустического, химического, оптического и термического.

Подробно рассмотрены электрический и электромагнитный методы, как наиболее применимые для диагностики электрических машин. Описаны принципы их работы, типовые схемы измерений, применяемые датчики и измерительные устройства. Показаны особенности использования конденсаторов связи, высокочастотных трансформаторов тока и электромагнитных антенн при диагностике машин различной мощности. Проанализированы достоинства и ограничения каждого метода, а также их чувствительность к внешним помехам. Сделан вывод о целесообразности применения электрического и электромагнитного методов для практической диагностики состояния изоляции обмоток статора электрических машин. [1].

Материалы и методы

Как показано в [1], в процессе эксплуатации электрических машин под воздействием старения или повреждений изоляции обмотки статора возникают частичные разряды (ЧР). Их появление сопровождается возникновением импульсного тока в электрических цепях, электромагнитным излучением, локальным нагревом и химическим разложением изоляции, а также оптическим излучением и ударными волнами.

В настоящее время для обнаружения частичных разрядов используются следующие методы диагностики [2]:

- электрический;
- электромагнитный (дистанционный, СВЧ-метод);
- акустический;

- химический;
- оптический (оптоэлектронный);
- термический.

Каждый из указанных методов имеет свои преимущества и недостатки, которые определяют его диагностические возможности и область практического применения. Для объективной оценки их эффективности требуется проведение глубокого сравнительного анализа.

Электрический метод обнаружения частичных разрядов (ЧР) в электрических машинах основан на регистрации импульсов тока, возникающих в изоляции обмотки статора.

В простейшем случае измерительный датчик подключается к электрической цепи машины. При появлении частичных разрядов в изоляции генерируются импульсы тока, отличающиеся от фоновых значений. Эти импульсы выделяются с помощью специального детектора и регистрируются индикаторным устройством.

Для выявления частичных разрядов (ЧР) электрическим методом в рабочем режиме электрической машины [3] применяются конденсаторы связи ёмкостью от 80 до 5000 пикофард. Данные конденсаторы подключаются непосредственно к выводам обмотки статора и должны быть рассчитаны на длительную работу под полным номинальным рабочим напряжением машины. Кроме этого они должны выдерживать испытательное напряжение при его подаче на выведенную из работы для проведения диагностики электрическую машину.

Для непрерывного мониторинга уровня частичных разрядов (ЧР) датчики могут устанавливаться непосредственно внутри корпуса статора электрической машины. Такое размещение позволяет проводить оперативную диагностику состояния изоляции обмоток в режиме реального времени, без остановки оборудования. Наиболее распространённым типом датчиков в подобных системах являются конденсаторы связи с эпоксидно-слюдяной изоляцией. Они обеспечивают эффективную регистрацию импульсов частичных разрядов в частотном диапазоне от 1 до 80 МГц.

Для большинства электрических машин мощностью до 5–10 МВт, имеющих относительно небольшие геометрические размеры статора, считается достаточным применение трёх конденсаторов связи для эффективного измерения частичных разрядов (ЧР). Дополнительно рекомендуется использовать высокочастотный трансформатор тока (RFCT), устанавливаемый в цепи заземления экрана питающего кабеля. Типовая схема такого подключения системы для диагностики ЧР приведена на рисунке 1, а, где C_A , C_B и C_C – конденсаторы связи. При этом высокочастотный

трансформатор тока RFCT или токоизмерительные клещи надевают на косичку заземления.

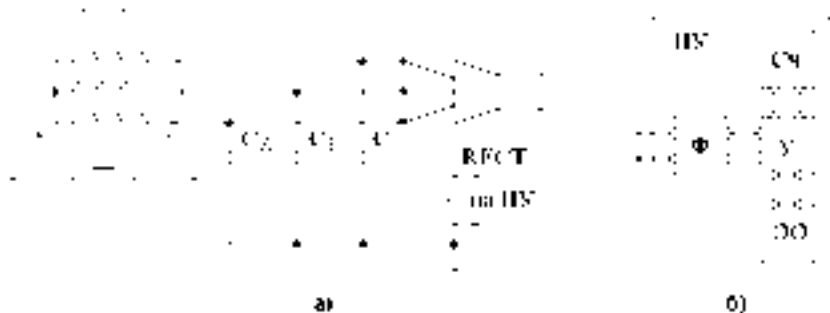


Рисунок 1 – Схема подключения конденсаторов связи высокочастотного трансформатора тока RFCT

Поскольку конденсаторы связи монтируются внутри корпуса статора и подключаются напрямую к входным выводам обмотки, чувствительность системы измерения частичных разрядов (ЧР) в значительной степени зависит от расстояния между дефектным участком изоляции и точкой подключения датчика. Чем ближе расположена зона повреждения к входным зажимам обмотки статора, тем выше чувствительность регистрации частичных разрядов.

