

На правах рукописи



ЮРИН Валерий Николаевич

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СРЕДСТВ УЛУЧШЕНИЯ
ХАРАКТЕРИСТИК ИЗОЛЯЦИИ СУДОВОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ**

Специальность 05.09.03 - Электротехнические комплексы и системы

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Владивосток – 2017

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Морской государственный университет имени адмирала Г. И. Невельского» на кафедре «Теоретические основы электротехники».

Научный руководитель: доктор технических наук, доцент
Бурков Алексей Федорович

Официальные оппоненты: **Горелов Валерий Павлович**,
доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВО «Сибирский государственный
университет водного транспорта»,
профессор

Григорьев Николай Потапович,
кандидат технических наук, доцент,
ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный
университет путей сообщения»,
профессор

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Иркутский государственный
университет путей сообщения»

Защита состоится _____ 2017 г. в ___ час. ___ мин. на заседании объединенного диссертационного совета Д 999.086.03, созданного на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет», федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Дальневосточный государственный университет путей сообщения», федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Амурский государственный университет» по адресу: 681013, Хабаровский край, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27 корпус 3, аудитория 201/3.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета или на его веб-сайте <https://sovnet.knastu.ru/diss>.

Автореферат разослан «___» _____ 2017

Учёный секретарь
диссертационного совета Д 999.086.03
к.т.н., доцент



Гудим А. С.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Повышение ресурса судового электрооборудования (ЭО) имеет большое значение для эффективной работы судовых энергетических установок и эксплуатации судов в целом. Необходимость решения задач, связанных с повышением ресурсов, отражена в государственной программе «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 года», утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации от 27.12.2010 № 2446-р.

Эксплуатация судового ЭО происходит в условиях, связанных с повышенной влажностью, изменениями температур в широком диапазоне, агрессивностью окружающей среды, повышенной вибрацией и др. Создание необходимых условий для эффективной эксплуатации судов и жизнедеятельности экипажей во многом зависит от надежной работы судовых систем, генерирующих электрическую энергию и потребителей, к основным составным частям которых относятся судовые электрические машины (ЭМ) – генераторы и электродвигатели (ЭД), потребляющие ориентировочно около 75 % от всей электроэнергии (ЭЭ), вырабатываемой в мире. Установленное число ЭМ на одном судне достигает сотни единиц.

В процессе эксплуатации судовых ЭМ, под действием внешних факторов или в результате критических ситуаций ухудшаются, как правило, качественные характеристики их электрической изоляции (ЭИ), что приводит к необходимости принятия эффективных мер к ее восстановлению. Во многих случаях, важным технологическим процессом (ТП) является удаление влаги из изоляционных слоев.

Для судовых ЭМ на стадии потребления «жизненного цикла» выбор варианта удаления влаги определяется техническими возможностями и определенными требованиями к соблюдению ТП. В настоящее время разработаны и широко распространены методики повышения сопротивления ЭИ $R_{из}$ в заводских условиях, сопровождающиеся относительно трудоемкими сопутствующими работами. Поскольку ЭМ относятся к основным составным частям судовых электроэнергетических систем, разработанные и реализованные научно-технические мероприятия, направленные на повышение качества их ЭИ в судовых условиях без их демонтажа и большей части сопутствующих работ могут оказать существенное влияние на судовую энергетическую эффективность.

Таким образом, решение актуальной задачи улучшения качества ЭИ ЭМ в судовых условиях становится вынужденной необходимостью и оказывает существенное влияние на технико-экономическое развитие морской отрасли.

Анализ выполненных исследований позволяет сделать вывод об ограниченности теоретических исследований и практических разработок по данной тематике.

Степень разработанности темы исследований. Вопросы теории и технические решения, связанные с повышением качества ЭИ ЭО освещены в работах Антонова М. В., Барэмбо К. Н., Ганеева Э. А., Грибанова А. А., Джамо А., Коваленко Д. В., Котрикова К. П., Лебедева П. Д., Приходько В. М., Сюбаева М. А., Хомутова С. О. и др.

Для применения в судовых условиях представляются наиболее приемлемыми конвекционные, токовые, электроосмотические и индукционные ТП повыше-

ния качества ЭИ. В результате сравнительной оценки характеристик определено, что к наиболее целесообразным следует отнести индукционный способ. В общем случае применение индукционного нагрева ферромагнитных изделий исследовано в работах Гемке Р. Т., Кувалдина А. Б., Немкова В. С., Сидоренко В. Д., Слухоцкого А. Е., Сологуба Н. П. и др.

Цель и задачи исследований. Цель настоящей диссертационной работы состоит в разработке на основе обобщенного анализа результатов опыта эксплуатации судового ЭО, экспериментальных исследований и сравнительных оценок эффективной методики повышения качества изоляции ЭМ в судовых условиях.

Достижение цели требует решения основных задач, включающих:

- анализ опыта использования технических мероприятий, направленных на улучшения качества изоляции ЭМ с целью выявления вариантов, приемлемых в судовых условиях, исследование структур и алгоритмов работы изделий;
- исследование распределения тепловых потерь в сложных магнитопроводах ЭМ с целью оптимизации параметров и улучшения технических характеристик ЭИ в судовых условиях;
- разработку математической модели для аналитических исследований системы «индуктор – статор ЭМ» (И–СЭМ), обусловленных технической реализацией предложенных мероприятий, направленных на повышение сопротивления ЭИ ЭМ;
- физическую реализацию исследований ТП повышения качества ЭИ ЭМ;
- сравнительный анализ аналитических и экспериментальных исследований с целью проверки достоверности математического моделирования.

Научная новизна состоит в следующих положениях:

- обоснована целесообразность применения индукционного ТП повышения ЭИ ЭМ, основанного на использовании для питания индуктора регулируемого источника несинусоидального напряжения;
- разработана математическая модель, позволяющая оценивать потери, возникающие в элементах магнитопроводов;
- разработана методика и алгоритмы, позволяющие на основе разработанных и изготовленных устройств обеспечивать приемлемый ТП улучшения качества ЭИ обмоток ЭМ.

К практической значимости работы относятся:

- результаты исследований распределений потерь в сложной магнитной системе позволяющие выбирать более эффективные способы установки индуктора;
- схема замещения и компьютерная модель системы И–СЭМ, учитывающие явления гистерезиса на основной гармонической составляющей и явления вихревых токов на основной и высших гармониках, позволяющие прогнозировать мощность потерь в элементах статора;
- разработанное устройство, позволяющее обеспечивать адекватный ТП улучшения качества изоляции ЭМ.

Методология и методы научного исследования. Работа выполнена с применением математических методов анализа, обработки результатов, математического и компьютерного моделирования, физического моделирования, лабораторных исследований. Теоретической и методологической базой диссертационной работы являются законы и методы физики, теоретической электротехники и ЭМ.

Основные положения и результаты, выносимые на защиту. К основным положениям и результатам работы, выносимым на защиту, относятся:

- концепция повышения эффективности средств улучшения характеристик ЭИ судового ЭО, основанная на результатах анализа сравнительных оценок статистических исследований опыта эксплуатации, теоретических разработок и технических реализаций, аналитических и экспериментальных исследованиях;
- обоснование метода, основанное на использовании в качестве источника питания индуктора при индукционном ТП повышения изоляции ЭМ регулируемого источника несинусоидального напряжения;
- математическая модель, позволяющая оценивать потери, возникающие в элементах магнитопроводов;
- методика, включающая алгоритм, реализующий индукционный ТП улучшения качества изоляции обмоток ЭМ.

Степень достоверности и апробация результатов научных исследований подтверждена полученными результатами аналитических исследований и физического моделирования, сравнительным анализом, наличием свидетельства и патента на полезную модель. Внедрение результатов подтверждено актами.

Основные результаты диссертационного исследования были представлены и обсуждались на XXIX Всероссийской межвузовской научно-технической конференции (НТК) Тихоокеанского высшего военно-морского училища (ТОВВМУ) им. С. О. Макарова, Владивосток, 1996 г.; НТК «Морское образование на Дальнем Востоке. Современное состояние и перспективы развития», Владивосток, 1996 г.; межвузовской НТК «Проблемы развития морского транспорта на Дальнем Востоке», Владивосток, 1997 г.; XXX Всероссийской межвузовской НТК ТОВВМУ им. С. О. Макарова, Владивосток, 1997 г.; НТК «Вологдинские чтения», Владивосток, 2000 г.; НТК «Вологдинские чтения», Владивосток, 2009 г.; юбилейной десятой международной НТК «Проблемы транспорта Дальнего Востока», Владивосток, 2013 г.

Отдельные результаты исследований внедрены в ТП повышения качества ЭИ ЭМ на судоремонтных предприятиях Дальневосточного региона, используются в учебном процессе в Морском государственном университете (МГУ) им. адм. Г. И. Невельского.

Работа в полном объеме докладывалась на кафедрах «Теоретические основы электротехники» и «Электрооборудование и автоматика судов» МГУ им. адм. Г. И. Невельского.

Основное содержание работы отражено в 28 основных публикациях (монографии, научных статьях, свидетельстве и патенте на полезную модель, докладах на конференциях), включая пять статей в рецензируемых научных журналах перечня высшей аттестационной комиссии (ВАК).

