

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

НАУКА ТЕХНОЛОГИИ ИННОВАЦИИ

**Сборник
научных трудов**

**г. Новосибирск, 03-07 декабря 2018 г.
в 9-и частях**

Часть 5

НОВОСИБИРСК
2018

УДК 62(063)
ББК 72.5я431
Н34

Н34 НАУКА. ТЕХНОЛОГИИ. ИННОВАЦИИ //Сборник научных трудов в 9 ч. / под ред. Гадюкиной А.В. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2018. – Часть 5. – 259 с.

ISBN 978-5-7782-3733-9
Ч.5: ISBN 978-5-7782-3738-4

В сборнике публикуются материалы по научным направлениям:
«Энергетика»

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

Председатель Оргкомитета:

Батаев А.А., д.т.н., профессор, ректор НГТУ

Зам. председателя Оргкомитета:

Вострецов А.Г., д.т.н., профессор, проректор по научной работе НГТУ
Филатова С.Г., к.т.н., доцент, директор ИТЦ

Программный комитет:

Драгунов В.П., д.т.н., профессор, начальник ОПК ВК
Корель И.И., к.ф.-м.н., доцент, декан ФТФ
Осьмук Л.А., д.социол.н., профессор, директор ИСТР
Рева И.Л., к.т.н., доцент, декан АВТФ
Ромм М.В., д.ф.н., профессор, декан ФГО
Саленко С.Д., д.т.н., профессор, декан ФЛА
Тимофеев В.С., д.т.н., доцент, декан ФПМИ
Хайруллина М.В., д.э.н., профессор, декан ФБ
Хрусталева В.А., д.т.н., профессор, декан РЭФ
Вильбергер М.Е., к.т.н., доцент, декан ФМА
Янпольский В.В., к.т.н. доцент, декан МТФ
Чернов С.С., к.э.н. доцент, декан ФЭН

УДК 62(063)
ББК 72.5я431

ISBN 978-5-7782-3738-4 (Часть 5)
ISBN 978-5-7782-3733-9

© Коллектив авторов, 2018
© Новосибирский государственный
технический университет, 2018

**НАУЧНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ– ЭЛЕКТРОТЕХНИКА,
ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ**

**Секция ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ
СИСТЕМЫ. ТЕХНИЧЕСКАЯ ЭКОЛОГИЯ**

**ПЛАЗМЕННАЯ ЭЛЕКТРОПЕЧЬ ДЛЯ ГАЗИФИКАЦИИ
ТВЁРДЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ**

В.Р.Бауэр, А.С. Аньшаков

**Новосибирский государственный технический университет
г. Новосибирск, vladbauehr1995@gmail.com**

В данной работе проведены исследования плазменной газификации органических отходов. Представлены результаты исследования электродугового плазмотрона, приведены вольт-амперные характеристики. Приведено описание экспериментального стенда и плазменной электропечи для исследования газификации твёрдых органических отходов. На основании проведенных исследований сделаны выводы о достоверности расчётных и экспериментальных результатов и целесообразности использования плазменных электропечей для газификации органических отходов.

In this paper, studies of plasma gasification of organic waste. The results of the study of the electric arc plasma torch are presented, the current-voltage characteristics are presented. A description of the experimental stand and plasma electric furnace for the study of gasification of solid organic waste. On the basis of the conducted research, conclusions were drawn about the reliability of the calculated and experimental results and the feasibility of using plasma electric furnaces for the gasification of organic waste.

В мире ежегодно происходит рост твёрдых коммунальных отходов. В развитых странах на одного жителя ежегодно образуется от 300 до 750 кг коммунальных и от 1000 до 2500кг промышленных отходов. Всё более и более возрастающие объёмы отходов приводят к поиску новых более эффективных способов их переработки. На смену открытым полигонам и земляным насыпкам при эксплуатации которых происходит экологическое загрязнение окружающей среды, приходят термические способы переработки: сжигание; пиролиз; газификация.

В настоящее время переработка/утилизация отходов с помощью плазменной технологии является одной из максимально безопасных способов. По всему миру насчитывается всего несколько небольших заводов, тестирующих плазменную технологию, основной недостаток которой – незначительный ресурс работы электродов плазмотронов (до 100-300 ч). В России плазменные установки для утилизации отходов не

используют, но существуют единичные экземпляры экспериментальных образцов плазменных установок для переработки различной степени опасности отходов.

В институте теплофизики СО РАН были проведены экспериментальные исследования плазменной печи для переработки органических отходов. На рисунке 1 приведена схема экспериментальной плазменно-термической установки производительностью до 20 кг/час, предназначенной для отработки технологии высокотемпературной (плазменной) газификации возобновляемых углеродсодержащих отходов различного происхождения (опилки, ветошь, полиэтилен). По результатам исследований экспериментальной установки будут разрабатываться рекомендации по созданию опытно-промышленных и промышленных установок по переработке органических материалов и отходов, для решения экологических и энергетических проблем.

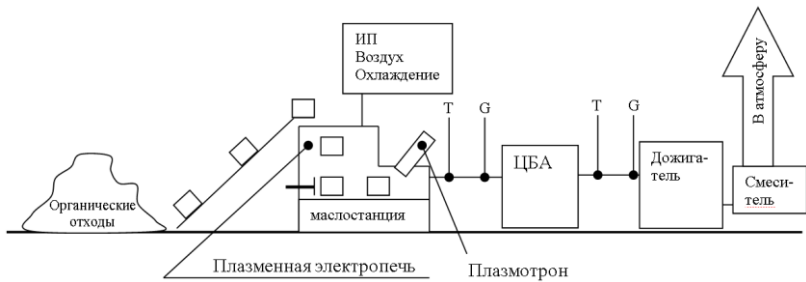


Рисунок 1. Схема электроплазменной установки: Т – измерение температуры, G – контроль состава газов.

Основная задача плазменно-термической электропечи является повышение экологической и экономической эффективности процесса переработки углеродсодержащих отходов. Принципиальная схема плазменной электропечи представлена на рис.2.