В случае диагностики электрических машин большой мощности, обладающих значительными геометрическими размерами статора, рекомендуется предусматривать дополнительные датчики. Они позволяют осуществлять контроль частичных разрядов в удалённых секциях и частях обмотки статора, которые могут быть недостаточно охвачены основными датчиками.

Измерительное устройство ИУ выполняется в виде отдельного блока, который со схемой измерения соединяется высокочастотным кабелем. В настоящее время известно большое количество видов ИУ. В качестве примера на рисунке 1, б приводится достаточно простая схема ИУ, где Ф – фильтр; У – усилитель; ЭО – электронный осциллограф; Сч – счетчик импульсов от ЧР.

Для выявления ЧР электрическим методом в отключенной от сети электрической машине [1] используются довольно большое количество электрических схем. Одна из них приведена на рисунке 2. Эта схема при измерении ЧР способна обеспечить очень высокую чувствительность вплоть до величины минимального регистрируемого заряда равного $10^{-14} \div 10^{-15}$ Кл.

Эта схема содержит ИТ - источник регулируемого высокого напряжения в виде испытательного трансформатора ИТ; C_x – емкость обмотки статора;

C_0 – соединительный конденсатор, служащий для замыкания импульсов тока ЧР; z_ϕ – фильтра для подавления внешних помех; z – измерительный элемент; C_{BX} – емкость определяющая параметры ИУ; ИУ – измерительное устройство.

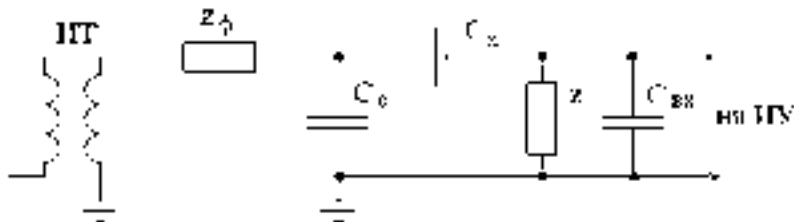


Рисунок 2 – Схема установки для измерения характеристик ЧР

В данной установке для измерения характеристик ЧР качестве источника напряжения ИТ и соединительного конденсатора C_0 используются такие устройства, в которых при любых условия эксплуатации не могут возникнуть ЧР. Измерительный элемент z может выполняться в виде активного сопротивления или катушки индуктивности. Система токоведущих частей установки должна выполняться так, чтобы исключить возникновение в ней ЧР. Такая схема установки обычно применяется тогда, когда схема обмотки статора разобрана и в ней отсутствует заземление.

Основным достоинством электрического метода является то, что он при диагностике не требует гальванического контакта измерительных приборов с объектом диагностики. Кроме того, этот метод позволяет получить комплекс характеристик позволяющих всесторонне оценить свойства ЧР с определением их количественных значений. Что делает электрический метод весьма привлекательным и доступным.

Основным недостатком следует считать его сильную чувствительность к целому ряду помех. Чтобы снизить эту чувствительность требуется использование комплекса мер и специального оборудования. Вместе с тем, некоторые разновидности электрического метода диагностики требуют приложения к объекту испытательного напряжения, значительно превышающего его номинальное рабочее значение. Такие повышенные напряжения не являются щадящими для изоляции и могут вызывать её дополнительное старение или повреждение.

В процессе реализации электрического метода диагностики, как правило, регистрируются следующие ключевые параметры частичных разрядов:

- значение кажущегося заряда ЧР;
- частота следования импульсов;
- средний ток ЧР;
- фазовый угол появления разрядных импульсов.

Иногда при необходимости могут измеряться дополнительно некоторые другие параметры.