В работах 1, 5, 12, 15, 16 списка публикаций соискателю принадлежит постановка задачи и теоретическая часть. Обработка результатов выполнена совместно с соавторами. В 8, 9, 13, 22, 24, 26 списка соискателю принадлежит теоретическая часть. Постановка задачи и обработка результатов выполнены совместно с соавторами. В работах 2, 6, 7, 10, 11, 14, 17, 19, 20 постановка задачи, теоретическая часть и обработка результатов выполнены совместно с соавторами.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из списка сокращений и условных обозначений, введения, пяти глав, заключения, библиогра-

фического списка, включающего 136 наименования. Работа изложена на 159 страницах машинописного текста, содержит 82 рисунка и 14 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении отражено современное состояние научных исследований и практические результаты в области оценки состояния и восстановления качественных характеристик ЭИ ЭМ. Обоснована актуальность темы на основании предварительных исследований и существующих результатов, сформулированы цель и задачи, изложены сведения о значимости работы. Описаны методы исследований, приведены основные положения, выносимые на защиту, степень достоверности и апробация результатов.

Первая глава посвящена анализу опыта технической эксплуатации (ТЭ) ЭО. Высокая потребность в ЭО для динамично развивающейся промышленности и транспорта может быть удовлетворена при условии организации качественного и эффективного обслуживания и своевременных ремонтных работах. При разукрупнении ЭО можно условно разделить на две основные части: силовое и управления.

Анализ эксплуатации ЭО показывает, что количество отказов по устройствам управления составляет 52 %, по силовому оборудованию 48 %. Если ремонты устройств управления выполняются, как правило, путем частичной или полной замены элементной базы, то силовое ЭО подлежит ремонтным работам, сопровождающимся восстановлением поврежденных составных частей. Суммарные затраты на такие ремонты относительно высокие и часто соизмеримы со стоимостью нового ЭО. Для обеспечения безаварийной и эффективной эксплуатации ЭО необходимо уделять большое внимание вопросам диагностики состояния, техническому обслуживанию (ТО), своевременному определению и устранению выявленных дефектов. В частности, своевременно выявленное снижение сопротивления изоляции (СИ) $R_{из}$ обмоток ЭМ и принятые меры к ее восстановлению требуют гораздо меньших средств, чем замена обмоток после их разрушения.

В процессе эксплуатации ЭМ находятся под влиянием различных факторов, оказывающих влияние на надежность ЭО. Наиболее разрушительное действие этих факторов оказывается на ЭИ ЭО. По результатам выполненного анализа отказов ЭМ установлено, что время безотказной работы ЭМ существенно зависит от влажности окружающей среды, которая вызывает снижение электрического СИ $R_{из}$, увеличивая токи утечки и потери в ЭИ. По полученным в результате анализа данным по наиболее массово эксплуатируемым в различных отраслях асинхронным двигателям (АД) (85...95) % отказов происходит из-за повреждения обмоток, (2...5) % – из-за повреждения подшипников. Остальные (3...10) % отказов относятся к прочим. Неисправности АД, связанные с понижением СИ $R_{из}$ обмоток ниже допустимых норм, составляют до 40 %. Пробои ЭИ на корпус составляют около 24 % от общего числа отказов. ЭМ постоянного тока и синхронные по своим основным свойствам и показателям надежности имеют много общего с АД.

При эксплуатации ЭО наряду с отказами обнаруживаются повреждения, устранение которых производится при выполнении различных видов ремонтных работ (плановых, текущих, средних, капитальных, регламентированных или по техническому состоянию (ТС)).

Характерной особенностью эксплуатации судового ЭО является изменение климатических зон в широком диапазоне за относительно небольшой промежуток времени, что наиболее существенно отражается на качестве ЭИ ЭМ, установленных в различных местах судна. Ориентировочная интенсивность отказов ЭМ зависит от климатических условий (времени года) следующим образом: до 31 % – весной; около 27 % – осенью; до 25 % – летом; около 17 % – зимой. На качество ЭИ обмоток ЭМ оказывает влияние и интенсивность работы. Коэффициент корреляции между временем безотказной работы ЭМ и временем работы в течение суток составляет $0,5 \pm 0,08$. Кроме того, при длительном нахождении ЭМ в нерабочем состоянии, на ЭИ их обмоток часто появляется роса, которая проникает в микротрещины, снижая качество ЭИ и сокращая время безотказной работы ЭМ.

Восстановление качественных характеристик ЭИ, как правило, связано с процессами удаления влаги (сушкой), пропитки изоляционными материалами и полимеризации посредством сушки в заданном температурном режиме.

Для качественного восстановления ЭИ необходимо применение соответствующих материалов и ТП на основе инновационных методов и современного оборудования. При восстановлении ЭИ ЭМ, имеющих высокие массо-размерные показатели, представляется целесообразным выполнение ремонтных работ с частичной их разборкой на местах, в частности, в судовых условиях.

Во второй главе выполнен обзор и анализ технических средств улучшения качественных характеристик изоляции ЭМ.

Процессы ухудшения характеристик ЭИ, как правило, могут быть остановлены, а качество изоляции повышено при помощи различных технических средств и ТП. В Правилах ТЭ судовых технических средств и конструкций относительно ЭМ указано, что, если они увлажнены и имеют СИ $R_{из}$ ниже допустимых норм, его необходимо восстановить. Обмотки ЭМ после удаления влаги, в зависимости от состояния ЭИ, покрываются электроизоляционными эмалями или пропитываются лаками, совместимыми с типами изоляций обмоток, после чего просушиваются в соответствии с рекомендованными режимами.

В общем случае режимы нагревов ЭМ зависят от их массо-размерных показателей. Во время процессов восстановления ЭИ контролируются температура нагрева $T(t)$, СИ $R_{из}(t)$ и коэффициент абсорбции $K_{аб}(t)$. Для повышения сопротивлений ЭИ $R_{из}$ применяются различные технические средства и ТП. В силу специфических условий, для повышения СИ $R_{из}$ судовых ЭМ, наиболее приемлемы конвекционные, токовые и индукционные ТП.

При использовании конвекционных ТП наибольший эффект достигается в тех случаях, когда источники тепла помещаются внутри ЭМ. Процесс удаления влаги начинается при условии превышения температуры внутренней части машины наружной. При невыполнении данного условия происходит эффект «запаривания» изоляции, и ее качество ухудшается. Необходимо отметить, что в случаях использования внешних нагревателей есть опасность местных перегревов деталей обмоток. Кроме того, равномерные нагревы ЭМ, имеющих высокие массо-размерные показатели, практически невозможны. Коэффициент полезного действия (КПД) таких ТП составляет около 20 %. Конвенционные ТП используется, как правило, для повышения СИ ЭМ в цеховых условиях и в совокупности с вакуум-

ными установками. Их применение в судовых условиях низко эффективно, а для крупногабаритных ЭМ не представляется возможным.

Более эффективны токовые ТП, так как при нагреве изоляции обмоток ЭМ в этих случаях источниками тепла являются токопроводящие жилы, и имеющаяся влага перемещается к поверхностям. Основным недостатком токовых ТП является достаточная сложность получения распределенных источников тепла для всего объема изоляций, что также может привести к местным перегревам, которые не представляется возможным контролировать по усредненной температуре, и к возникновению термомеханических деформаций в различных зонах ЭИ. При интенсивном нагреве слоев изоляции, более близких к проводникам, затруднительно обеспечить равномерную сушку изоляций в режимах, соответствующих ТП, особенно внутри пазов. Кроме того, токовые ТП запрещено применять при повышенных увлажнениях ЭИ, снижающих $R_{из}$ до значений менее 0,1 МОм.

Повышение качеств ЭИ индукционными ТП предполагает наложение на части ЭМ различными способами индукторов. В ряде случаев магнитные цепи, по которым будут замыкаться результирующие магнитные потоки, включают участки, состоящие из сплошной стали, что приводит к возникновению в конструктивных элементах статоров дополнительных тепловых потерь от действия вихревых токов и явлений гистерезиса, и как следствие, к их повышенному нагреву. При этом процессы сушки ЭИ всех частей обмоток статоров будут проходить, по сравнению с другими ТП, более равномерно. К недостаткам данных ТП следует отнести относительные сложности установок индукторов и регулирования процесса нагрева при неизменном напряжении питающей сети.

Индукционные ТП дают возможность улучшать качество ЭИ как частично разобранных ЭМ, так и в собранном виде. Эффективность таких ТП более очевидна для ЭМ, имеющих высокие массо-размерные показатели, так как в этих случаях не возникает особых трудностей установок индукторов. При этом компенсировать недостатки позволяет подключение индукторов к судовой сети через регулируемые источники напряжения, что дает возможность управлять режимами нагрева и обеспечивать требуемые характеристики ТП сушки ЭИ.

Сравнительный анализ ТП показал, что по временные затраты на индукционный ТП примерно в два раза меньше чем на конвекционный, энергетические затраты на индукционный ТП в четыре раза меньше чем на конвекционный.

Таким образом, к наиболее эффективным и универсальным по технологичности (равномерности нагрева, направлению градиента температуры, качеству, экономичности и электрической безопасности и др.) процессам повышения качества ЭИ в судовых условиях следует отнести индукционные ТП.

