УДК 621.3.04

А. В. Костюков, А. В. Щелканов, Е. А. Бурда

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА РЕМОНТА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ МЕТОДАМИ ВИБРОДИАГНОСТИКИ И ЧАСТИЧНЫХ РАЗРЯДОВ

В настоящее время метод вибродиагностики является одним из основных методов, применяемых при производстве и ремонте асинхронных элекродвигателей для диагностирования их технического состояния по параметрам вибрации подшипниковых узлов. В то же время такие двигатели могут иметь специфичные дефекты электромагнитной системы – дефекты активной стали и обмоток статора, беличьей клетки ротора и другие. Эти дефекты выявляются методами вибродиагностики, но их локализация и классификация зачастую затруднены, поскольку в вибросигналах могут находить отражение процессы, происходящие в обмотках различных фаз статора, активной стали статора и проводящей системе ротора. Применение метода частичных разрядов позволяет повысить точность диагностирования, так как различные дефекты электромагнитной системы имеют свои характерные значения параметров частичных разрядов, что позволяет установить фазу обмотки статора, в которой развивается дефект, и его тип. Совместное применение методов вибродиагностики и частичных разрядов повышает качество контроля асинхронных электродвигателей и позволяет более полно оценивать изменение их технического состояния в процессе эксплуатации.

Асинхронные электродвигатели (АЭД) являются одним из наиболее распространённых типов промышленного электрооборудования. Как следствие существует насущная потребность в разработке современных методов диагностирования их технического состояния, в том числе на испытательных стендах. При этом следует стремиться к полной автоматизации процесса диагностирования для исключения человеческого фактора с целью достижения максимальной достоверности, эффективности и производительности диагностики [1].

Согласно общедоступным данным [2,3], механические и электрические причины выхода АЭД из строя составляют, соответственно, порядка 41 % и 47 % в общем числе отказов. При этом дефекты обмоток статоров составляют до 80 % выходов АЭД из строя по электрическим причинам.

Как правило, в стендах для испытаний АЭД реализуются методы вибродиагностики (ВД), позволяющие оценивать состояние АЭД путём измерения параметров вибрации. Также обычно отслеживаются параметры температуры, частоты вращения и тока потребления, но изоляция обмоток статоров АЭД обычно не контролируется. Этот факт, в совокупности с показанной выше статистикой выхода АЭД из строя по электрическим причинам, делает вопрос контроля состояния изоляции АЭД очень актуальным. Тем не менее, если на сегодняшний день методы вибродиагностики широко представлены в многочисленных публикациях, например [4], то вопросы контроля изоляции АЭД с помощью стендовых систем освещены мало.

Для применения типовых методов контроля состояния изоляции АЭД необходимы дополнительные затраты, они применимы, как правило, только к выведенным из эксплуатации АЭД и не лишены других недостатков. Так, испытания повышенным напряжением могут ухудшить состояние изоляции и требуют повышенных мер безопасности, а измерения коэффициентов абсорбции и поляризации позволяют оценить только общее состояние изоляции – степень её увлажнения и старения, не выявляя локальные дефекты.

Рассматриваемый в исследовании метод частичных разрядов является перспективным методом диагностирования дефектов изоляции обмоток статоров АЭД и, как показывает практика, может быть эффективно интегрирован в функционал существующих испытательных стендов.

Согласно определению, приведённому в [5], частичный разряд – это электрический разряд, который шунтирует лишь часть изоляции между электродами, находящимися под разными потенциалами.

Предпосылкой к возникновению частичных разрядов (ЧР) является наличие в изоляции мест, имеющих отличные от основной изоляции диэлектрические свойства. Это могут быть дефекты изоляции, включения, расслоения, пустоты между слоями изоляции и загрязнения на её поверхности. Также ЧР могут возникать в местах резкого изменения напряжённости электрических полей, например, в лобовых частях обмоток.

Сопровождающие ЧР негативные факторы, например, термическое воздействие, ультрафиолетовое излучение и иные факторы, ухудшают состояние изоляции и, как правило, приводят к развитию дефекта, полному

пробою изоляции, выходу электрооборудования из строя и возникновению аварийной ситуации.