Электромагнитный метод. Электромагнитный метод обнаружения ЧР является дистанционным. То есть не требует гальванического контакта с обмоткой статора. Иногда его называют СВЧ – метод. По нему обнаружение ЧР осуществляется с помощью одной или нескольких антенн. Однако эффективность выявления ЧР по этому методу во многом зависит от места установки этих антенн. Места в которых чаще всего устанавливаются такие антенны показаны на рисунке 3, где 1 и 2 – электромагнитные датчики устанавливаемые в пазах статора и в зоне лобовых частей; 3 – электромагнитный датчик располагаемый в зоне подключения питающего кабеля.

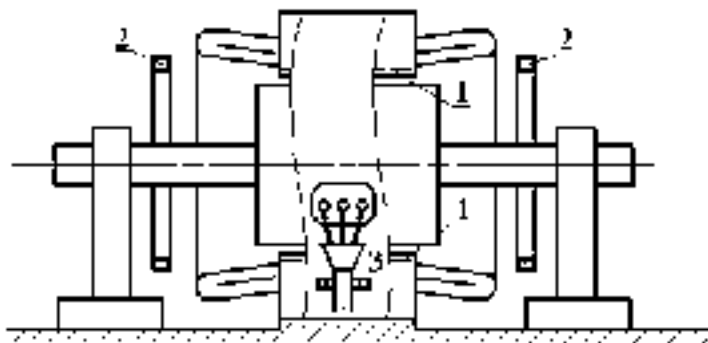


Рисунок 3 – Схема установки электромагнитных датчиков в электрической машине.

Электромагнитные антенны для регистрации частичных разрядов (ЧР) обычно устанавливаются под пазовые клинья статора. Такой монтаж может выполняться как в процессе изготовления электрической машины на заводе-изготовителе, так и во время её капитального ремонта.

В некоторых случаях функцию электромагнитных антенн могут выполнять встроенные датчики температуры обмотки статора, которые размещаются в пазу между секциями обмотки ещё на стадии производства машины [3].

Датчики ЧР совмещённые с датчиками температуры расположенные в пазах статора показано на рисунке 4, а. Для согласования цепей датчиков измерения температуры и измерения ЧР в электрической машине при регистрации частичных разрядов в обмотке статора устанавливают датчик марки DRTD-3. Он представляет собой высокочастотный трансформатор тока. Его сопротивление постоянному току практически равно нулю и не влияет на работу температурной защиты. При этом из комплексного сигнала в цепях этой защиты он выделяет только импульсы высокочастотных ЧР. Конструкция DRTD-3 приведена на рисунке 4, б.

С увеличением мощности электрической машины возрастают габариты обмотки статора. В результате импульсы частичных разрядов (ЧР), распространяясь по виткам и секциям обмотки, подвергаются значительному затуханию в пазовой зоне. Поэтому при использовании датчиков температуры обмотки зачастую не удаётся надёжно зарегистрировать дефекты изоляции, расположенные в глубине обмотки статора.

В связи с этим, при отсутствии в электрической машине встроенных датчиков ЧР или недостаточной чувствительности датчиков температуры, применяются дополнительные средства диагностики. Для регистрации глубинных импульсов частичных разрядов в таких случаях, как правило, используются электромагнитные антенны различных типов. Обычно они представляют металлическую фольгу или плоские катушки, наклеиваемые на пазовый клин. Эту операцию легко осуществить во время разборки электрической машины с выемкой ротора.

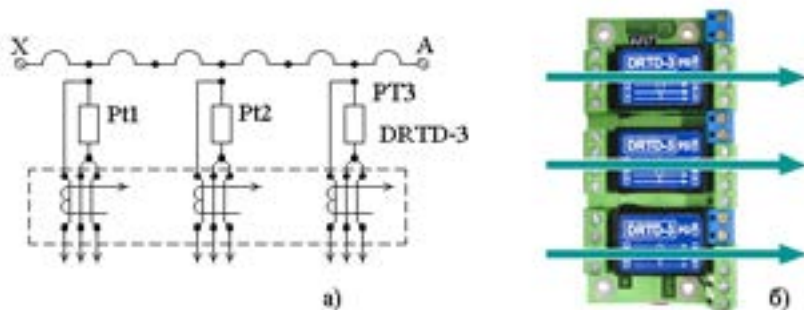


Рисунок 4 – Датчики ЧР совмещённые с датчиками температуры расположенные в пазах статора

Регистрация частичных разрядов в электрических машинах может осуществляться с широкодиапазонных кольцевых электромагнитных антенн

[3]. Такие антенны представляют собой разомкнутые кольцевые проводники, которые устанавливаются в зоне лобовых частей обмотки статора, как показано на рисунке 3. Работая в сверхвысокочастотном (СВЧ) диапазоне, кольцевые антенны обладают меньшей стоимостью и более высокой эффективностью по сравнению с конденсаторами связи.