Подключение индукторов к сетям переменного напряжения номинальной частоты f_n , равной 50 Гц, ограничивает потери в активной стали ΔP_a сердечников статоров ЭМ. При проектировании ЭМ с целью получения максимальных КПД используются оптимальные пропорции потерь в стали и потерь в проводниках обмоток, составляющие во многих случаях примерное равенство. КПД ЭМ имеют достаточно высокие значения и достигают 0,95. Общие потери при этом находятся в пределах (5...15) % от номинальных значений мощностей, а потери в стали магнитопроводов – (3...7) % от номинальных мощностей. Следовательно, при ис-

пользовании индукционных ТП возможности получения больших значений тепловых потерь в стали магнитопроводов в режимах со значениями частот и напряжений, близкими к номинальным, имеют ограничения.

С целью повышения эффективности применения индукционных ТП возможно завышение расчетных характеристик индукторов и подключение их к регулируемым источникам несинусоидальных напряжений, что дает возможность оптимизаций процессов нагрева ЭМ при использовании одного индуктора. Наличие в кривых напряжений гармоник высших порядков увеличивает «положительные» потери в стали статоров, определяющие тепловые режимы. Если витки индукторов охватывают одновременно сердечники статоров ЭМ и станины, в ферромагнитных сердечниках будут выделяться тепловые потери, создающие температурные градиенты в ЭИ, направленные к поверхности обмоток, что способствует более эффективному удалению влаги из ЭИ, исключая «парниковые» эффекты, имеющие место при использовании внешних тепловых источников.

Так как при индукционных ТП индукторы охватывают одновременно несколько ферромагнитных элементов с различными характеристиками, необходимы исследования распределения тепловых потерь, результаты которых учитываются при расчетах характеристик индукторов.

В рассматриваемых случаях магнитные потоки обмоток индукторов содержат три основные составляющие: потоки $\Phi_{ш}$, пронизывающие шихтованные сердечники; магнитные потоки Φ_c , проходящие по станине; потоки рассеяния Φ_s . Все составляющие могут быть представлены электрическими схемами замещения, включающими по три элемента: индуктивность рассеяния L_s , включенную последовательно с активным сопротивлением обмотки индуктора R_w ; комплексное сопротивление $Z_{ш}$, учитывающее взаимодействие обмоток с сердечниками статоров; комплексное сопротивление Z_c , учитывающее взаимодействие обмоток со станинами. Станины изготавливаются, как правило, из сплошных ферромагнетиков и в них существенны влияния вихревых токов, намагничивающие силы которых в значительной мере ослабляют магнитные потоки, проходящие через станины ЭМ. Магнитные потоки $\Phi_{ш}$ в меньшей степени подвержены влияниям вихревых токов, так как сердечники ЭМ изготавливаются шихтованными. В общих случаях $\Phi_{ш} > \Phi_c$. Напряжение $U_{ш}$ и полная мощность $S_{ш}$, относящиеся к сопротивлению $Z_{ш}$, больше чем значения U_c и S_c , которые относятся к комплексному сопротивлению Z_c . При известных допущениях можно считать сопротивление Z_c линейным элементом, а сопротивление $Z_{ш}$ – нелинейным в режиме насыщения.

Таким образом, при неизменной частоте ($f = \text{const}$) и соизмеримых габаритах размерах шихтованных и сплошных магнитопроводов в комбинированных системах, большая часть тепловых потерь выделяется в шихтованных частях магнитопроводов.

При подключении индукторов через регулирующие элементы (РЭ) с широким спектром выходных напряжений формы кривых отличаются от синусоидальных тем больше, чем больше фазовые углы управления силовыми полупроводниковыми приборами (СПП). Действия несинусоидальных намагничивающих сил создают дополнительные положительные эффекты за счет появления гармонических составляющих повышенных частот.

С целью оценки потерь в статорах ЭМ при индукционных ТП улучшения качественных характеристик ЭИ необходимы исследования явлений гистерезисов и вихревых токов в шихтованных и сплошных частях магнитопроводов. Распределения магнитных потоков в сложных совмещенных сердечниках статоров зависят наряду с гармоническими составами намагничивающих токов и от стирания границ между характеристиками шихтованных и сплошных частей магнитопроводов с повышением частот.

Для решения поставленных актуальных задач представляются актуальными аналитические и экспериментальные исследования сложных систем «широкополосный источник питания – индуктор – магнитопровод» (ШИП–И–МП).

В третьей главе рассмотрены вопросы, связанные с аналитическими исследованиями, направленными на совершенствование ТП и улучшение качественных характеристик ЭИ судовых ЭМ. При разработке эффективных способов повышения качественных характеристик изоляции ЭМ целесообразно использование методов теории подобия и моделирования. В соответствии с поставленными задачами, на основе выполненного анализа к приоритетным следует отнести математическое моделирование, включающее схемы замещения из достаточно изученных элементов, позволяющие выполнять аналитические исследования необходимых физических процессов. Характерной особенностью схем замещения является их многообразие (отсутствие универсальности), обусловленное исследуемыми процессами.

ТП улучшения качественных характеристик ЭИ обмоток ЭМ представляет собой совокупность важных взаимосвязанных процессов: нагревов, зависящих от типов и мощностей источников тепловой энергии; распределений тепла (теплопереносов); удалений влаги из изоляций обмоток; полимеризации изоляционных материалов (лаков, эмалей и пр.) и др.

Исходя из поставленных задач, к приоритетным следует отнести исследование процессов выделения тепловых потерь при циклических перемагничиваниях ферромагнитных сердечников.

Динамическая модель статора при действии намагничивающих сил широкого спектра частот основывается на системе уравнений Максвелла.

Уравнения, записанные с учетом допущений, имеют следующий вид:

$$\left. \begin{aligned} \dot{H}_m &= 2A \operatorname{ch}(\alpha z); \dot{B}_m = \dot{B}_{m0} \operatorname{ch}(\alpha z); \dot{J}_m = -\frac{\dot{B}_{m0} \alpha}{\mu} \operatorname{sh}(\alpha z); \\ p_{\text{эм}} &= B_{\text{мсп}}^2 l h \frac{\omega}{4\mu} k^2 d^2 \frac{\operatorname{sh}(kd) - \sin(kd)}{\operatorname{ch}(kd) - \cos(kd)}; \\ R_s &= L_0 \frac{2\sqrt{\omega}}{a} \left(\frac{\operatorname{ch}(a\sqrt{\omega}) - \cos(a\sqrt{\omega})}{\operatorname{sh}(a\sqrt{\omega}) - \sin(a\sqrt{\omega})} \right); L_s = L_0 \frac{1}{a\sqrt{\omega}} \sqrt{\frac{2(\operatorname{ch}(a\sqrt{\omega}) - \cos(a\sqrt{\omega}))}{\operatorname{ch}(a\sqrt{\omega}) + \cos(a\sqrt{\omega})}}; \\ B_{\pm}(H) &= B_s \times \frac{H \pm H_c}{|H - H_c| + H_c \times \left(\frac{B_s}{B_r} - 1 \right)} + \mu_0 \times H; B(H) = \frac{B_+(H) + B_-(H)}{2}. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

В (1) H_m, B_m – амплитудные значения напряженности и индукции магнитного поля; B_{m0} – амплитуды магнитной индукции в середине листов; A, k – коэффициенты; α, a – параметры; z – координата; J_m – плотность тока; μ – магнитная проницаемость; l, h, d – геометрические размеры; ω – угловая скорость поля; R_3, L_3 – эквивалентные активное сопротивление и индуктивность намагничивающего контура; L_0 – индуктивность на постоянном токе без учета потоков рассеяния; B_s – индукция насыщения; H_c – коэрцитивная сила; B_r – остаточная индукция; μ_0 – магнитная проницаемость вакуума.

Описание процессов в комбинированных ферромагнитных магнитопроводах при намагничиваниях токами частот, отличающихся от номинальных, обнаружить не удалось.

При анализе процессов намагничиваний статоров токами широкого спектра частот важно проанализировать закономерности изменения параметров схем замещения при различных значениях частот.

Параметры R_3 и L_3 будут асимптотически стремиться к значениям, соответствующим

$$R_3 = \frac{2\sqrt{\omega}}{a} \quad L_3 = \frac{\sqrt{2}}{a\sqrt{\omega}}. \quad (2)$$

Таким образом, с увеличением частот индуктивности обмоток с массивными ферромагнитными сердечниками под действием вихревых токов уменьшаются, а активные сопротивления, учитывающие потери в сердечниках, возрастают.

Исследуемые эквивалентные параметры R_3 и L_3 во всем диапазоне изменения частот можно представить в следующем виде:

$$R_3 = \frac{R\omega^2 T^2}{1 + \omega^2 T^2}; \quad L_3 = \frac{L}{1 + \omega^2 T^2}. \quad (3)$$

В (3) T – постоянная времени ($T = L_3/R_3$).

Весь поток ферромагнитного сердечника можно разделить на составляющие, проходящие по частям сердечников магнитопроводов вдоль осей. Каждой части потоков Φ_i при постоянном токе соответствуют индуктивности L_i .

У составных частей магнитопроводов, расположенных ближе к осям, действие вихревых токов проявляется при меньших частотах, следовательно, они имеют меньшие значения постоянных времени T_i .

Для исследуемого диапазона частот схема замещения сплошной станины включает три последовательно соединенных LR -контур. На рисунке 1 представлена схема замещения, разработанная на основании выполненных исследований.