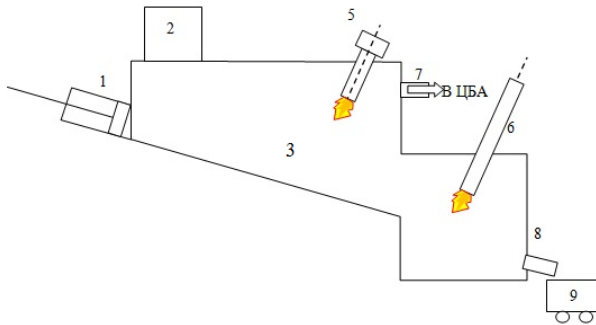


Рисунок 2 – Схема электроплазменной установки

Шлюзовая камера 2 предназначена для загрузки отходов в рабочую камеру печи и обеспечивает герметизацию камеры печи, предотвращая попадание атмосферного воздуха. С помощью гидравлического толкателя 1 происходит продвижение отходов в зону газификации 3. Газовая горелка 5 разогревает камеру печи до температуры 1200 °С, после чего её отключают, а необходимую температуру поддерживает плазматрон 6. Так же с помощью плазмотрона происходит дожигание не органических веществ и превращение их в шлак. Периодически шлак сливается через лотку 8 в откатную шлаковую тележку 9.

Технологический процесс газификации органических отходов проходит при температуре 1200°C, обеспечение и поддержание ее обеспечивает электродуговой плазматрон. Варьируя ток и напряжение плазмотрона, изменяется его мощность. Основными его характеристиками являются вольт-амперные характеристики (ВАХ), представленные на рис.3.

Как видно из графика на рис.3 ВАХ плазмотрона имеет возрастающую ветвь. Такая характеристика позволяет регулировать мощность плазмотрона в широком диапазоне. Такая особенность плазмотрона позволяет выдерживать требуемый уровень температуры в рабочей камере плазменной электропечи.

На экспериментальном стенде проведены исследования по плазменной переработке образцов органических отходов: бытовые отходы, древесные опилки, полиэтилен. В зависимости от теплотворной способности и методов переработки исходных материалов получен высококалорийный горючий синтез-газ (смесь CO и H₂). Это позволяет использовать его в электрогенерирующих устройствах для производства электроэнергии, а также в котельных при получении тепловой энергии.

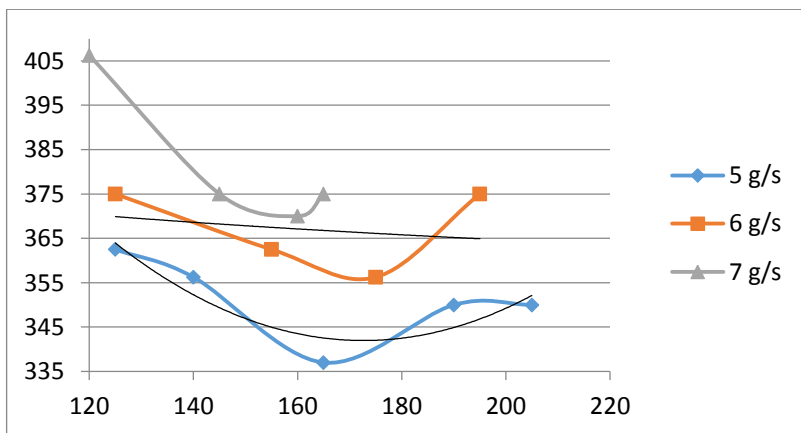


Рисунок 3 – Вольт-амперная характеристика дуги при различных расходах плазмообразующего газа.

Сравнение с экспериментальными данными для процесса высокотемпературной газификации органических отходов в воздушной плазме на конкретных плазменных установках показывает, что результаты расчёта в основе своей достоверны и являются ориентиром для оценки состава синтез-газа при газификации УСО.

Литература

1. Чердниченко В. С. Плазменные электротехнологические установки : [учебник для вузов по специальности 140605 «Электротехнологические установки и системы», направления подготовки 140600 «Электротехника, электромеханика и электротехнологии»] / В. С. Чердниченко, А. С. Аньшаков, М. Г. Кузьмин ; Новосиб. гос. техн. ун-т. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2011. – 601 с. : ил. – (Учебники НГТУ). : учебник / В. С. Чердниченко, А. С. Аньшаков, М.Г. Кузьмин. - : Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2011. - 602 с.

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО МАГНИТОМЯГКОГО КОМПОЗИТНОГО МАТЕРИАЛА В ПРИЛОЖЕНИИ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ

К.Е. Болотин, С.Ф. Сарапулов, Д.С. Бражников
Уральский федеральный университет,
г. Екатеринбург, KE.Bolotin@urfu.ru

Данная работа посвящена высокотемпературному магнитомягкому композитному материалу на основе карбонильного порошка и огнеупорного бетона. Представлены результаты исследования свойств материала и опыт его применения в МГД-перемешивателе с вращающимся электромагнитным полем.

Paper is devoted to high-temperature soft magnetic composite material based on carbonyl iron and refractory concrete. The results of material properties measuring and the experience of its use in the MHD-stirrer with a rotating electromagnetic field was presented.

Введение

В электротехнологических установках применяется две основные группы магнитных материалов: магнитотвердые и магнитомягкие.

К магнитотвердым относят материалы с большой коэрцитивной силой H_c . Они перемагничиваются только в очень сильных магнитных полях и служат для изготовления постоянных магнитов.

К магнитомягким относят материалы с малой коэрцитивной силой и высокой магнитной проницаемостью. Они обладают способностью намагничиваться до насыщения в слабых магнитных полях, характеризуются малой площадью петли гистерезиса и малыми потерями на перемагничивание. Их применяют во всех устройствах, которые работают при переменном магнитном поле.

Основным магнитомягким материалом массового потребления является электротехническая сталь, которая изготавливается добавлением в химический состав железа до 4% кремния. Основная форма выпуска готовых изделий - листы от 0,2 до 4 мм. В МГД установках, шихтованный магнитопровод состоит из таких листов, между которыми прокладывается диэлектрическая изоляция, таким образом, получается значительно снизить электропроводность в конкретном направлении, чтобы уменьшить потери на вихревые токи. К недостаткам данного материала можно отнести дороговизну, трудоёмкую механическую обработку для получения магнитопровода сложной формы и значительные потери на вихревые токи в двух оставшихся направлениях.

Другими магнитомягкими материалами, часто используемыми в электротехнике, являются ферриты и магнитомягкие композиты.

Ферриты – химические соединения оксида железа Fe_2O_3 с оксидами других металлов. Ферриты являются ферромагнетиками и обладают свойствами сходными с ферромагнитными и диэлектрическими. Их магнитные свойства сохраняются в широком диапазоне частот, но они обладают низкой индукцией насыщения и температурой Кюри. Таким образом, магнитомягкие ферриты получили широкое распространение в радиотехнике, где они эффективно работают в слабых магнитных полях при максимальной температуре 250–300°C [1].