При диагностике электрической машины они подключаются к защитным и согласующим устройствам. Основным преимуществом кольцевых антенн является простота конструкции и возможность оперативного монтажа как при изготовлении машины, так и в процессе её эксплуатации или ремонта.

Такие электромагнитные датчики частичных разрядов (ЧР) обладают практически одинаковой чувствительностью ко всем дефектам изоляции обмотки статора, независимо от места их возникновения относительно входных зажимов. Некоторые изменения чувствительности наблюдаются только при локализации ЧР в лобовых частях обмотки или в средней зоне пазов. Однако это различие, как правило, не превышает 20 % [3].

Для эффективного подавления внешних электромагнитных помех в зоне подключения питающего кабеля к электрической машине дополнительно устанавливают третью магнитную антенну. На рисунке она обозначена цифрой три.

Основным несомненным достоинством электромагнитного метода является возможность использования его с электрическими машинами любого класса напряжения и проведения анализа дистанционно.

К недостаткам электромагнитного метода следует отнести его чувствительность к помехам в виде внешних электромагнитных полей других электроустановок и измерительных приборов.

Акустический метод. Акустический метод основан на регистрации датчиками акустических волн, генерируемых при возникновении ЧР в высоковольтном оборудовании [4]. Чаще всего для реализации акустического метода используются пьезо-электрические и МЭМС ультразвуковые датчики. Выбор рабочей частоты этих датчиков обусловлен особенностями затухания звуковых волн, производственными шумами, включая электромагнитные помехи окружающего высоковольтного оборудования [5].

Для регистрации акустических сигналов ЧР обычно используются приемники, в качестве звукового датчика в которых используются датчики типа основе МЭМС [6] и пьезоэлектрических [7] датчиков ультразвука. Датчик МА40S4R представляют собой составное колеблющееся тело, объединяющее осциллятор, соединяющий металлическую пластину и пьезо- керамику с резонатором. Этот резонатор преобразует механические колебания в электрический сигнал и наоборот.

В качестве примера на рисунке 5 показана схема приемника с использованием пьезоэлектрического преобразователя. В этом приемнике акустические сигналы воспринимаются пьезоэлектрическим датчиком типа МА40S4R. Схема приемника состоит из усилителя сигнала ЧР, фильтра высокой частоты, детектора и компаратора выполненных на основе операционных усилителей U1 –U3 и диодов VD1,VD2.

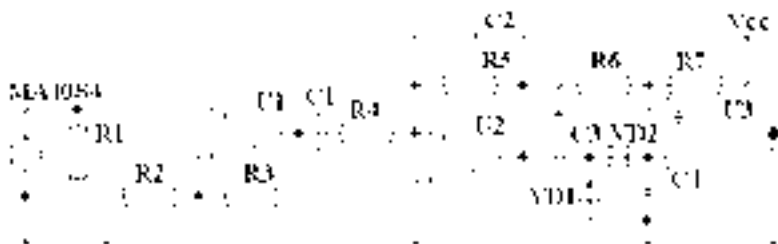


Рисунок 5 – Схема приемника с использованием пьезоэлектрического преобразователя

Данный метод является дистанционным. Это позволяет располагать датчики приемника в устройствах открытой конструкции, например, на ячейках комплектного распределительного устройства, шинопроводах и поверхностях электрических машин.

Результаты и обсуждение

Недостатком метода является недостаточная чувствительность при регистрации ЧР в электрических машинах. Это вызвано тем [8], что электрическая изоляция этих машин является многослойной конструкцией на основе изоляционной бумаги. Такая среда вызывает интенсивное затухание звуковых колебаний от ЧР. К тому же и сама электрическая машина во время работы является источником ультразвуковых колебаний. При этом довольно часто их уровень может оказаться значительно больше ультразвуковых колебаний от ЧР. Поэтому ЧР в электрических машинах акустическим методом достаточно надёжно зарегистрировать нельзя.