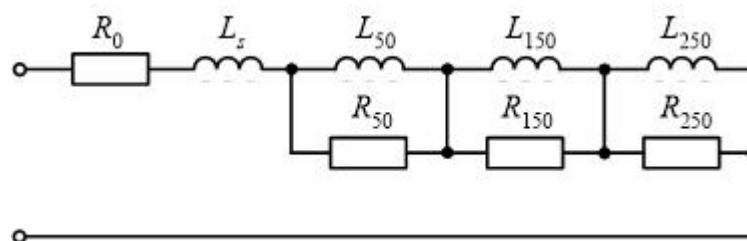


Рисунок 1 – Схема замещения станины с намагничивающей обмоткой при учете в кривых напряжений первой, третьей и пятой гармонических составляющих

В реальных ферромагнитных материалах формы петель гистерезисов изменяются с изменением частот перемагничивающих сигналов, что проявляется в нелинейных изменениях потерь в сердечниках магнитопроводов. Параметры моделей имеют сложные и не всегда очевидные связи с параметрами реальных магнитных материалов.

При аналитических исследованиях более обоснованными представляются варианты, в которых гистерезисные модели учитывают только основные параметры петель магнитных гистерезисов (индукции B_s и B_r , коэрцитивные силы H_c).

Петли магнитных гистерезисов образуются при циклических изменениях напряженностей H внешних полей. После ряда одинаковых циклов изменений полей, изменения индукций B образуют замкнутые предельные петли гистерезисов при условиях стремления максимальных напряженностей H_m магнитных полей в сердечниках к напряженностям насыщений H_s . Восходящие и нисходящие участки предельных петель гистерезисов из (1) моделируются при помощи выражения

$$B_{\pm}(H) = B_s \times \frac{H \pm H_c}{|H - H_c| + H_c \times \left(\frac{B_s}{B_r} - 1 \right)} + \mu_0 \times H. \quad (4)$$

Знак «+» в выражении (4) справедлив для восходящих участков предельных потерь гистерезисов, а «-» – для нисходящих.

Начальная кривая намагничивания моделируется выражением из (1)

$$B(H) = \frac{B_+(H) + B_-(H)}{2}. \quad (5)$$

Наряду с параметрами петель гистерезисов при аналитических исследованиях учитываются линейные размеры магнитопроводов и количество витков намагничивающих обмоток.

Анализ результатов моделирования показывает, что в ряде случаев недостаточно введение справочных данных. Для получения соответствий в допустимых пределах целесообразно использование симуляторов LTspice, имеющих возможности подстройки параметров. В этих случаях достигается удовлетворительная сходимость результатов исследований как предельных, так и частных циклов.

На рисунке 2 представлена схема замещения нелинейного элемента, учитывающая явление гистерезиса в шихтованном магнитопроводе ЭМ.

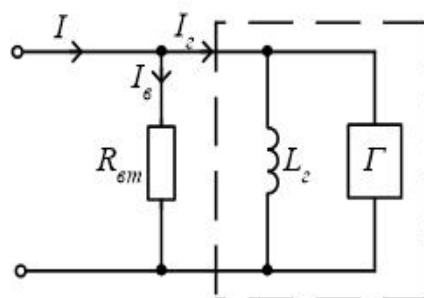


Рисунок 2 – Схема замещения нелинейного элемента, учитывающая явление гистерезиса

Общие схемы замещений при создании результирующих аналитических моделей магнитных и электрических цепей систем «статор – намагничивающая

обмотка» (С–НО) должны учитывать все рассмотренные ранее явления в системе «индуктор – намагничивающая обмотка» (И–НО).

На рисунке 3 представлена схема, учитывающая физические процессы при наличии во входных напряжениях спектров гармонических составляющих.

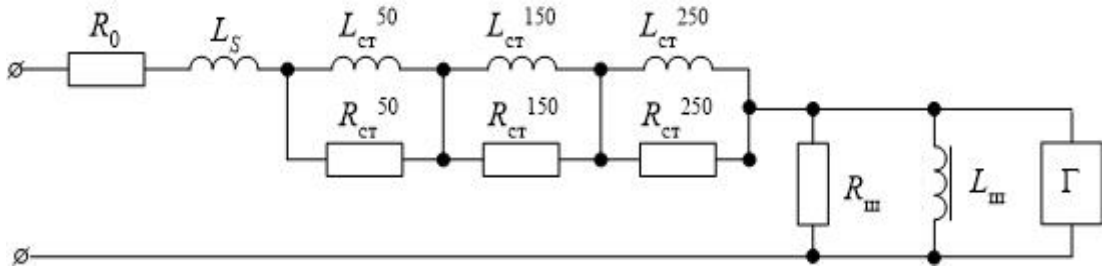


Рисунок 3 – Результирующая схема замещения системы И–НО

На рисунке 4 представлена схема моделирования в симуляторе LT Spice

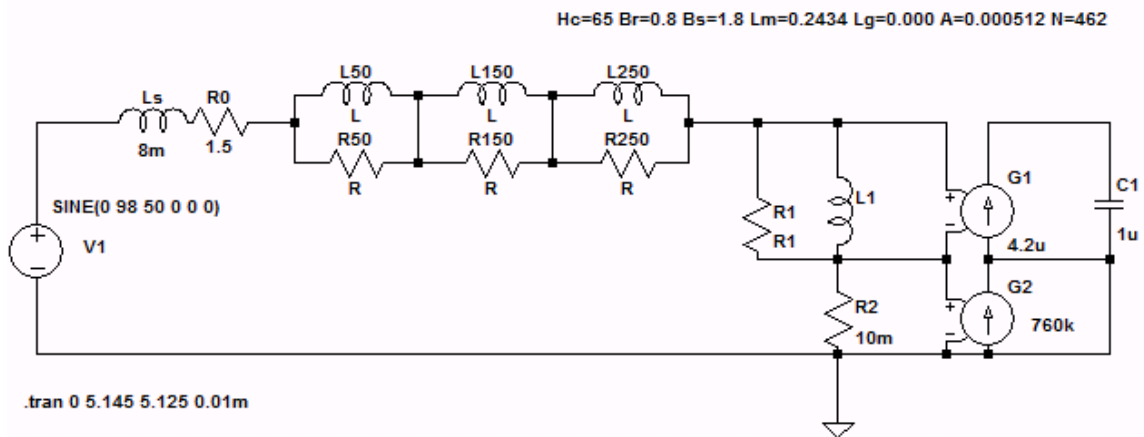


Рисунок 4 – Схема моделирования в симуляторе LT Spice

По полученным в результате аналитических исследований моделям выполнены расчеты и анализ распределения потерь в комбинированных магнитопроводах при питании индукторов напряжениями различных частот и несинусоидальными регулируемым напряжениями от полупроводниковых регуляторов (ППР).

Четвертая глава посвящена экспериментальным исследованиям процессов, происходящим в объектах в пределах поставленных задач.

Исходя из теории подобия физические модели должны воспроизводить процессы в магнитопроводах ЭМ с целью определения тепловых потерь как в отдельных частях магнитопроводов, так и в их совокупности при воздействии намагничивающих сил с различными значениями амплитуд, частот и др. при индукционных ТП улучшения качественных характеристик ЭИ обмоток ЭМ.

На рисунке 5 представлена схема разработанной и изготовленной экспериментальной установки.

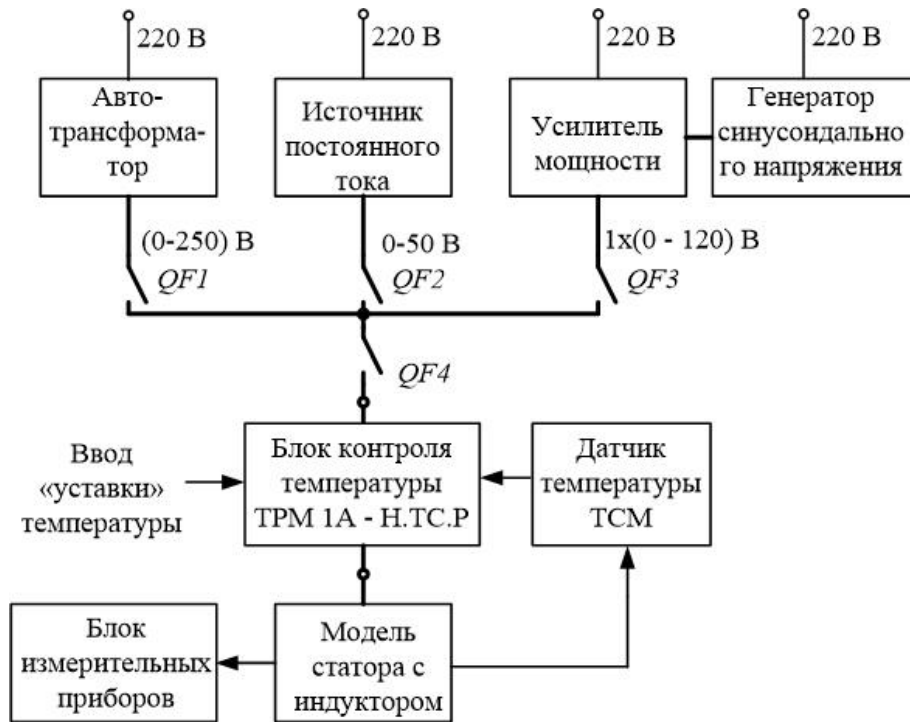


Рисунок 5 – Функциональная схема экспериментальной установки

Разработанная и изготовленная экспериментальная установка позволяет проводить широкий круг научных исследований сложных неоднородных магнитных систем на реальных машинах и физических моделях.