К преимуществам метода ЧР можно отнести такие, как щадящее диагностирование АЭД под рабочим напряжением, использование датчиков ЧР различных типов – ёмкостных, индуктивных, электромагнитных, акустических и возможность проведения диагностики во время работы АЭД – при испытаниях или эксплуатации.

На рис. 1 показана структурная схема доработанной стендовой системы КОМПАКС®-РПЭ производства НПЦ «Динамика» (Омск), предназначенной для контроля технического состояния АЭД по параметрам вибрации, температуры, частоты вращения и тока потребления. Этот испытательный стенд был оснащён подсистемой ЧР для контроля состояния изоляции диагностируемых АЭД параллельно с измерением основного набора параметров.

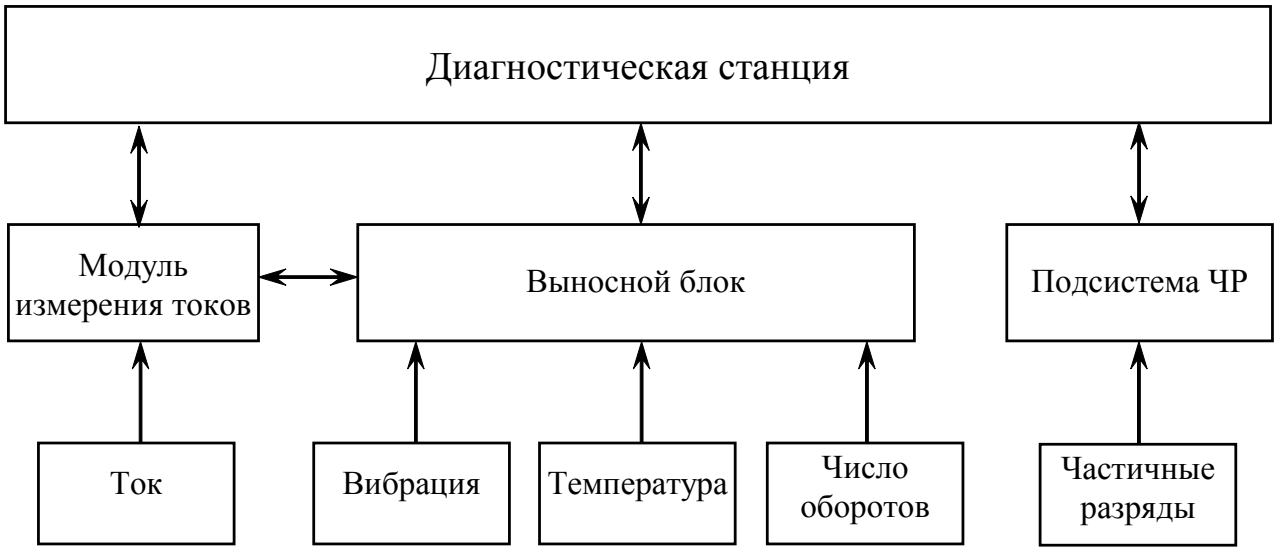


Рис. 1. Структурная схема испытательного стенда

Диагностическая станция предназначена для управления стендом, сбора и обработки измеренных значений диагностических признаков, отображения результатов диагностики АЭД и состояния системы, сохранения и вывода на печать результатов диагностики и прочей информации. Модуль измерения токов используется для контроля тока потребления испытываемого АЭД. Выносной блок используется для подключения и сбора информации с датчиков вибрации, температуры и частоты вращения при установке их на АЭД. Подсистема ЧР с подключёнными к ней датчиками частичных разрядов обеспечивает сбор и обработку параметров ЧР.

С помощью описанного стенда были проведены исследования свыше 4500 АЭД на напряжения 380 В и 6000 В на предмет наличия ЧР в их изоляции и определения соответствия показаний подсистемы ЧР результатам ВД.

Указанные исследования показали наличие ЧР, параметры которых превышали пороговые значения, установленные в ходе работ, для 5 % всех испытанных высоковольтных (6000 В) и 2 % низковольтных (380 В) АЭД. При этом следует отметить, что электроразрядная активность в АЭД не ограничивается только классическими ЧР. Например, искровые явления возможны в обмотках и контактах АЭД на 380 В, а искрения и дуговые явления в активной стали статора возможны в АЭД всех классов напряжения [6].