Химический метод заключается в хроматографическом анализе жидкого диэлектрика – масла [9]. В связи с этим химический метод выявления ЧР в электрических машинах не пригоден.

Оптический и термический методы [10, 11] из-за сложности использования в электрических машинах реальных условиях и низкой точности широкого распространения не получили и поэтому не рассматриваются.

Выводы

1. В электроэнергетике для диагностирования ЧР, возникающих при повреждении изоляции, могут использоваться электрический, электромагнитный, акустический, химический, оптический и термический методы.

2. Как показал анализ достоинств и недостатков этих методов, для диагностики изоляции обмотки статора в наибольшей степени подходят электрический и электромагнитный методы.

3. Основной причиной приводящей к снижению чувствительности при использовании электрического метода являются ЧР возникающие в питающем кабеле. Что приводит к необходимости отстройки от них путем увеличения количества измерительных датчиков и значительного усложнения измерительной аппаратуры. В результате этот метод используют в основном для диагностики выведенной в ремонт электрической машины.

4. Наиболее пригодным к диагностике изоляции обмотки статора в рабочем режиме электрической машины является дистанционный электромагнитный метод.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Кучинский, Г. С.** Частичные разряды в высоковольтных конструкциях. Л. : Энергия, 1979. 224 с.

2 **Вдовико, В. П.** Оперативная диагностика электрической изоляции высоковольтного оборудования под рабочим напряжением. Сибирский НИИ энергетики, Новосибирск, 1995.

3 DIMRUS (г.Пермь). Системы мониторинга технического состояния изоляции обмоток генераторов и высоковольтных электродвигателей по частичным разрядам (Системы MDR, MDR-3/UHF, PGU-DM). // [Электронный ресурс]. – <https://dimrus.ru>

4 **Иванов, Д. А., Галиева, Т. Г., Голенищев-Кутузов, А. В., Садыков, М. Ф., Калимуллин, Р. И., Семенников, А. В.** Детектирование акустических сигналов частичных разрядов на дефектах изоляционного оборудования // Омский научный вестник. 2021. № 6 (180). С. 48–55. <https://doi.org/10.25206/1813-8225-2021-1180-48-55>.

5 ГОСТ 31295.2-2005 (ИСО 9613-2:1996). Шум. Затухание звука при распространении на местности. Введ. 2007–01–01. М. : Стандартинформ, 2006. 15 с.

6 Ультразвуковой датчик SPU0410LR5HQB. Техническое описание. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.knowles.com/docs/default-source/>

model-downloads/spu0410lr5h-qb-revh32421a731dff6ddb37cff0000940c19.pdf?Status=Master&sfvrsn=cebd77b1%20_4

7 Ультразвуковой датчик Murata MA40S4S/MA40S4R. Техническое описание. [Электронный ресурс]. – URL: https://www.murata.com/-/media/webrenewal/products/sensor/ultrasonic/open/datasheet_maopn.ashx.

8 **Свистунов, Н. А.** Анализ методов диагностики технического состояния электротехнических устройств, основанных на обнаружении и измерении уровня частичных разрядов // Известия ТулГУ, Теоретические науки. 2018, Вып 12, С. 100–102.

9 **Кочура, М. Б.** Диагностика технического состояния мощных силовых трансформаторов: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук. – Минск, 1996. – 3 с.

10 **Орлюк, А. С., Козлов, А. Н.** Частичные разряды: обобщенные методы диагностики и нормативные документы // Вестник АмГУ, Выпуск 81, 2018, С. 87–89.

11 Partial Discharges in Hydroelectric Generators Book Subtitle: Detection, Processing, Classification, and Pinpointing Authors: Victor Dmitriev, Rodrigo M. S. Oliveira, Ronaldo F. Zampolo, Paulo R. Moutinho de Vilhena, Fernando de Souza Brasil, Martim Felipe Fernandes Series Title: Power Systems. – <https://doi.org/10.1007/978-3-031-36604-8> Publisher : Springer ChameBook.

REFERENCES

1 **Kuchinskij, G. S.** Chastichnye razryady v vysokovol'tnyh konstrukciyah [Partial discharges in high-voltage structures]. – L.: Energy, 1979. – 224 p.