Магнитомягкие композиты – материалы, полученные путем смешения и прессовки мелкоизмельченного ферромагнитного порошка с диэлектрическим наполнителем. Частицы ферромагнетика отделены друг от друга сплошной пленкой из электроизоляционного материала, образующего непрерывную фазу-матрицу с высоким электрическим сопротивлением, являющуюся одновременно механически связующим. К его основным недостаткам можно отнести относительно малое значение магнитной проницаемости, из-за наличия неферромагнитной связки, и малую рабочую температуру, напрямую связанную с рабочей температурой диэлектрического наполнителя, в качестве которого, чаще всего, выступают различные эпоксидные смолы.

Таким образом, из всего выше сказанного можно сделать вывод, что магнитомягкий материал, наиболее подходящий для магнитопроводов электротехнологических установок, должен сочетать в себе следующие свойства: высокое значение относительной магнитной проницаемости, низкое значение электропроводности, иметь высокую рабочую температуру, легко обрабатываться, быть механически прочным. В качестве такого материала было предложено использовать магнитомягкий композит на основе порошка карбонильного железа и огнеупорного цемента.

Образцы и их основные физические свойства

В качестве основной связующей диэлектрической компоненты был выбран высокоглиноземистый цемент Calcium Alumina CM-14M, который используется для изготовления быстротвердеющих жаростойких бетонов [2]. Кроме него, в процессе приготовления образцов были задействованы следующие вспомогательные материалы: реактивный глинозем, диспергирующие глиноземы, MgO и $MgSO_4$.

На подготовительном этапе было определено максимальное процентное количество железа, при котором можно сформировать

образцы, данное значение составило 70%, кроме него, были сформированы образцы с содержанием железа: 60% и 50%.

Образцы были изготовлены в сотрудничестве с кафедрой «Химической технологии керамики и огнеупоров» ФГАОУ ВО «УрФУ им. первого Президента России Б.Н. Ельцина».

На образцах в форме колец, таблеток, пластин и кубов были проведены измерения магнитных, электрических, теплофизических и механических свойств высокотемпературного магнитомягкого композита. Полученные результаты приведены в Таблице 1.

Таблица 1 — Свойства высокотемпературного магнитомягкого композита

Состав	Прочность, кгс/см ²	Электр проводность, См/м	Маг. Проницаемость, о.е.	Тепло емкость, Дж/кг·К	Тепл опроводность, Вт/м·К
50:50	285,9	$8 \cdot 10^{-4}$	3,1	720	52
70:30	305,9	$3 \cdot 10^{-3}$	9,4	615	35

Применение высокотемпературного магнитомягкого композита в МГД-перемешивателе с вращающимся полем

В качестве исследуемой установки был выбран лабораторный подовый МГД-перемешиватель с вращающимся электромагнитным полем, трехмерная модель и внешний вид которого представлены на Рисунке 1 [3].

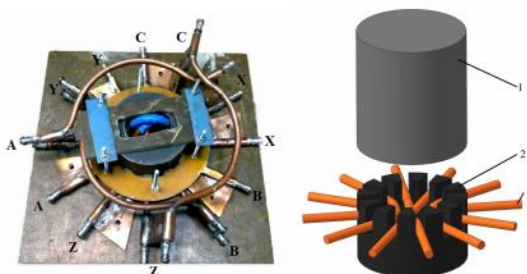
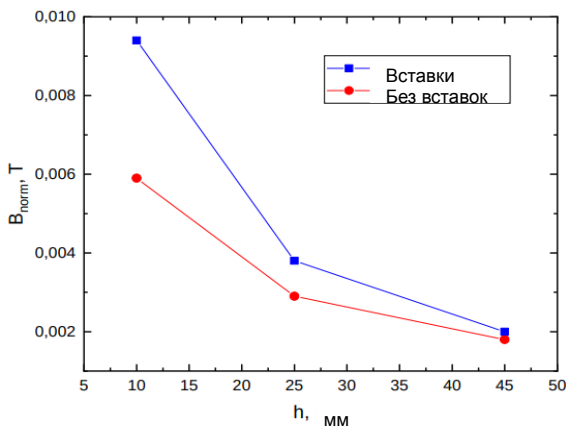


Рисунок 1 — Подовый МГД-перемешиватель. 1- жидкий металл, 2 — магнитопровод, 3 - обмотки.

Проводилось сравнение двух вариантов МГД-перемешивателя: стандартный перемешиватель с рабочим зазором между расплавом и



магнитопроводом равным 10мм; перемешиватель, зубцы которого были удлинены вставками из композитного материала на 10мм. На рисунке 2 представлены результаты измерения магнитной индукции в зависимости от расстояния до магнитопровода.

Рисунок 2 — График зависимости нормальной компоненты магнитной индукции от расстояния до поверхности магнитопровода

Вывод

Таким образом, высокотемпературный магнитомягкий композит имеет перспективы для использования в качестве заменителя материала для изготовления магнитопроводов, в том числе, сложной формы. На текущий момент, одним из ключевых его недостатков является низкая величина относительной магнитной проницаемости и высокие значения теплофизических свойств.

Литература:

1. Ферритовые материалы для повышенных рабочих температур / Т.В. Акимова, Д. Г. Крутогин, Ю. М. Краюшкина // Материалы электронной техники. – 2010. – № 2. – С. 38–42.
2. ГОСТ 969-91 Цементы глиноземистые и высокоглиноземистые. Технические условия. – М.: Стандартиформ, 2007. – 5 с.
3. Моделирование торцевого индукционного вращателя металлического расплава / А. А. Идиятулин, С. Ф. Сарапулов, Ф. Н. Сарапулов // Электротехника. – 2009. – № 7. – С. 38–43.

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ OPEN SOURCE ПАКЕТОВ ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ СТУДЕНТОВ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО НАПРАВЛЕНИЯ

К.Е. Болотин, С.А. Бычков, Н.В. Тарчуткин
**Уральский федеральный университет имени первого Президента
России Б. Н. Ельцина, г. Екатеринбург, KE.Bolotin@urfu.ru**

Данная работа посвящена обзору существующих open source пакетов, которые могут быть применены в процессе обучения студентов технических ВУЗов по направлению электротехнологии. Проведено сравнение платных и бесплатных пакетов. Рассмотрены 3 типа программных продуктов используемых во время обучения.