Пример сопоставления показаний методов ЧР и ВД показан ниже. На рис. 2. приведён спектр виброускорения на заднем подшипниковом узле АЭД типа ВАО2-450LB2. Из спектра видно, что основной вклад в уровень СКЗ сигналов виброускорения вносят гармонические составляющие на частотах 50, 100, 300 и 1893 Гц, при этом гармоники высокой частоты, сдвинутые относительно пазовой на ±2 и ±4 $f_{сети}$, выражены слабо. Такая маска спектра, говорит о возможном дефекте электромагнитной системы АЭД, а именно о возможном повреждении изоляции обмотки статора АЭД [4].

На рис. 3 показано амплитудно-фазовое распределение ЧР для фазы А обмоток статора указанного АЭД типа ВАО2-450LB2. Амплитуда ЧР при этом достигала 3631 мВ, частота повторения 1645 имп/с, а суммарная мощность ЧР составляла 8.9 мВт. Исходя из этих параметров состояние изоляции по ЧР можно оценить как недопустимое. При этом показанное распределение ЧР говорит о наличии полости или крупного расслоения в изоляции фазы А обмотки статора [7].

Таким образом, результаты диагностирования изоляции статора этого АЭД методом ЧР подтверждают выводы, полученные с помощью метода ВД, при этом позволяя уточнить тип дефекта изоляции, его локализацию и степень развития.

Необходимо отметить высокую чувствительность метода ЧР, позволяющую фиксировать потенциальные дефекты изоляции на ранней стадии, задолго до достижения ими такой степени развития, которая может быть зарегистрирована методом ВД, а также фиксировать дефекты, недоступные контролю другими методами.