Блок ТРМ 1А-Н.Т.С.Р (рисунок 5) предназначен для управления и контроля температур нагрева магнитопроводов. Регулирование температуры реализуется по двухпозиционному (релейному) закону с отображением текущих значений температур на цифровом индикаторе. С помощью совокупности источников питания задаются варианты режимов намагничивания сердечников до участков насыщения. Если в течение определенных необходимых промежутков времени температуры нагрева магнитопроводов не достигают квазиустановившихся значений, мощности потерь корректируются регулированием напряжений индуктора посредством регулятора. Регулируемые источник постоянного тока и генератор синусоидального напряжения, автотрансформатор и усилитель мощности используются для определения констант и переменных физических моделей и формирования исследуемых электромагнитных процессов.

Необходимые и достаточные измерительные средства, входящие в состав экспериментальной установки, позволяют исследовать в широком диапазоне частот (от постоянного тока до переменного частотой, составляющей единицы килогерц) индукции B_k и напряженности H_k на кривых динамических циклов, амплитудные значения индукций B_m и напряженностей магнитных полей H_m , индукции B_r , коэрцитивные силы H_c , коэффициенты прямоугольностей, намагничивающие силы F и активные потери в сталях ΔP_{cm} , частные динамические циклы и др.

Объектом исследований принята физическая модель статора ЭМ состоящая из шихтованной и нешихтованной части (станины), которые совместно представляют комбинированную модель магнитопровода (рисунок 6), исследованную аналитически.

По результатам исследований на экспериментальной установке (рисунок 7) построена характеристика $U = f(I)$ (рисунок 8), включающая три характерных участка: квазилинейный (А-В) начального режима намагничивания; нелинейный (Б-Г) последующего процесса намагничивания; квазилинейный (Г-Д), соответствующий режиму насыщения магнитной системы. Точка В соответствует средне-квадратическому значению напряжения U , приложенному к индуктору (82 В), при токе в обмотке $I_{об}$, равном 0,22 А.



Рисунок 6 – Физическая модель статора



Рисунок 7 – Экспериментальная установка для определения параметров модели

Анализ полученной экспериментально характеристики $U = f(I)$ (рисунок 8) позволяет сделать вывод о том, что активная мощность, потребляемая индуктором, в большей степени возрастает при увеличении значений тока $I_{об}$ до 0,22 А. При дальнейшем увеличении тока возрастание потребляемой индуктором мощности замедляется.

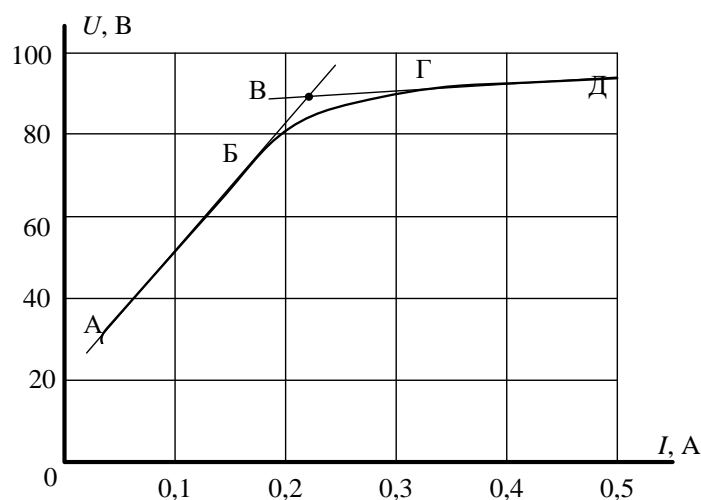
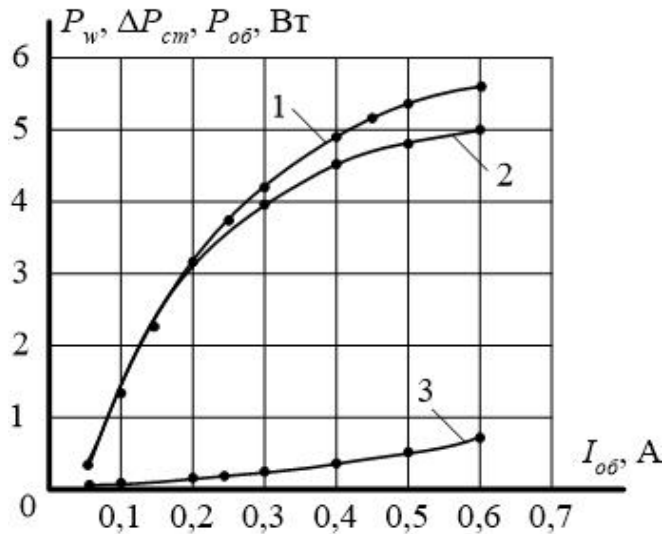


Рисунок 8 – Экспериментальная вольтамперная характеристика $U = f(I)$ исследуемого магнитопровода ЭМ

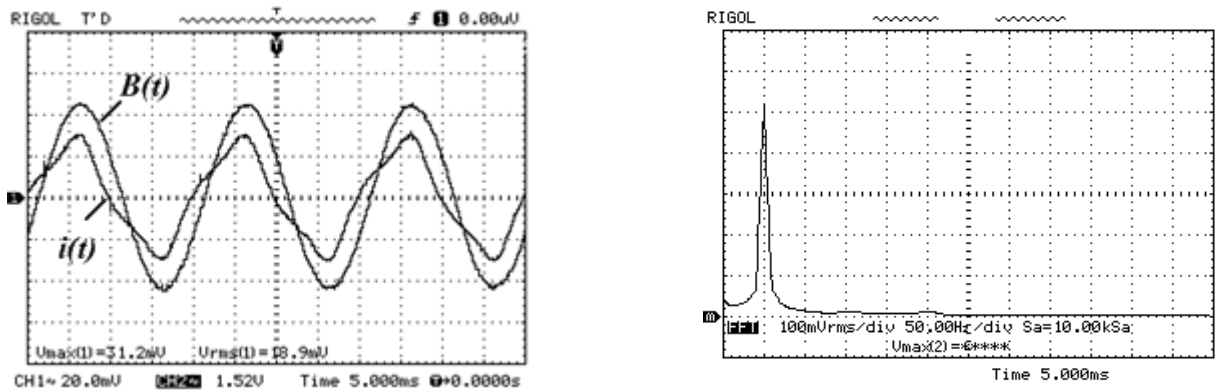
По результатам физических моделирований рассчитаны зависимости $P_{об} = f(I_{об})$, $\Delta P_{ст} = f(I_{об})$ и $P_w = f(I_{об})$, построены графики, представленные на рисунке 9.



1 – активная мощность P_w , потребляемая намагничивающей обмоткой; 2 – потери $\Delta P_{ст}$ в стали (магнитопроводе); 3 – потери $P_{об}$ в проводниках обмотки

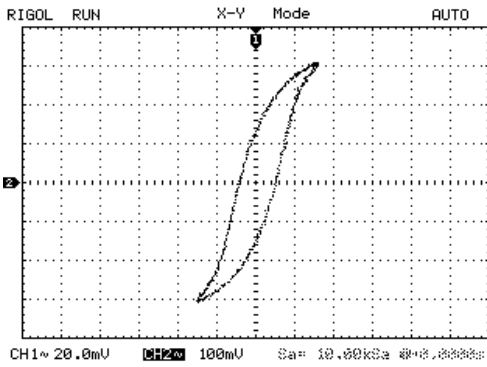
Рисунок 9 – Зависимости составляющих ($P_{об}$, $\Delta P_{ст}$) и результирующей активной мощности (P_w) от намагничивающего тока обмотки $I_{об}$

В пределах линейного участка кривой намагничивания определены параметры намагничивания элементов модели, сплошного и шихтованного, на различных частотах. Получены петли гистерезиса, кривые тока, магнитной индукции и мгновенной мощности, показанные на рисунках 10 – 13.



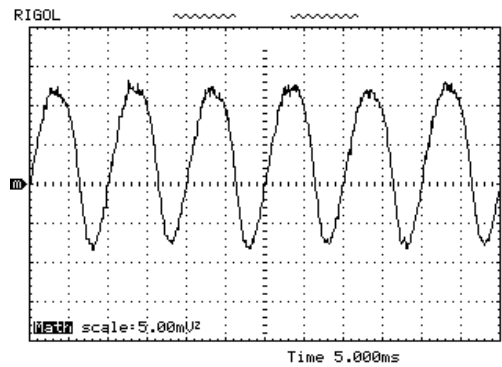
Масштабы: $i = 0,2$ А/дел; $B = 0,625$ Тл/дел Масштабы: $B = 0,2$ Тл/дел; $f = 50$ Гц/дел

Рисунок 10 – Графики зависимостей $i(t)$, $B(t)$ и спектрального анализа кривой магнитной индукции $B(f)$ для шихтованного магнитопровода

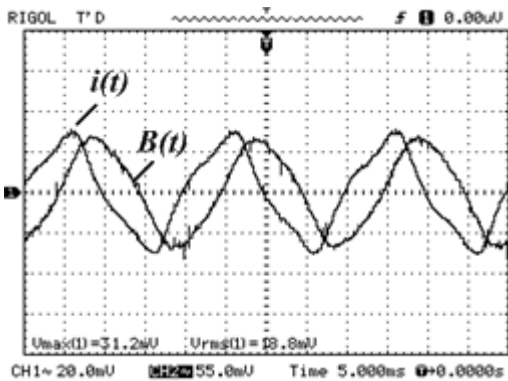


Масштабы $H = 400$ А/дел; $B = 0,4$ Тл/дел

Рисунок 11 – Экспериментально полученные форма «петли» гистерезиса $B_m(H_m)$ для шихтованного магнитопровода и осциллограмма зависимости $p = f(t)$