2 **Vdoviko, V. P.** Operativnaya diagnostika elektricheskoy izolyacii vysokovol'tnogo oborudovaniya pod rabochim napryazheniem [Electrical Insulation of High-Voltage Equipment under Operating Voltage]. – Siberian Research Institute of Energy, Novosibirsk, 1995.

3 DIMRUS (g.Perm'). Sistemy monitoringa tekhnicheskogo sostoyaniya izolyacii obmotok generatorov i vysokovol'tnyh elektrodvigatelej po chastichnym razryadam (Sistemy MDR, MDR-3/UHF, PGU-DM) [Systems for Monitoring the Technical Condition of Generator and High-Voltage Electric Motor Winding Insulation Based on Partial Discharges]. [Electronic resource]. – <https://dimrus.ru>

4 **Ivanov, D. A., Galieva, T. G., Golenishchev-Kutuzov, A. V., Sadykov, M. F., Kalimullin, R. I., Semennikov, A. V.** Detektirovanie akusticheskikh signalov chastichnyh razryadov na defektah izolyacionnogo oborudovaniya [Detection of acoustic signals of partial discharges on defects in insulating equipment]// Introd. 2007–01–01. Moscow: Standartinform, 2006. – 15 p.

5 GOST 31295.2–2005 (ISO 9613–2:1996). SHum. Zatuhanie zvuka pri rasprostranenii na mestnosti. [Noise. Sound attenuation during propagation over terrain] Vved. 2007–01–01. Moskva: Standartinform, 2006. 15 s.

6 Ul'trazvukovoj datchik SPU0410LR5HQB. Tekhnicheskoe opisanie [Ultrasonic sensor SPU0410LR5HQB. Technical description] URL: https://www.knowles.com/docs/default-source/model-downloads/spu0410lr5h-qb-revh32421a731dff6ddbb37cff0000940c19.pdf?Status=Master&sfvrsn=cebd77b1%20_4

7 Ul'trazvukovoj datchik Murata MA40S4S/MA40S4R Ultrasonic Sensor. [Technical description. URL: https://www.murata.com/-/media/webrenewal/products/sensor/ultrasonic/open/datasheet_maopn.ashx] [Electronic resource]. – URL: https://www.murata.com/-/media/webrenewal/products/sensor/ultrasonic/open/datasheet_maopn.ashx

8 **Svistunov, N. A.** Analiz metodov diagnostiki texnicheskogo sostoyaniya e'lektrotexnicheskix ustrojstv, osnovanny'x na obnaruzhenii i izmerenii urovnya chastichny'x razryadov [Analysis of diagnostic methods for the technical condition of electrical devices based on the detection and measurement of partial discharge levels] // Tula State University News, Theoretical Sciences. 2018, Issue 12, pp. 100–102.

9 **Kochura, M. B.** Diagnostika texnicheskogo sostoyaniya moshhny'x silovy'x transformatorov [Diagnostics of the technical condition of high-power power transformers] Abstract of a PhD thesis in Engineering. – Minsk, 1996. – 3 p.

10 **Orlyuk, A. S., Kozlov, A. N.** Chastichny'e razryady': obobshhenny'e metody diagnostiki i normativny'e dokumenty' [Partial discharges: general diagnostic methods and regulatory documents] / Bulletin of AmSU, Issue 81, 2018, pp. 87–89.

11 Partial Discharges in Hydroelectric Generators Book Subtitle : Detection, Processing, Classification, and Pinpointing Authors: Victor Dmitriev, Rodrigo M. S. Oliveira, Ronaldo F. Zampolo, Paulo R. Moutinho de Vilhena, Fernando de Souza Brasil, Martim Felipe Fernandes Series Title : Power Systems, <https://doi.org/10.1007/978-3-031-36604-8> Publisher : Springer ChameBook.

Поступило в редакцию 15.04.26.

Поступило с исправлениями 01.06.26.

Принято в печать 04.06.26.

А. Н. Новожиллов¹, Т. А. Новожиллов²,

**Ж. С. Исенов³, О. М. Талипов⁴*

^{1,3,4}Торайғыров атындағы университет,

Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.;

²Омбы мемлекеттік техникалық университеті,

Ресей Федерациясы, Омбы қ.

15.04.26 ж. баспаға түсті.

01.06.26 ж. түзетулерімен түсті.

04.06.26 ж. басып шығаруға қабылданды.