Present paper is devoted to a review of existing open source packages that can be applied in the process of teaching students of technical universities in the direction of electrical technology. A comparison of paid and free packages was made. Three types of software products used during education are considered.

Введение. Open source software — программное обеспечение с открытым исходным кодом. Его основными отличительными чертами является доступность, безопасность и возможность самостоятельно доработать пакет для своих нужд. Вместе с этим, термин Open source не является синонимом свободного распространения программного продукта, для такого случая есть отдельное название Free software, но в данной статье, для большего удобства, под термином Open source будет подразумеваться именно свободно распространяемое программное обеспечение.

Перспективность использования Open source программного обеспечения в обучении связана не только с экономией денежных средств, так как нет необходимости приобретать дорогостоящие лицензионные продукты, но и с более глубоким изучением принципов решаемых задач. Во-первых, из-за того, что в большинстве подобных продуктов отсутствует графическая оболочка, в результате, обучающийся вынужден лучше изучить материал, чтобы понимать суть выполняемых им действий. Во-вторых, поскольку Open source продукты развиваются без коммерческой поддержки, зачастую, они не могут обеспечить все потребности студента при решении узкопрофильных задач и ему приходится самостоятельно дополнять программу, что уже требует познаний в смежных областях: математика, физика, основы программирования.

Перед студентом, обучающимся на электротехнологическом направлении подготовки, стоят следующие задачи:

- аналитическое и численное моделирование электротехнологических установок, в том числе и их источников питания;
- проектная деятельность на основе полученных результатов, в том числе создание 3Д моделей, чертежей и принципиальных электрических схем;
- текстовое и графическое оформление отчетов по проделанной работе.

Для решения каждой из задач требуется определённый набор программного обеспечения, который будет рассмотрен ниже.

Программы для аналитического и численного моделирования.

Традиционно, в большинстве технических вузах для математических расчётов используются коммерческие пакеты, такие как: Mathcad, Matlab и Maple. Поэтому, была поставлена цель - найти их аналоги, являющиеся Open source программами, анализ показал, что тремя наиболее популярными являются SageMath, GNU Octave и Scilab.

Возможности перечисленных пакетов позволяют полностью заменить ими аналогичные коммерческие программы. У всех трех пакетов присутствует графический интерфейс, что облегчает их освоение обучающимися. Язык программирования, используемый в GNU Octave и Scilab, имеет близкий синтаксис с языком Matlab, что позволяет, при использовании специальных утилит, конвертировать документы между этими программами.

SageMath представляет собой объединение различных программ для математического анализа в утилите, в основе которой лежит язык программирования Python. Такое сочетание позволяет решать специфические задачи, но требует от пользователя высокого уровня знаний.

Для моделирования систем управления электротехнологическими установками традиционно используется Simulink, являющийся расширением Matlab. В состав Scilab также входит аналогичный продукт Scicos, который позволяет визуально моделировать динамических систем. Кроме этого, существуют отдельные программные продукты, позволяющие решать аналогичные задачи: KiCad и Qucs.

Кроме математического моделирования, перед студентами все чаще ставятся задачи по изучению и применению навыков численного моделирования различных физических процессов и электротехнологических установок для индукционного нагрева и плавки, транспортировки проводящего вторичного элемента, перемешивания и подготовки для кристаллизации сплавов.

Чаще всего, для решения подобных задач используются такие программные пакеты, как Ansys, Comsol и Elcut. Они позволяют решать

широкий круг задач, обладают удобным графическим интерфейсом и большим количеством учебных материалов и примеров. К их основным недостаткам можно отнести высокую стоимость и отсутствие специализированных приложений для решения узкопрофильных задач, в результате, приходится разрабатывать собственные надстройки. Но в случае с коммерческими продуктами, данное решение проблемы ограничено из-за закрытого исходного кода продукта.

Среди Open source программ, наиболее выделяются следующие: Elmer, Salome, OpenFOAM, Netgen и EOF-library.

Elmer — мультифизическая программа для предобработки, моделирования и постобработки результатов. Она позволяет решать электромагнитные, механические, теплообменные и гидродинамические задачи. Обладает собственным графическим интерфейсом, но построение модели происходит в виде программного кода.

Salome — среда, которая позволяет создать задачу и выполнить ее решение с помощью сторонних подключаемых программ. Имеет удобный графический интерфейс.

OpenFOAM — набор библиотек для решения задач гидродинамики, обладает обширным функционалом. Создание модели происходит из командного терминала. Результаты могут быть визуализированы в стороннем пакете, например ParaView.

Netgen — программный пакет, в первую очередь используемый для построения сетки конечных элементов в решаемой модели, однако, обладает встроенными решателями и возможность визуализировать полученные результаты.

EOF-library — набор библиотек, которые позволяют объединить Elmer и OpenFOAM, поскольку первый наиболее эффективно решает электромагнитные задачи, а второй задачи гидродинамики, что позволяет моделировать такие сложные процессы, как левитационная плавка с учетом изменения свободной поверхности.

Программы для проектной деятельности

Системы автоматизированного проектирования (Computer-aided design или CAD) широко применяются для оформления различных технических проектов, в том числе позволяя создавать трёхмерные модели, чертежи и принципиальные схемы.

Основными коммерческими CAD продуктами являются Autodesk Inventor, AutoCAD, AutoCAD Electrical, SolidWorks, SolidWorks Electrical, КОМПАС-3Д, КОМПАС-График и КОМПАС-Электрик. Как и в предыдущих случаях, основным недостатком коммерческих продуктов является их высокая стоимость.

Наиболее подходящими Open source программами для построения чертежей и принципиальных схем являются Circuit Diagram, kiCAD, gEDA и LibreCAD. Вместе с этим, трехмерное моделирование представлено не самыми современными и удобными программами OpenCasCade, FreeCAD и BRL-CAD.

Текстовое и графическое оформление отчетов

Данная область является наиболее развитой, поскольку не является специфической и используется большинством пользователей.

Для создания различных графиков наиболее удобными OpenSource программами являются Gnuplot, GeoGebra и их аналоги.

Для оформления текстовых отчетов, таблиц и презентаций чаще всего используется LibreOffice, который является свободно распространяемым аналогом MS Office, обладающим всеми его функциями.

Для оформления текстов научных публикаций используются различные редакторы, работающие на языке LaTeX, широко представленном в Open source программах.

Вывод

Современное Open source программное обеспечение обладает всеми необходимыми пакетами для обеспечения обучения студентов электротехнологического направления. Наименее развитым сегментом является CAD программы для трехмерного моделирования, но и имеющиеся аналоги позволяют выполнять большинство задач, которые ставятся перед обучающимися.