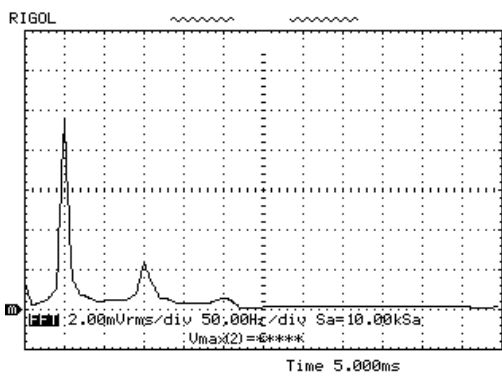


Масштаб: $p = 4$ Вт/дел

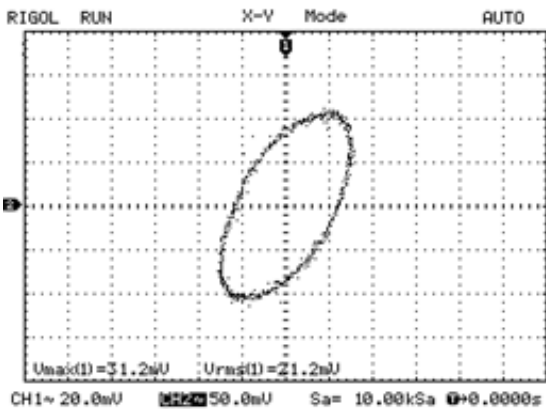


Масштабы: $i = 0,2$ А/дел; $B = 4$ мТл/дел

Рисунок 12 – Графики зависимостей $i(t)$, $B(t)$ и спектрального анализа кривой магнитной индукции $B(f)$ для сплошного магнитопровода

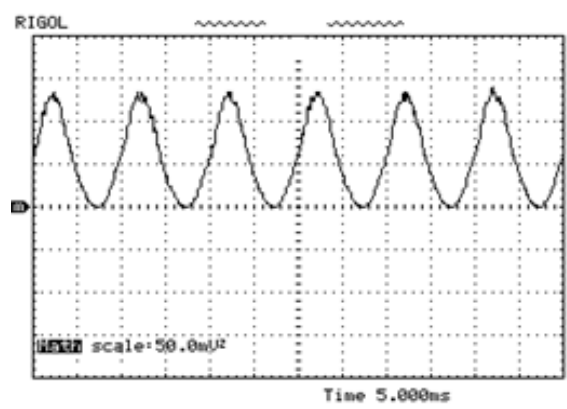


Масштабы: $B = 1$ мТл/дел; $f = 50$ Гц/дел



Масштабы: $H = 400$ А/дел; $B = 0,05$ Тл/дел

Рисунок 13 – Экспериментально полученные «петли» гистерезиса $B_m(H_m)$ и осциллограмма зависимости $p = f(t)$ для сплошного магнитопровода



Масштаб $p = 0,475$ Вт/дел

По результатам выполнено разделение потерь в шихтованном магнитопроводе, определены коэффициенты гистерезиса K_z и вихревых токов $K_{вт}$. Получено распределение потерь при появлении гармонических составляющих высших частот в питающем напряжении.

Анализ распределения потерь в модели статора показал, что при увеличении частоты тока в индукторе суммарные потери перераспределяются, возрастают потери, связанные с вихревыми токами, и уменьшаются потери, связанные с гистерезисом. На рисунке 14 показаны относительные изменения составляющих потерь, полученные в результате выполненных исследований.

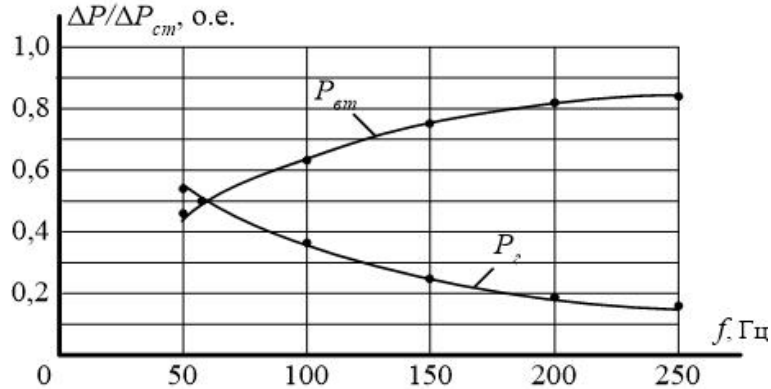


Рисунок 14 – Относительное изменение составляющих потерь

На основе представленной установки автором разработано устройство для эффективного повышения качества ЭИ, которое защищено свидетельством и патентом на полезную модель.

Функциональная схема устройства для эффективного повышения качества ЭИ, показана на рисунке 15.

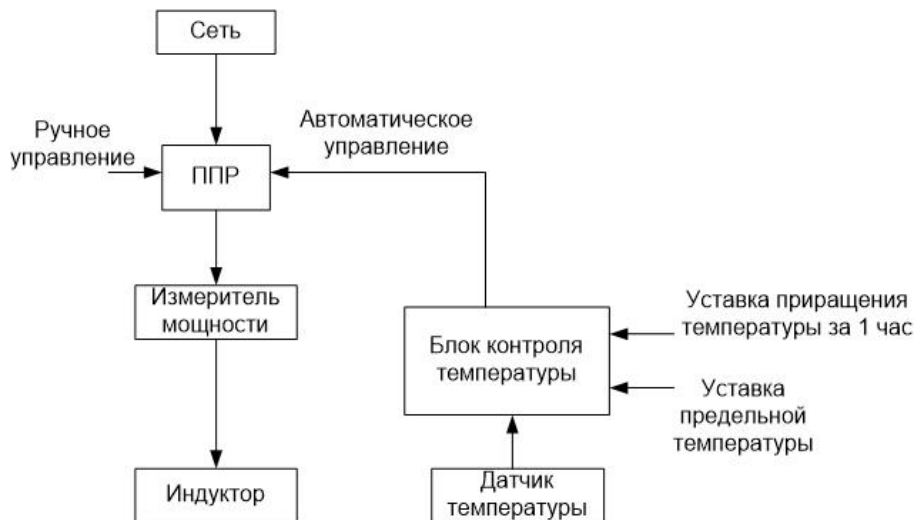
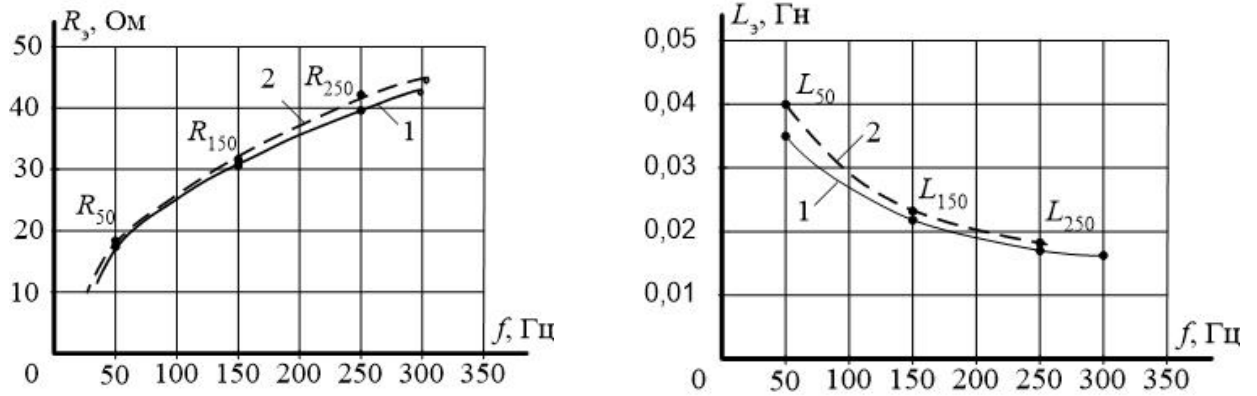


Рисунок 15 – Функциональная схема устройства для эффективного повышения качества ЭИ

В пятой главе выполнен сравнительный анализ результатов аналитических и экспериментальных исследований.

На рисунке 16 представлены зависимости активного сопротивления R_s и индуктивности L_s намагничивающего контура от частоты f



1 – теоретические зависимости $R_3(f)$ и $L_3(f)$; 2 – экспериментальные кривые $R_3(f)$, $L_3(f)$

Рисунок 16 – Зависимости активного сопротивления R_3 и индуктивности L_3 намагничивающего контура от частоты f

Выполненный сравнительный анализ результатов аналитических и экспериментальных исследований показал, что полученные погрешности находятся в пределах от $-0,42\%$ (для $\Delta R_{3,150}$) до $-14,29\%$ (для $\Delta L_{3,50}$). Наибольшие значения погрешностей при исследованиях объясняются относительными неточностями справочных данных, использованных в качестве исходных при математических моделированиях в сравнении с реальными параметрами физической модели, (в частности, магнитной проницаемости μ).

В результате моделирования получены графики и значения мощностей потерь на вихревые токи и гистерезис в шихтованном магнитопроводе показанные на рисунке 17.