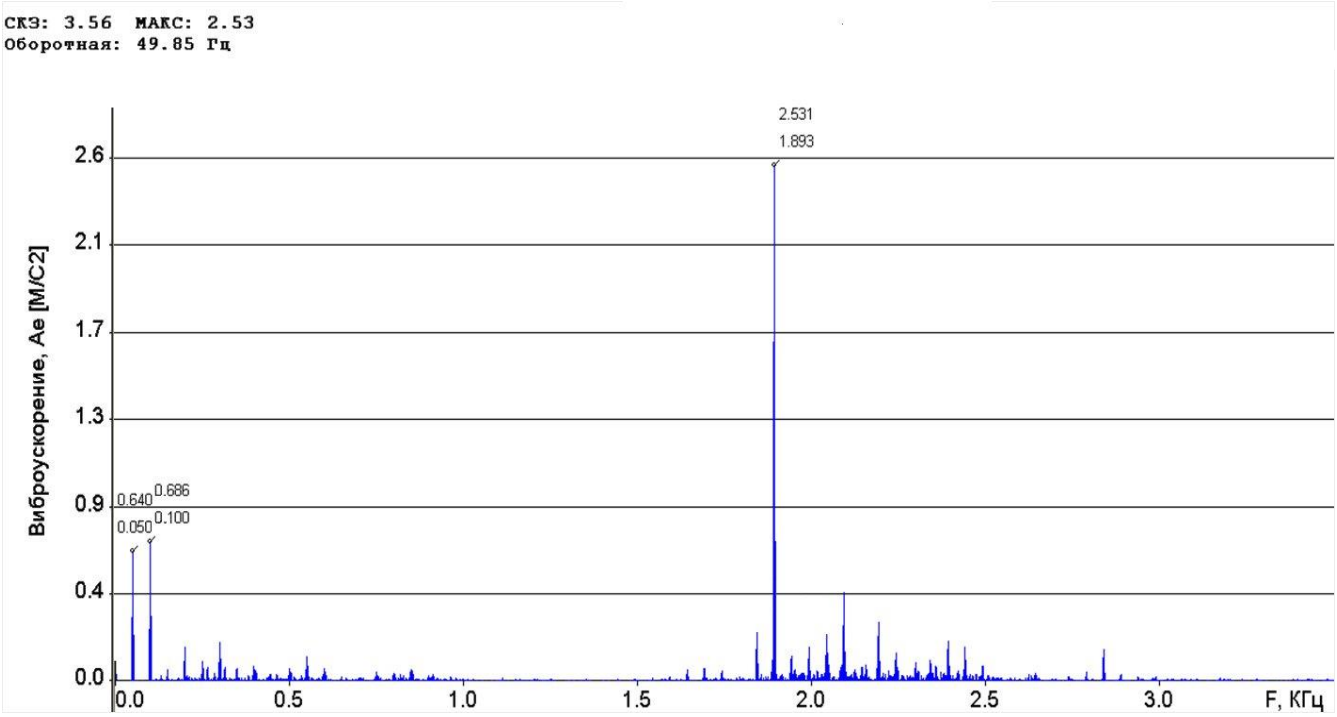


Рис. 2. Спектр виброускорения на заднем подшипниковом узле АЭД типа ВАО2-450LB2 (6000 В, 400 кВт)

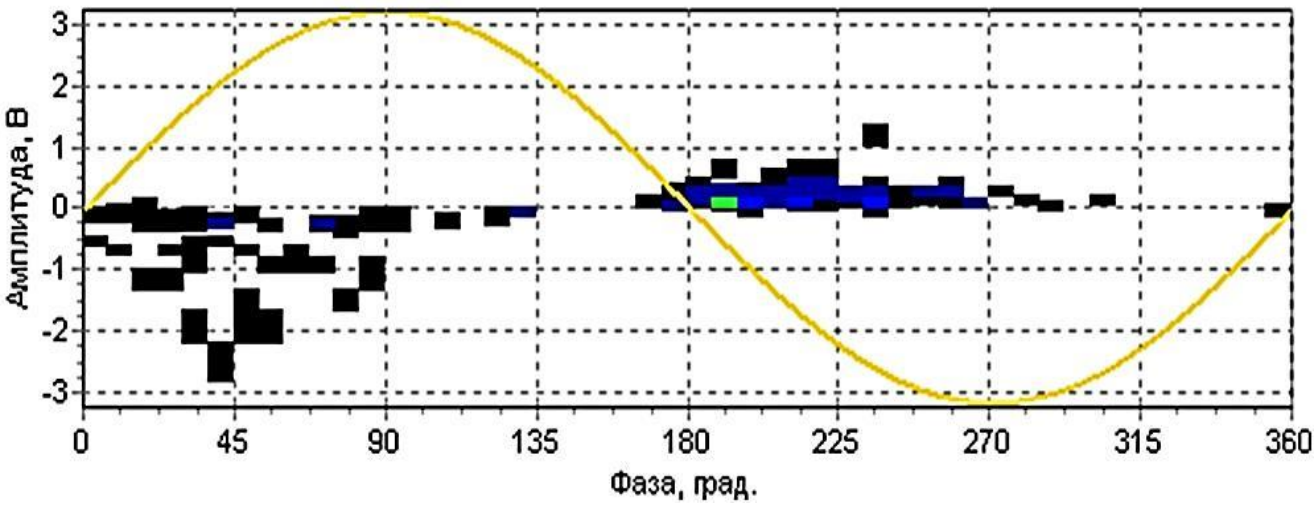


Рис. 3. Амплитудно-фазовое распределение ЧР для фазы А статора АЭД ВАО2-450LB2 (6000 В, 400 кВт)

Например, при испытаниях во время ремонта одного из высоковольтных АЭД подсистемой ЧР в фазе А статора этого электродвигателя были зафиксированы частичные разряды с амплитудой до 20 мВ и частотой повторения до 105 имп/с. При проведении дополнительного контроля было обнаружено показанное на рис. 4 загрязнение лобовых и пазовых частей

обмоток смазочными материалами. Такое загрязнение при эксплуатации АЭД, как правило, приводит к выходу его из строя из-за развивающихся дефектов изоляции.

Рис. 4. Пример загрязнения обмотки статора испытываемого АЭД

После дополнительной очистки статора на специализированном участке ремонт АЭД был продолжен, при этом повторные испытания показали снижение до нуля значений параметров ЧР после устранения загрязнения.

Показанные выше результаты исследований подтверждают высокую чувствительность метода ЧР и эффективность применения его в комплексе с методами ВД и другими методами технической диагностики, реализованными в стендовых системах для испытаний АЭД.