Таким образом, коммерческие пакеты могут быть полностью заменены Open source аналогами, что приведёт не только к экономии средств на приобретение лицензионных программ, но и позволит поднять уровень подготовки студентов, которые будут вынуждены глубже изучать теоретические основы рассматриваемых процессов.

НЕЙРОСЕТЬ КАК СРЕДСТВО ДЛЯ АППРОКСИМАЦИИ СВОЙСТВ СТАЛИ

А.С. Бондарь, Ф.В. Чмиленко

**Санкт-Петербургский государственный электротехнический
университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина) (СПбГЭТУ),
г. Санкт-Петербург, bonda3005@gmail.com**

В работе была создана нейронная сеть для определения теплопроводности. Обучение нейросети проводилось по данным, полученным из специализированных справочников.

A neural network was created to determine the thermal conductivity. The training of the neural network was conducted according to data obtained from specialized directories.

В современной промышленности установки индукционного нагрева получили широкое распространение в технологиях плавки и термообработки металлов и проводящих материалов. Индукционные нагреватели для этих технологий представляют собой сложные технические объекты, в которых протекают физические явления и процессы различной природы. Если не вводить существенных упрощений, проектирование индукционных установок на современном уровне возможно только с помощью компьютерного моделирования. В связи с этим, в последнее время получили большое распространение различные программные комплексы для моделирования, как общего назначения (ANSYS и т.п.), так и специализированные (Universal 2D).

Следует отметить, что для повышения качества моделирования следует учитывать наиболее полным образом сопряженные явления, протекающие в нагреваемом объекте. Это приводит к необходимости достаточно точно знать электромагнитные, тепловые и механические свойства материалов. Такие данные могут быть найдены в специализированных справочниках и базах данных, но далеко не всегда справочники располагают всеми необходимыми свойствами для моделирования. Таким образом, отсутствие адекватных свойств материалов фактически обесценивает любую численную модель.

Один из способов решить проблему нехватки свойств материалов – это аппроксимация уже известных данных с учетом химического состава. Часто для этого используют регрессивные формулы, но они имеют недостаток – плохо учитывают нелинейные зависимости и влияние друг на друга различных компонент химического состава. В то же самое время, нейронные сети, благодаря которым можно реализовать аппроксимацию в неявном виде, представляют наиболее перспективное направление для решения этой проблемы [1]. В данной работе проводились исследования, цель которых оценить возможности нейронных сетей для аппроксимации теплопроводности, зависящей от температуры и химического состава различных сталей.

Основными элементами нейронной сети являются нейроны, которые связаны в сети так, чтобы между ними были взаимодействия. Нейроны представляют собой элементарные процессоры, вычислительные возможности которых, как правило, ограничиваются некоторым правилом комбинирования входных сигналов и правилом активации (рисунок 1). Выходной сигнал нейрона может передаваться другим нейронам по связям, каждая из которых имеет свой весовой

коэффициент, который может в зависимости от своего значения либо усилить, либо подавлять передаваемый сигнал [2].

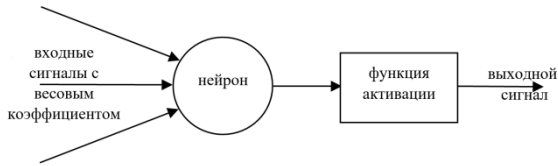


Рисунок 1 – Модель нейрона

В работе в качестве функции активации нейронов применялась функция гиперболического тангенса в обобщенном виде:

$$\beta \cdot \tanh(\alpha \cdot x),$$

где коэффициенты α и β равны 0,5.

Одна из важных задач в процессе создания нейронной сети и самая дорогостоящая с точки зрения вычислительных ресурсов – это обучение сети. Для решения этой проблемы в работе было сформировано три множества данных на основе выборки, сделанной в кембриджском университете [3]: обучающее (95 стале / 390 значений теплопроводности от температуры), тестовое (4 / 35) и проверочное (3 / 28)

Обучающее множество – то, на котором обучается сеть. Данные для него были взяты из справочника Smithall[4]. Для тестового множества данные взяты из монографии по теплопереносу [5]. Тестовое множество не участвует непосредственно в обучении, но ошибка его аппроксимации позволяет оперативно оценить эффект перетренировки (сеть хорошо аппроксимирует обучающее множество, но теряет способность к обобщению). Проверочное множество может быть самым маленьким, не участвует в процессе обучения и настройке алгоритмов, а служит только для заключительной верификации, обобщающей возможности сети на неизвестных для нее данных. Оно было сформировано на основе российского марочника стале [6].

Результаты статистической обработки входных и выходных данных приведены в таблице 1. Так как нормирование не дало никаких явных преимуществ, для данных применялось только масштабирование к диапазону, который чуть меньше диапазона функции активации.

Таблица 1 – Результаты статистической обработки

		Минимум	Максимум	Среднее значение	СКО
Содержание элемента в %	Fe	16,16	100,00	87,46	17,76
	C	0,00	1,22	0,31	0,26
	Mn	0,00	6,00	0,72	0,78
	Ni	0,00	63,00	4,36	9,38
	Mo	0,00	4,80	0,37	0,95
	V	0,00	3,00	0,05	0,35
	Cr	0,00	30,40	4,90	7,60
	Cu	0,00	0,64	0,00	0,06
	Al	0,00	4,50	0,03	0,34
	Nb	0,00	3,00	0,10	0,45
	Si	0,00	3,50	0,21	0,54
	W	0,00	18,50	0,43	2,50
	Ti	0,00	1,40	0,03	0,15
Co	0,00	46,60	1,03	5,57	
T, °C		0,00	1200,00	389,40	337,21
λ , Вт/м·К		10,90	80,20	32,84	12,39

Следует отметить, что введение избыточного признака (что часто не рекомендуется), а именно процентное содержание Fe, рассчитанное на основе баланса элементов, позволило улучшить обобщающие возможности сети и повысить точность ее прогнозов. Такой эффект объясняется относительно большой “зашумленностью” исходных данных.

В работе проводились численные эксперименты с сетями, в которых количество скрытых слоев варьировалось от 1 до 3. Для контроля над процессом обучения использовалась среднеквадратическая погрешность для обучающего множества, а переобучение контролировалось по коэффициенту корреляции Пирсона для тестового множества.