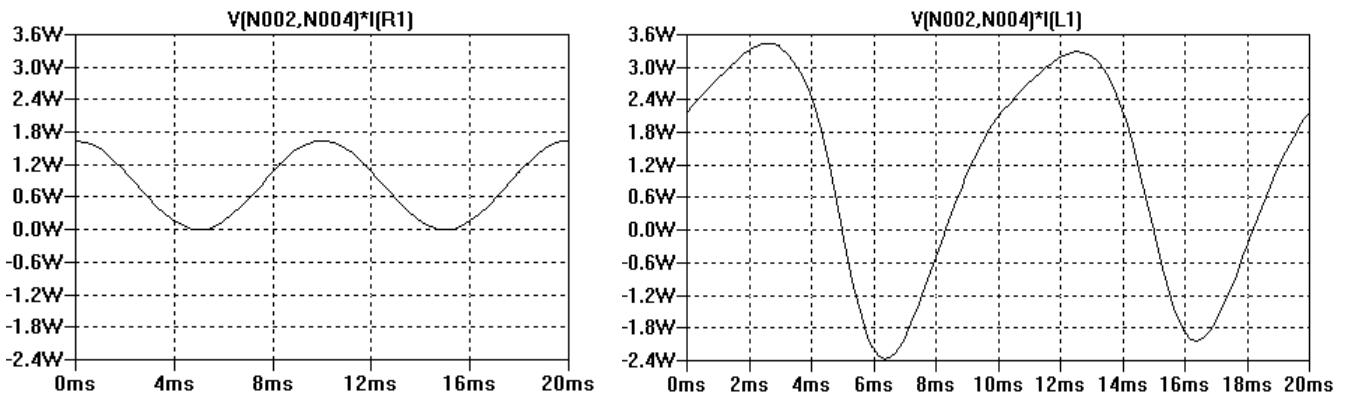


График кривой мощности, учитывающей вихревые токи, $P_{em} = 0,82$ Вт

График кривой мощности учитывающей гистерезис, $P_2 = 1,06$ Вт

Рисунок 17 – Результаты моделирования шихтованного магнитопровода

Полученные результаты позволяют сделать вывод об их удовлетворительной сходимости и приемлемой адекватности представленных разработанных моделей, предназначенных для исследований в пределах поставленных задач.

По результатам совокупности выполненных исследований предложена методика ТП улучшения качественных характеристик ЭИ, алгоритм которой представлен на рисунке 18.

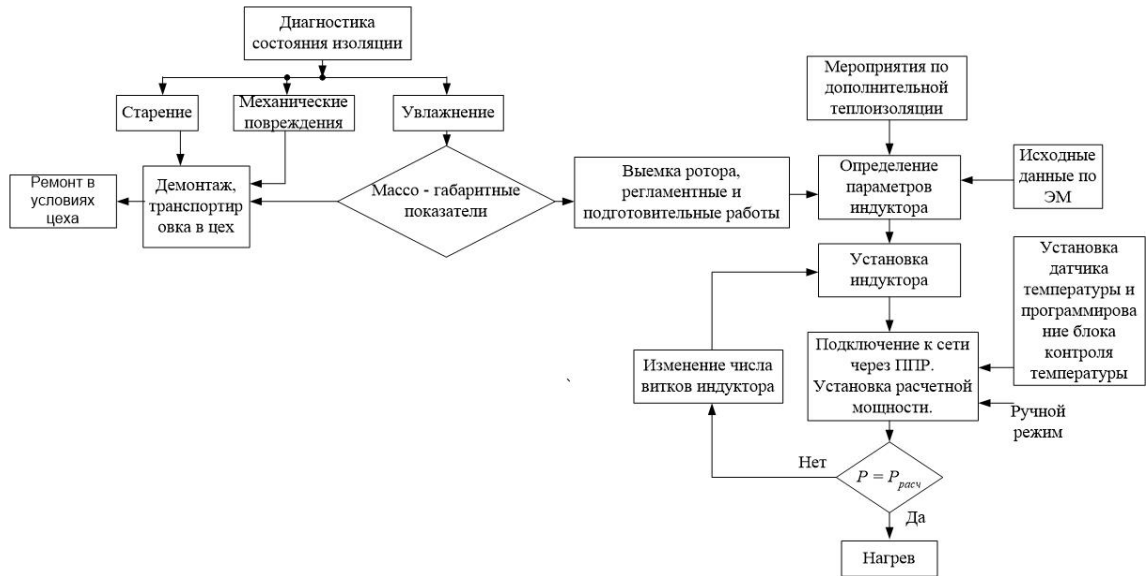


Рисунок 18 – Алгоритм ТП улучшения качественных характеристик ЭИ

Предварительно параметры индуктора определяются по диаграмме, представленной на рисунке 19, которая построена на основании теоретических и экспериментальных исследований.

Способ установки индуктора показан на рисунке 20.

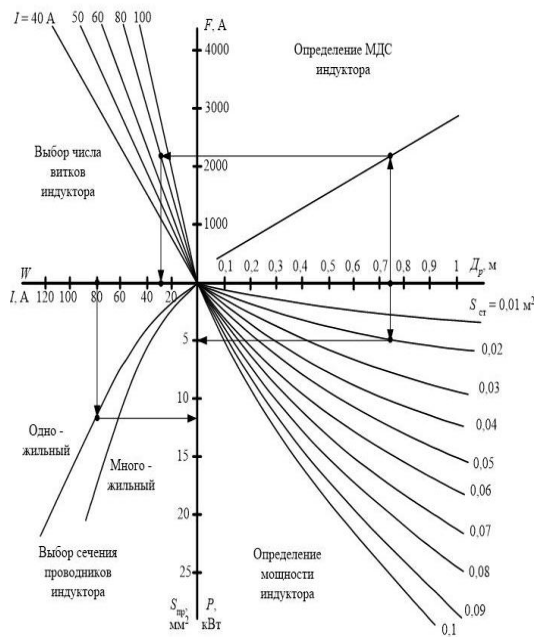


Рисунок 19 – Номограммы расчета индуктора



Рисунок 20 – Статор ЭМ с установленным индуктором, подключенным к ППР

Предложенная методика отличается от известных более высокими технико-экономическими показателями ТП, заключающимися, при прочих равных условиях, в уменьшении времени улучшения качественных характеристик ЭИ обмоток ЭМ и сравнительно низком потреблении ЭЭ, универсальностью, обусловленной возможностью применения как в заводских (береговых) условиях, так и в судовых.

Заключение содержит основные результаты теоретических и экспериментальных исследований, выполненных на основании обобщенного мониторинга эксплуатации, системного анализа, синтеза и сравнительных оценок, направленных на совершенствование ТП повышения качественных характеристик ЭИ обмоток, относящихся к определяющим факторам эффективности ТЭ судовых ЭМ.

В соответствии с поставленными задачами получены следующие основные результаты:

1. Определено на основании анализа опыта ТЭ ЭО при выполнении ремонтных работ предприятием «Дальремсервис-Плюс» в течение 10 лет, что важная эксплуатационная характеристика – качество изоляции ЭО, является наиболее уязвимой от воздействия окружающей среды. До 40% случаев выхода из строя ЭМ в связаны с нарушениями технических характеристик изоляционных слоев их обмоток.

2. Выполнен анализ научно-технических мероприятий, направленных на улучшение качества изоляции ЭО, в том числе обмоток ЭМ в судовых условиях, без их демонтажа. Для сушки изоляции наиболее эффективным представляется применение индукционного нагрева.

3. Выполнено исследование распределения тепловых потерь в элементах ЭМ при индукционном способе улучшения качества изоляции, определены возможные источники тепловой энергии. Установлено что основными источниками тепла являются шихтованные магнитопроводы.

4. Определены составляющие тепловых потерь от вихревых токов и гистерезисов. Так как шихтовка магнитопроводов выполняется для уменьшения тепловых потерь при номинальных параметрах, сделан вывод, что для повышения эффективности нагрева параметры питающих напряжений индукторов должны отличаться от номинальных значений.

5. Предложено для питания индукторов применять регулируемые источники несинусоидального напряжения. Такое решение позволяет компенсировать погрешности расчетов параметров индукторов регулированием, а так же повышать эффективность нагрева за счет появления гармонических составляющих высших порядков. На данное решение получено свидетельство и патент на полезную модель.

6. Разработана математическая модель для исследования предложенного варианта нагрева элементов ЭМ, получены схемы замещения элементов статора, разработана компьютерная модель в симуляторе LT Spice, которая позволяет оценивать суммарные потери и их распределение при различных исходных данных.

7. Проведены экспериментальные исследования комбинированной модели статора ЭМ, определены потери в элементах модели при воздействии намагничивающих сил различных частот, определяющих спектральный состав несинусоидальных намагничивающих сил. Сравнительный анализ проведенных аналитических и экспериментальных исследований показал удовлетворительную сходимость результатов.

8. Предложена методика индукционного ТП для улучшения характеристик изоляции обмоток ЭМ, отличающаяся от известных повышенной эффективностью удаления влаги из пазовых изоляций, относительно низком потреблении ЭЭ

и возможностью применения на месте установки ЭМ без их демонтажа. Предусмотрена возможность автоматизированного поддержания режима нагрева. Данная методика апробирована и внедрена, что подтверждается шестью актами внедрения.