Такой подход повышает полноту диагностики электродвигателей, так как одновременному контролю подвергаются как механические, так и электрические составляющие АЭД. При этом контролируется даже наличие зарождающихся дефектов изоляции и факторов, способствующих их возникновению, таких, как загрязнения и наличие посторонних частиц.

Внедрение методов контроля параметров ЧР при производстве и ремонте электродвигателей позволяет исключить выпуск в эксплуатацию АЭД с потенциальными дефектами и повысить надёжность их применения, что имеет особое значение для опасных производственных объектов.

Список литературы

1. Костюков, В. Н., Мониторинг безопасности производства [Текст] / В. Н. Костюков. – М.: Машиностроение, 2002. – 224 с.

2. Сидельников, Л. Г. Обзор методов контроля технического состояния асинхронных двигателей в процессе эксплуатации [Текст] / Л. Г. Сидельников, Д. О. Афанасьев. – Вестник ПНИПУ. Геология. Нефтегазовое и горное дело, 2013. – № 7. – С. 127 – 137.

3. On-line partial discharge (OLPD) insulation condition monitoring solutions for rotating high voltage (HV) machines [Текст]/ L. Renforth, M. Foxall and etc. – IEEE. – PCIC ME-28. – 12 p.

4. Неразрушающий контроль: Справочник: В 8 т. / Под общ. ред. В. В. Клюева. Т. 7: В 2 кн. Кн. 2: Ф. Я. Балицкий, А. В. Барков и др. Вибродиагностика. – 2-е изд., испр. – М.: Машиностроение, 2006. – 829 с.

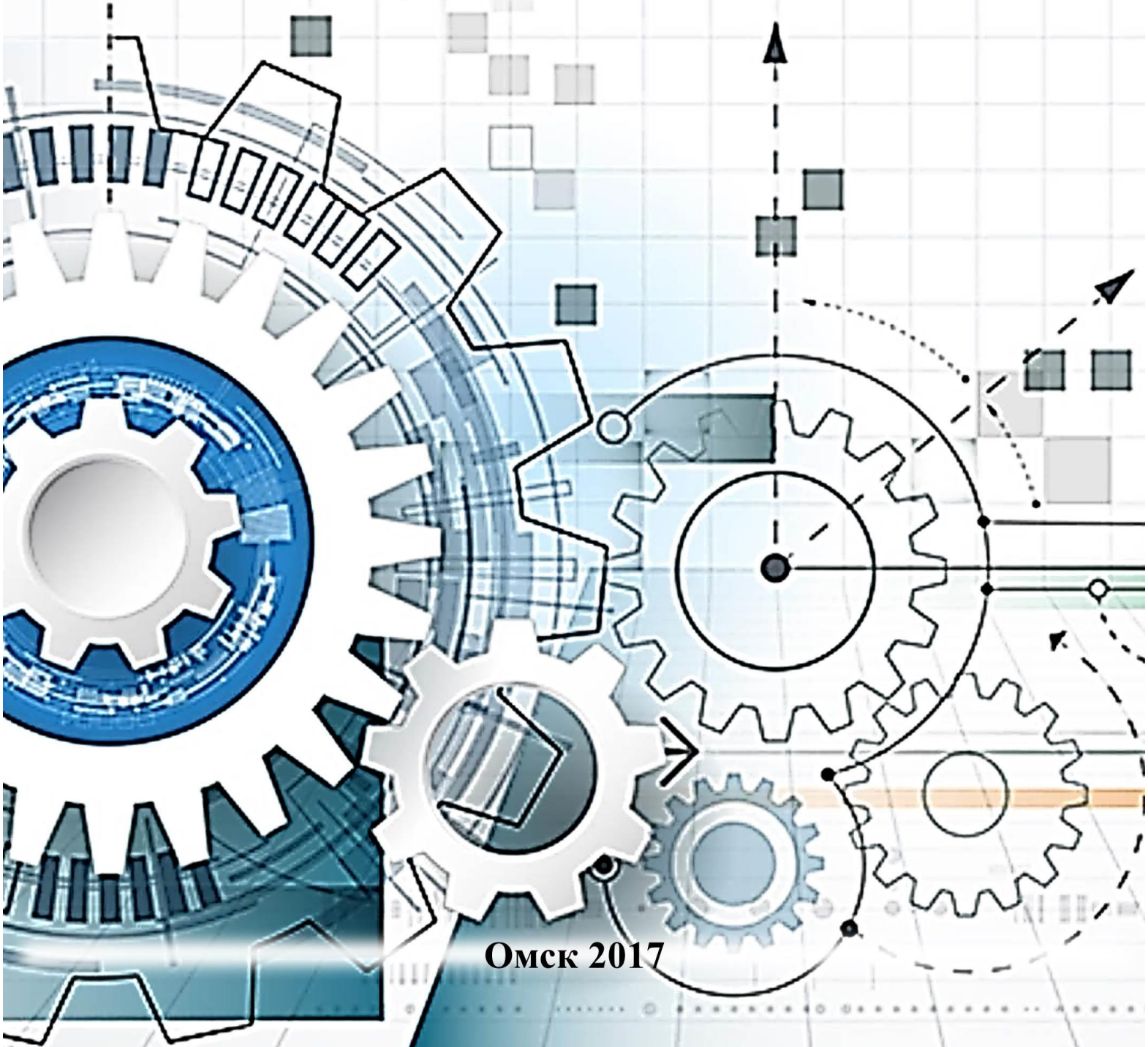
5. ГОСТ Р 55191-2012 (МЭК 60270:2000), Методы испытаний высоким напряжением. Измерения частичных разрядов [Текст] / М: Стандартинформ, 2014. – 56 с.