ЭЛЕКТР МАШИНАЛАРЫНДАҒЫ ЖАРТЫЛАЙ РАЗРЯДТАРДЫ ДИАГНОСТИКАЛАУ ӘДІСТЕРІ

Электр машиналарын пайдалану процесінде ескіру немесе зақымдану әсерінен статор орамасын оқшаулауда ішінара разрядтар (ТЖ) пайда болады. ТЖ пайда болуы электр тізбектеріндегі импульстік токпен, электромагниттік сәулеленумен, оқшаулаудың жергілікті қыздырылуымен және химиялық ыдырауымен, сондай-ақ оптикалық сәулеленумен және соққы толқындарымен қоса жүреді.

Қазіргі уақытта ішінара разрядтарды анықтау үшін электрлік, электромагниттік, акустикалық, химиялық, оптикалық және термикалық диагностика әдістері қолданылады. Бұл әдістердің әрқайсысы олардың диагностикалық мүмкіндіктеріне және практикалық қолданылу саласына айтарлықтай әсер ететін белгілі бір артықшылықтар мен кемшіліктерге ие. Осы әдістердің тиімділігін объективті бағалау үшін оларды терең салыстырмалы талдау қажет.

Осыған байланысты мақалада электрлік әдістің басты артықшылығы оның сандық мәндерін анықтай отырып, CR сипаттамаларының кешенін алуға мүмкіндік беретіндігі көрсетілген. Электромагниттік әдістің басты артықшылығы-Электр машиналарын қашықтықтан диагностикалау мүмкіндігі. Акустикалық, химиялық, оптикалық және термиялық әдістердің мүмкіндіктерін талдау олардың кейбіреулері электр машиналарында жұмыс режимінде қолданудың қиындығына және ТЖ өлшеу қателіктеріне байланысты жаппай қолдануға қабылданбағанын көрсетті. Электр машиналарын зерттеудің басқа әдістерінде нақты пайдалану параметрлері жоқ.

Кілтті сөздер: электр машиналары, статор орамаларын оқшаулау, ішінара разрядтар, диагностикалық әдістер, беттік разрядтар.

A. N. Novozhilov¹, T. A. Novozhilov²,

*Zh. S. Issenov³, O. M. Talipov⁴

^{1,3,4}Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar;

²Omsk State Technical University, Russian Federation, Omsk.

Received 15.04.26.

Received in revised form 01.06.26.

Accepted for publication 04.06.26.

METHODS FOR DIAGNOSING PARTIAL DISCHARGES IN ELECTRIC MACHINES

During the operation of electrical machines, partial discharges (PR) occur in the insulation of the stator winding under the influence of aging or damage. The appearance of PR is accompanied by pulsed current in electrical circuits, electromagnetic radiation, local heating and chemical decomposition of insulation, as well as optical radiation and shock waves.

Currently, electrical, electromagnetic, acoustic, chemical, optical and thermal diagnostic methods are used to detect partial discharges. Each of these methods has certain advantages and disadvantages that significantly affect their diagnostic capabilities and scope of practical application. For an objective assessment of the effectiveness of these methods, their in-depth comparative analysis is necessary.

In this regard, the article shows that the main advantage of the electrical method is that it allows for the determination of a set of characteristics of the electric machine and their quantitative values. The main advantage of the electromagnetic method is the ability to diagnose electric machines remotely. An analysis of the capabilities of the acoustic, chemical, optical, and thermal methods has shown that some of them have not been widely adopted due to the difficulty of their application in electric machines in operation and the inaccuracy of their measurements. Other methods for studying electric machines do not have specific parameters for their use.

Keywords: electric machines, stator winding insulation, partial discharges, diagnostic methods, and surface discharges.

Теруге 09.06.2026 ж. жіберілді. Басуға 30.06.2026 ж. қол қойылды.

Электронды баспа

5,86 Mb RAM

Шартты баспа табағы 34,4. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: А. Б. Шукитова

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Тапсырыс № 4557

Сдано в набор 09.06.2026 г. Подписано в печать 30.06.2026 г.

Электронное издание

5,86 Mb RAM

Усл. печ. л. 34,4. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка: А. Б. Шукитова

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Заказ № 4557

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

67-36-69

E-mail: kereku@tou.edu.kz

www.vestnik-energy.tou.edu.kz