На рисунке 2 приведены результаты аппроксимации для стали 45 (проверочное множество), которые получены с помощью двух трехслойных сетей с разной конфигурацией. В одной 35 нейронов в каждом слое, а в другой число нейронов в последующих слоях уменьшалось и составляло соответственно 35, 15 и 5.

Как показали численные эксперименты, довольно трудно найти оптимальную конфигурацию нейронной сети. Синтез структуры оптимальной сети представляет собой отдельную и трудную задачу. Имеет смысл выбирать по предварительным оценкам лучшие варианты сетей, делать расчеты параллельно, а потом усреднять результаты. Можно выделить две разные стратегии для решения подобных проблем. Первая – создавать большую сеть для металлов и сплавов с очень разным содержанием химических элементов, а вторая – делать специализированные небольшие сети, для металлов схожей структуры.

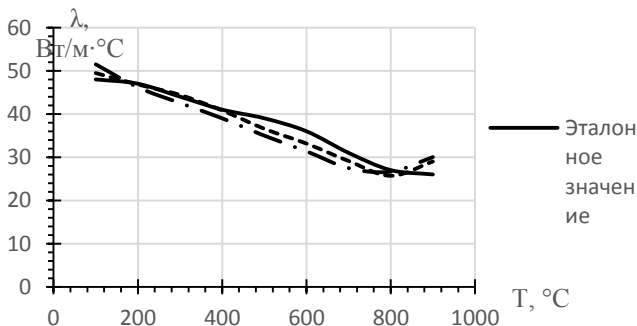


Рисунок 2 – Результаты аппроксимации для стали 45

Авторы не ставили целью этой работы получение наилучших результатов. Для этого первоначально надо расширить базы свойств материалов данными из российских источников. С другой стороны, очевидно, что при специальном подборе настроек и структуры сети, а также при более критическом подходе к входным данным можно добиться значительно лучших показателей точности.

Литература:

1. Лемзиков А.В., Кундас С.П. Обучение нейронных сетей для прогнозирования свойств сталей // Информатика. - 2009. - №4 (24). - С. 101-111.
2. Каллан, Р. Основные концепции нейронных сетей. Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2001. – 287 с.
3. Materials Algorithms Project Program Library [Electronic resource] -URL: <https://www.phase-trans.msm.cam.ac.uk/map/data/materials/thermaldata.html> (accessed 26.10.2018).
4. Smithall metals Reference Book / Ed. by W.F. Gale, T.C. Totmeier. Amsterdam. - Elsevier Butterworth-Heinemann, 2004. - 760 p.
5. J.P.Holman, Heat Transfer. 8th Edition. McGraw-Hill Companies, 1997. - 758 p.
6. Марочник сталей и сплавов. 4-е издание / Ю. Г. Драгунов, А.С.Зубченко, Ю.В.Каширский, А.Ф.Дегтярев и др.; под ред. Ю. Г. Драгунова и А. С. Зубченко.– М.: Машиностроение, 2015. – 1215 с.

ИМПУЛЬСНАЯ ИНДУКЦИОННАЯ ПОВЕРХНОСТНАЯ ЗАКАЛКА СТАЛЬНЫХ ЗАГОТОВОК

В.Н. Быковский , А.И. Алифёров
Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, bykovskii-vadim@mail.ru

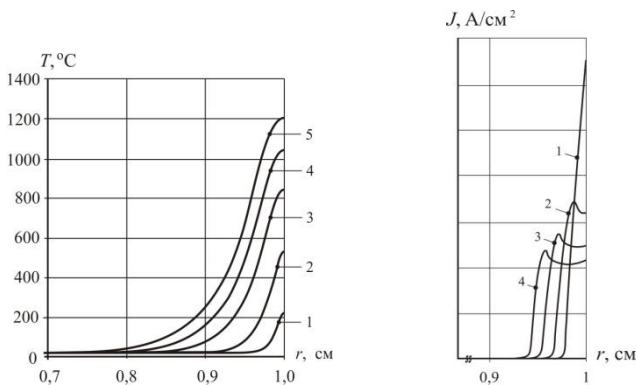
В данной работе представлены исследования, устанавливающие взаимосвязи между удельной поверхностной мощностью, напряженностью магнитного поля на поверхности цилиндрической заготовки, температурой ее поверхности, временем нагрева и глубиной слоя, подверженного аустенизации.

This paper presents studies that establish the relationship between the specific surface power, the magnetic field strength on the surface of the workpiece, the temperature of its surface, the heating time and the depth of the layer subjected to austenization.

индукционной поверхностной закалки импульсами характеризуется быстрым нагревом поверхностного слоя, осуществляющимся за время от десятков до сотен миллисекунд, обеспечиваемым высокими удельными мощностями, выделяемыми в тонком поверхностном слое изделия, а процесс закалки - высокими скоростями охлаждения за счет передачи тепла теплопроводностью от тонкого нагретого поверхностного слоя в массив тела изделия. При этом исключается необходимость применения специальных охлаждающих сред и спреев-устройств, омывающих этой средой наружную поверхность обрабатываемого изделия.

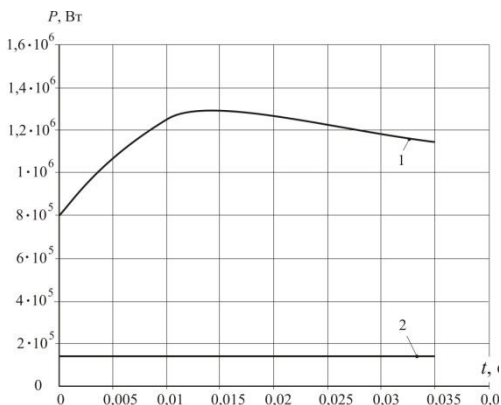
Исследование взаимосвязи энергетических, теплотехнических и материаловедческих параметров при импульсной индукционной поверхностной закалке было выполнено для цилиндрической заготовки из обожженной стали 45 диаметром 20 мм с температурой аустенизации 800 °С посредством одномерной численной модели в программном пакете ELTA.[1]

В результате выполненных расчетов получены графики температуры по радиусу заготовки, что позволило по радиальному распределению температуры в конце нагрева оценить толщину поверхностного слоя Δ_{800} , подверженному процессу аустенизации. Анализ полученных зависимостей (см. рис. 1,а) показал, что скорость охлаждения нагретого слоя достаточна для реализации его аустенизации за счет отвода тепла из него теплопроводностью в тело заготовки. При этом не требуется применения специальных сред, охлаждающих поверхность обрабатываемого изделия.



a: $t = 1-5-15-25-35$ мс *b*) $t = 5 - 15 - 25 - 35$ мс

Рисунок 1 -
Радиальное
распределение
температуры (*a*),
плотности тока (*b*) для
различных моментов
времени, а также
зависимость мощности,
выделяемой в заготовке
(1), и тепловых потерь (2)
в функции времени (*c*)



c)

Анализ зависимостей радиального распределения плотности тока показывает, что нагрев ферромагнитной стальной заготовки импульсным вихревым током качественно характеризуется процессами, аналогичными тем, которые получаются при нагреве таких заготовок синусоидальными вихревыми токами (см. рис. 1, *b*).