6. Методические указания: МУ 1.3.3.99.0036-2009, Диагностика изоляции вращающихся машин классов напряжения от 0,4 кВ до 24 кВ по характеристикам частичных разрядов [Текст] / – ОАО «Концерн Росэнергоатом», 2009. – 81 с.

7. ГОСТ IEC/TS 60034-27-2 – 2015, Машины электрические вращающиеся. Часть 27-2. Измерения частичного разряда на изоляции статорной обмотки включенных в сеть вращающихся электрических машин [Текст] / – Введ. 2017-01-03. М: Стандартинформ, 2016. – 42 с.

Министерство транспорта Российской Федерации
Федеральное агентство железнодорожного транспорта
ОАО «Российские железные дороги»
Омский государственный университет
путей сообщения

Инновационные проекты и технологии машиностроительных производств



Омск 2017

Министерство транспорта Российской Федерации
Федеральное агентство железнодорожного транспорта
Омский государственный университет путей сообщения

ИННОВАЦИОННЫЕ ПРОЕКТЫ И ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Материалы второй всероссийской
научно-технической конференции

(19 октября 2017 г.)

Омск 2017

УДК 621
ББК 34в06
И66

Инновационные проекты и технологии машиностроительных производств: Материалы второй всероссийской научно-технической конференции / Омский гос. ун-т путей сообщения. Омск, 2017. 217 с.

В сборник вошли статьи, в которых рассмотрены основные совершенствования технологий машиностроительных производств, включая технологическое проектирование, получение и использование инновационных материалов и технологий, управление системами и процессами, математическое моделирование; показана важность использования технологического проектирования в условиях распределенных производственных систем как новых тенденций в современном машиностроении; раскрыты основные этапы организации оперативного перехода в условиях современного машиностроительного производства при смене номенклатуры производств.

Сборник может быть полезен для научных сотрудников и специалистов, работающих в области машиностроения.

Библиогр. 112 назв. Табл. 17. Рис. 77.

Редакционная коллегия:
доктор техн. наук, доцент С. Г. Шантаренко (отв. редактор);
доктор техн. наук, профессор В. В. Харламов;
доктор техн. наук, профессор А. Ю. Попов;
канд. техн. наук Е. В. Пономарев.

Рецензенты: доктор техн. наук, профессор А. П. Моргунов;
доктор техн. наук, профессор В. А. Аксенов.