Таким образом, при внедрении в ТП разработанных и технически реализованных на основе выполненных исследований мероприятий, улучшаются технико-экономические показатели судовых ЭМ, комплексно повышающие эффективность ТЭ судового ЭО.

Публикации по теме диссертации. Список основных работ по теме диссертации включает 28 основных публикаций.

Рецензируемые научные журналы и издания перечня ВАК:

1. Николаев, Д. С. Индукционная сушка электрических машин несинусоидальным током повышенной частоты / Д. С. Николаев, В. Н. Юрин // Транспортное дело России : спец. вып. – М. : Московская правда. – 2005. – № 3. – С. 94-97.

2. Бурков, А. Ф. Развитие электротехники в XVIII веке / А. Ф. Бурков, В. Н. Юрин // Транспортное дело России. – М. : Московская правда. – 2006. – № 12. – Ч. 2. – С. 12-15.

3. Юрин, В. Н. Моделирование статора электрической машины с наложенным индуктором при помощи симулятора LTSPICE / В. Н. Юрин // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2015. – № 2. – С. 211-214.

4. Юрин, В. Н. Распределение тепловых потерь в статоре электрической машины при индукционном нагреве / В. Н. Юрин // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2015. – № 3. – С. 182-184.

5. Бурков, А. Ф. Анализ опыта эксплуатации электрических машин / А. Ф. Бурков, В. Ф. Веревкин, В. Н. Юрин // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2017. – №1-2. – С. 174-177.

Монографии:

6. Бурков, А. Ф. Теория, методы и средства улучшения качественных характеристик изоляций электрических машин / А. Ф. Бурков, Д. С. Николаев, Н. П. Сологуб, В. Н. Юрин. – Владивосток : Мор. гос. ун-т им. адм. Г. И. Невельского, 2016. – 131 с.

Авторские свидетельства и патенты:

7. Свид. на полезную модель 10017 Российская Федерация, МПК 6 Н 02 К 15/12. Устройство для восстановления сопротивления изоляции статоров электрических машин / Юрин В. Н. ; заявитель и обладатель свидетельства Дальневост. гос. мор. акад. им. адм. Г. И. Невельского – № 98101291/20 ; заявл. 26.01.98 ; опубл. 16.05.1999, Бюл. № 5.

8. Патент на полезную модель 124997 Российская Федерация, МПК Н 02 К 15/12 (2006.01). Устройство для повышения сопротивления изоляции статоров электрических машин / Юрин В. Н. ; заявитель и патентообладатель Морск. гос. ун-т им. адм. Г. И. Невельского – № 2012129807/07 ; заявл. 13.07.2012 ; опубл. 20.02.2013, Бюл. № 5.

Другие наиболее значимые публикации:

9. Сологуб, Н. П. Устройство индукционной сушки изоляции статоров крупных асинхронных и синхронных электрических машин / Н. П. Сологуб,

С. В. Чистяков, В. Н. Юрин. – Владивосток, 1991. – [4] с. – (Информ. листок о науч.-техн. достижении / Приморский ЦНТИ; № 184–91).

10. Разработка технического задания на устройство индукционной сушки крупных электрических машин в условиях судна : отчет о НИР / Дальневост. гос. морская академия (ДВГМА); рук. Сологуб Н. П. ; исп. : Николаев Д. С., Чистяков С. В., Шаталов В. В., Юрин В. Н. – Владивосток, 1991. – 32 с. – № ГР 01900048547. – Инв. № 02920008513

11. Николаев, Д. С. Индукционная сушка электрических машин / Д. С. Николаев, В. Н. Юрин // Морской транспорт. Сер. Судоремонт. – М. : Мортехинформреклама, 1996. – Вып. 1 (692) – 2 (693). – С. 1-3.

12. Николаев, Д. С. Индукционный метод нагрева ферромагнитных магнитопроводов несинусоидальным током / Д. С. Николаев, В. Н. Юрин // Радиоэлектроника, электроавтоматика и электроэнергетика : тез. докл. XXXVI науч.-техн. конф. – Владивосток : ДВГТУ, 1996. – С. 4-5.

13. Николаев, Д. С. Индукционная сушка электрических машин несинусоидальным током / Д. С. Николаев, В. Н. Юрин // XXXIX Всесоюз. межвуз. научн. техн. конф. : сб. докл. – Владивосток : ТОВВМУ, 1996. – С. 67-68.

14. Кравчук, А. А. Влияние гармоник переменного тока на потери в стали / А. А. Кравчук, Д. С. Николаев, В. Н. Юрин, Н. Н. Юрина // Морское образование на Дальнем Востоке. Современное состояние и перспективы развития : тез. докл. науч.-техн. конф. – Владивосток : ДВГМА, 1996. – С. 76-77.

15. Николаев, Д. С. Измерение магнитных потерь в стали / Д. С. Николаев, В. Н. Юрин // XXXX Всесоюз. межвуз. науч.-техн. конф. : тез. докл. – Владивосток : ТОВВМУ, 1997. – Т. 1. – С. 78-79.

16. Николаев, Д. С. Исследование магнитных потерь в тороидальном ферромагнитном магнитопроводе при действии несинусоидальной м.д.с. / Д. С. Николаев, В. Н. Юрин // XXXX Всесоюз. межвуз. науч.-техн. конф. : тез. докл. – Владивосток : ТОВВМУ, –1997. – Т. 1. – С. 18.

17. Николаев, Д. С. Потери в стали при фазовом регулировании намагничивающего тока / Д. С. Николаев, В. Н. Юрин, Н. Н. Юрина // Проблемы развития морского транспорта на Дальнем Востоке : тез. докл. межвуз. науч.-техн. конф. 14-16 мая 1997г. / Мин-во транспорта РФ ; ДВГМА. – Владивосток : ДВГМА, 1997. – С. 26-27.

18. Николаев, Д. С. Электронный ваттметр / Д. С. Николаев, В. Н. Юрин // Проблемы развития морского транспорта на Дальнем Востоке : тез. докл. межвуз. науч.-техн. конф. 14-16 мая 1997г. / Мин-во транспорта РФ ; ДВГМА. – Владивосток : ДВГМА, 1997. – С. 14-15.

19. Юрин, В. Н. Анализ схемы замещения магнитопровода электрической машины при индукционной сушке / В. Н. Юрин // Вологдинские чтения. Электротехника : тез. докл. науч.-техн. конф. – Владивосток : ДВГТУ, 1998. – С. 35-36.

20. Юрин, В. Н. Математическая модель катушки с ФМС, учитывающая потери на вихревые токи и гистерезис / В. Н. Юрин, Н. Н. Юрина // Вологдинские чтения. Электротехника. Радиоэлектроника и приборостроение : мат. науч. конф. – Владивосток : ДВГТУ, 2000. – С. 14-16.

21. Николаев, Д. С. Влияние формы намагничивающего тока на потери в статоре электрических машин / Д. С. Николаев, В. Н. Юрин // Электроэнергетика и энергосберегающие технологии : сб. науч. тр. – Владивосток : ДВГТУ, 1998. – С. 107-111.

22. Юрин, В. Н. Анализ потерь в ФМС при помощи компьютерного моделирования / В. Н. Юрин // Вологдинские чтения. Электротехника. Радиоэлектроника и приборостроение : мат. науч. конф. – Владивосток : ДВГТУ, 2000. – С. 22.

23. Оптимизация процесса сушки электрических машин индукционным методом : отчет о НИР / Дальневост. гос. Морск. акад. (ДВГМА); рук. Николаев Д. С. ; исп. : Юрин В. Н., Юрина Н. Н. – Владивосток, 2001. – 24 с. – № ГР 01970009699. – Инв. № 02200106737.

24. Юрин, В. Н. Установка для экспериментального определения магнитных характеристик ферромагнитных материалов при различных частотах намагничивающего тока / В. Н. Юрин // Вологдинские чтения. Радиоэлектроника, информатика, электротехника : мат. науч. конф. – Владивосток : ДВГТУ, 2001. – С. 47-48.

25. Кувшинов, Г.Е. Моделирование электромагнитных процессов в катушке с ферромагнитным сердечником / Г. Е. Кувшинов, Д. В. Радченко, В. Н. Юрин // Исследования по вопросам повышения эффективности судостроения и судоремонта. Вып. № 42. – Владивосток : ДВГТУ, 2002. – С. 173-177.

26. Юрин, В. Н. Стенд для исследования характеристик магнитных материалов сердечников электрических машин и трансформаторов для оптимизации параметров сушки изоляции индукционным методом / В. Н. Юрин // Вологдинские чтения. Радиоэлектроника, информатика, электротехника : мат. юбил. науч. конф. – Владивосток : ДВГТУ, 2009. – С. 123-124.

27. Кувшинов, Г. Е. Применение однофазного инвертора для сушки статора электрической машины переменного тока / Г. Е. Кувшинов, А. М. Ханнанов, В. В. Шаталов, В. Н. Юрин // Вологдинские чтения. Радиоэлектроника, информатика, электротехника : мат. юбил. науч. конф. – Владивосток : ДВГТУ, 2009. – С. 120-121.

28. Юрин, В. Н. Исследования процессов в комбинированной магнитной системе / В. Н. Юрин // Проблемы транспорта Дальнего Востока : 10-я Междунар. науч.-практ. конф., Владивосток, 2-4 окт. 2013 г. – Владивосток : ДВО Рос. Акад. трансп., 2013. – С. 22-24.