Интересными являются зависимости интегральной активной мощности, выделяемой в заготовке, и тепловых потерь с поверхности заготовки (см. рис. 1, *c*). В течение 35 мс нагрева заготовки потери остаются практически постоянными в силу, очевидно, быстрого роста температуры поверхности заготовки, а мощность, выделяемая в

заготовке, имеет характерный максимум на $10 \div 15$ мс, который соответствует переходу температуры поверхности заготовки точки Кюри и началу формирования двухслойной структуры.

Разработанная численная модель позволила рассчитать взаимосвязанные зависимости удельной поверхностной мощности P_0 , напряженности магнитного поля на поверхности, температуры поверхности $T_{\text{п}}$, времени нагрева t и глубины слоя Δ_{800} , подверженного аустенизации. На их основе удалось разработать номограммы (рисунок 2), позволяющие выбирать значения удельной поверхностной мощности P_0 и напряженности магнитного поля H , необходимые для достижения заданной глубины аустенизации Δ_{800} при ограничении максимальной температуры поверхности $T_{\text{п}}$ и заданном времени нагрева.

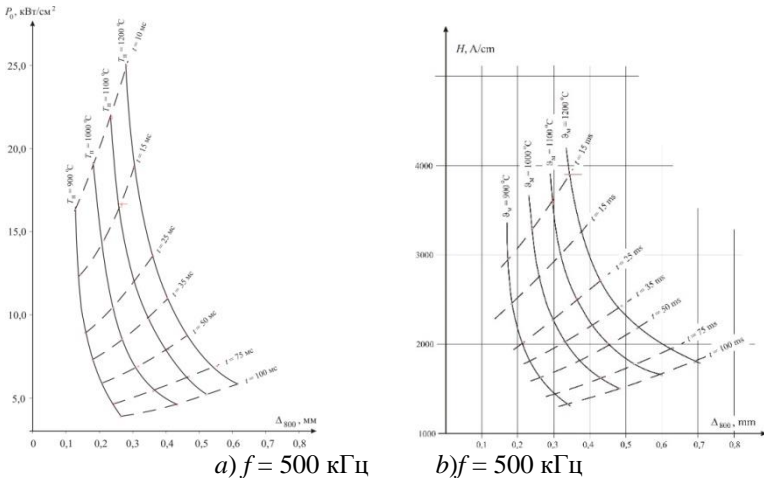


Рисунок 2 - Зависимость взаимосвязи удельной поверхностной мощности

- (а) и напряженности магнитного поля на поверхности заготовки (б) с температурой на ее поверхности, временем нагрева и глубиной слоя, подвергнутого аустенизации

С целью проверки данного положения были рассчитаны режимы импульсного нагрева в индукционной системе с одновитковым индуктором, охватывающим «длинную» цилиндрическую заготовку. Расчеты были выполнены по 2D взаимосвязанной модели электромагнитных и тепловых процессов в программном пакете FLUX

для исходных параметров системы, полученных по номограммам (рис. 2). На рисунке 3 приведены распределения температурного поля при применении одновиткового индуктора, подтверждающие вышеизложенное утверждение.

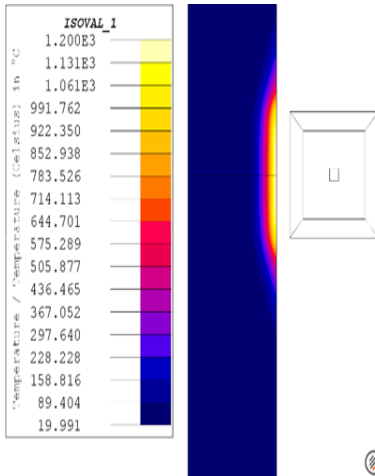


Рисунок- 3 Распределение температурного поля в цилиндрической заготовке при импульсной поверхностной индукционной закалке:

а) одновитковый индуктор:
 параметры катушки: сечение трубки индуктора 10×9 мм, толщина стенки 1 мм, внутренний радиус 10,1 мм; параметры заготовки: радиус - 10 мм,

материал - сталь 45
 отожженная; параметры режима нагрева: $f = 500$ кГц, $t = 100$ мс, $I = 3,1$ кА; $\Delta_{800} = 0,75$ мм; напряженность магнитного поля на поверхности $H_c = 2730$ А/см;



В данной работе выполнено исследование режимов импульсной индукционной поверхностной закалки стальных заготовок, проведенной при применении импульсов мощности (тока) длительностью порядка нескольких десятков миллисекунд. Преимуществом такого вида закалки является возможность реализации поверхностной закалки без применения специальных охлаждающих сред. Возрастающий интерес к этим процессам связан с наличием современных промышленных преобразователей частоты мощностью до 3 МВт, применение которых может обеспечить поверхностную закалку площади поверхностей более 100 см².

Литература:

1. Aliferov A., Forzan M., Lupi S. Импульсноиндукционное упрочнение в миллисекундном диапазоне // XVIII International UIE-Congress Electrotechnologies for Material Processing, Hannover, Germany, June 2017. – Hannover, 2017. – P. 129-134.

ОПТИМИЗАЦИЯ КОМБИНИРОВАННОЙ ТЕПЛОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ ВАКУУМНОЙ ШАХТНОЙ ЭЛЕКТРОПЕЧИ СОПРОТИВЛЕНИЯ

Е.П. Васильева, А.И. Алиферов
Новосибирский Государственный технический университет,
г. Новосибирск, ekaterinavasileva01@gmail.com

Доклад посвящен исследованию влияния различных геометрических и теплофизических параметров комбинированной тепловой изоляции на энергетические показатели вакуумной шахтной печи сопротивления.

The report is devoted to the study of the influence of various geometric and thermal parameters of combined thermal insulation on the energy performance of a vacuum resistance mine furnace.