ISBN 978-5-949-41180-3

© Омский гос. университет путей сообщения, 2017

СОДЕРЖАНИЕ

Малютин А. Г., Лаврухин А. А., Окишев А. С. Подсистема мониторинга и учета параметров и динамических характеристик технологических процессов…..……..……..……..…….. 5

Аверков К. В., Шайдулина С. Л. Использование поляризационно-оптического метода для анализа напряжений, возникающих в зоне контакта зубьев зубчатых колес..…..……..……..……. 12

Архиреев А. Г., Нахлесткин А. А., Буслаев С. В. Оптимизация процесса торцевого фрезерования..…..……..……..…… 16

Альтман Е. А., Афанасьева Н. С. Эффективные вычислительные алгоритмы для решения задач автоматизации и управления производством..…..……..……..……..……..…… 22

Нелис Л. И., Суровикин С. Н., Чикина К. В. Вихретоковый метод контроля деталей на производстве…..……..……..…… 28

Малютин А. Г., Васильев А. В. Совершенствование методов контроля и управления доступом в АСУ ТП на основе биометрической идентификации личности…..……..……..…… 32

Круглов В. М., Кузнецов В. В. Рельсовое скрепление российских железных дорог……..…..…..……..…… 41

Саврухин А. В. Разработка методики определения параметров термической обработки элементов машиностроительных конструкций на основе компьютерного моделирования кинетики структурных и фазовых превращений в стали…...……..……..……..…… 49

Гаращук О. А. Анализ правового статуса конструкторской документации как объекта гражданского права России и ее взаимосвязь с действующим правовым регулированием информации в целом…… 54

Иванов П. Ю., Мануилов Н. И., Дульский Е. Ю., Худаногов А. М. Исследование работы стабилизатора крана машиниста УСЛ. № 395…….. 62

Попов А. Ю., Тотик М. А., Назаров П. В., Тишанский Д. Н. Применение адаптивной системы люнетов при профильном шлифовании протяжек..…..……..……..……..……..……..…… 69

Грицутенко С. С., Степанова Е. А. К вопросу о моделировании гармоник тока и напряжения при проектировании анализаторов качества... 77

Аверков К. В., Макашин Д. С. Использование средств iLogic при проектировании в Autodesk Inventor…...…..……..…….. 84

Капустьян М. Ф., Супчинский О. П., Кулаковская В. П. Современный подход к информационному обеспечению управления технологической подготовкой производства..…..……..……..……..…...… 89

Кузнецов А. А., Усачева К. В. Повышение точности средств аналитического контроля при обеспечении идентичных условий испытаний..…..……..……..……...……..……..…… 97

Костюков А. В., Зайцев А. В. Разработка критериев оценки вибрационного состояния колесно-моторных блоков электроподвижного состава……...…..……..……..…… 104

Рауба А. А. Совершенствование технологической операции обработки рабочей поверхности коллекторов…..…..……..……..…… 111

Обрывалин А. В. Разработка мероприятий по повышению качества ремонта вагонных колес..…..……..…...……..……..…… 116

Смольянинов А. В. Особенности применения катковой станции при ремонте железнодорожного подвижного состава……..……..…… 121

Петроченко С. В. Экспериментальные исследования влияния шероховатости рабочей поверхности коллектора и твердости поверхностного слоя на интенсивность изнашивания коллекторных пластин..…..……..……..……..……..…… 132

Белан Д. Ю., Гелетюк Ю. Н. Конструкторско-технологический анализ подвески тягового двигателя НБ-514Б...……...……..……..…… 138

Бакланов А. А. Особенности конструкции и работы колесно-моторного блока электровоза с двухсторонней косозубой тяговой передачей…… 144

Ахмеджанов Р. А. Автоматизированный разъемный соленоид…… 150

Ильиных А. С., Галай М. С., Сидоров Э. С. Обеспечение требуемых показателей качества алюминотермитных сварных соединений рельсов за счет совершенствования технологии механической обработки…….. 156

Смайлова Н. Т. Модернизация головки толкателя прошивного стана…. 163

Костюков А. В., Щелканов А. В., Бурда Е. А. Контроль качества ремонта электродвигателей методами вибродиагностики и частичных разрядов…... 169

Кильдибеков А. Б., Петров В. В., Петров К. С. Применение оптоэлектронного измерительного преобразователя линейных перемещений на предприятиях машиностроения…….. 176

АННОТАЦИИ……...……..……... 183