Вакуумная шахтная печь сопротивления (ВШПС) является экологически безопасным оборудованием и предназначена для проведения различных термических процессов (пайки, отжига, дегазации, спекания и т.п.) в вакууме при температуре до 2500°C [1].

В высокотемпературных электропечах с высоким вакуумом вместо футеровки, чаще всего, используется система экранов металлических, керамических или графитовых, снижающих тепловые потери печи. В качестве материалов, используемых для экранов, являются до 1600-1700°C молибден и до 2200-2500°C вольфрам [2]. Тепловые параметры вакуумных печей с экранной теплоизоляцией существенно хуже, чем у футерованных печей, тепловые потери печей с экранной тепловой изоляцией могут достигать порядка 75-85%, а с футерованной 15-20% [3]. Для уменьшения тепловых потерь через экранную теплоизоляцию, а также для использования более дешевых материалов экранов, используют комбинированную теплоизоляцию (КТ). Такая система представляет собой чередование слоев огнеупорного или теплоизоляционного материала (засыпка или футеровка) расположенного в «горячей» зоне, теплопередача в которых осуществляется теплопроводностью, и пакетов металлических экранов с теплопередачей излучением.

При выборе конструкции ВШПС с КТ необходимо учесть серьезную проблему влияния критического диаметра тепловой изоляции на величину тепловых потерь установки.

В данной работе рассмотрена модель ВШПС с КТ, включающая в себя нагреватель, водоохлаждаемый кожух, пакет металлических экранов, состоящих из 6 молибденовых экранов толщиной 0,3 мм и неметаллическую засыпку.

При этом был сделан ряд допущений:

- среда в вакуумной печи прозрачна, исключение составляет неметаллическая засыпка, в которой теплопередача осуществляется теплопроводностью;
- коэффициенты теплопроводности водоохлаждаемого кожуха, засыпки и нагревателя, является постоянными;
- экраны в рассматриваемой печи являются термически тонкими телами, то есть температурный перепад по толщине экрана равен 0;
- излучения по направлению являются полусферическими;
- в верхней и нижней части металлического кольцевого короба, в котором располагаются гранулы из диоксида циркония, тепловое короткое замыкание не учитывается.

С помощью программы Mathcad была решена следующая система уравнений [4]:

$$\left\{ \begin{array}{l}
 Q = \frac{2\pi r_0 \sigma \left[\left(\frac{T_0}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{1,1}}{100} \right)^4 \right] l}{\frac{1}{\varepsilon_0} + \frac{r_0}{r_{1,1}} \left(\frac{1}{\varepsilon_{1,1}} - 1 \right)} \\
 Q = \frac{\pi(t_{11} - t_{12})}{\frac{l}{2\lambda} \ln\left(\frac{r_{11}}{r_{12}}\right)} \\
 Q = \frac{2\pi r_{1,2} \sigma (T_{1,2}^4 - T_k^4)}{\frac{1}{\varepsilon_{1,2}} + \frac{r_{1,2}}{r_k} \left(\frac{1}{\varepsilon_k} - 1 \right) + \sum_{i=1}^N \frac{r_{1,2}}{r_i} \left(\frac{2}{\varepsilon_i} - 1 \right)}
 \end{array} \right.$$

Рассчитаны значения теплового потока при температуре нагревателя 1000, 1200, 1800 и 2000 °С и различных значениях внутреннего диаметра футеровки.

На рисунках 1и 2представлены графики зависимости теплового потока от толщины изоляции для различных значений диаметра футеровки. При температурах рабочего пространства 1000 и 1200 °С наблюдались графики, когда тепловой поток сначала возрастает до определенного значения, затем убывает. При температурах 1800 и 2000 °С все графики носят убывающий характер.

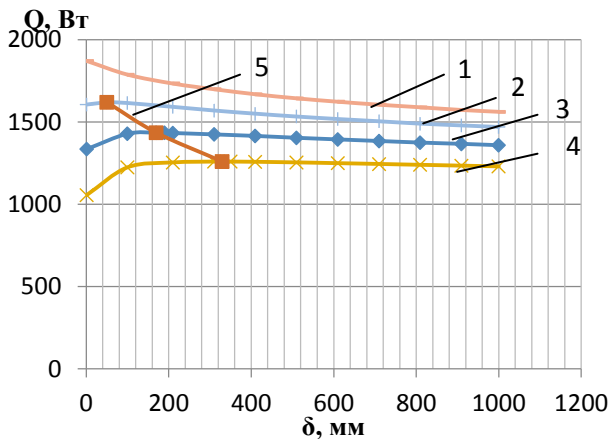


Рисунок 1– Графики зависимостей теплового потока Q от толщины теплоизоляции для различных значений диаметра нагревателя и коэффициента теплопроводности насыпной изоляции $\lambda = 0.75 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ и температура нагревателя $1000 \text{ }^\circ\text{C}$.

1 – внутренний диаметр футеровки 120 мм; 2 - внутренний диаметр футеровки 100 мм; 3 - внутренний диаметр футеровки 80; 4 - внутренний диаметр футеровки 60 мм; 5 – линия соединяющая максимумы тепловых потоков.

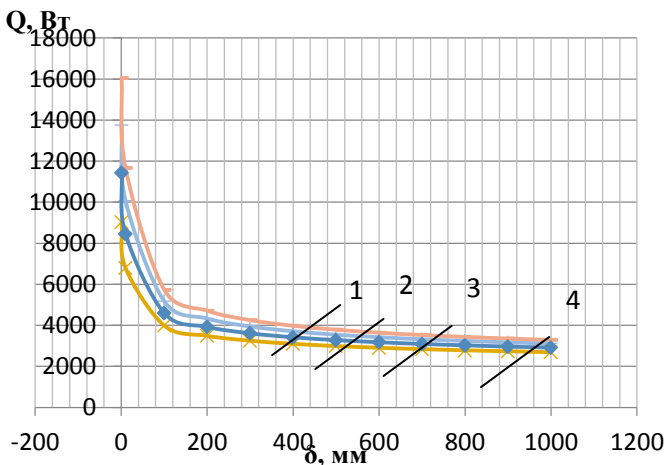


Рисунок 2 – Графики зависимостей теплового потока Q от толщины теплоизоляции при различных значениях внутреннего диаметра

футеровки и коэффициенте теплопроводности насыпной изоляции $\lambda=1$ Вт/(м·К) и температуре нагревателя 2000 °С.

1 – внутренний диаметр футеровки 120 мм; 2 - внутренний диаметр футеровки 100 мм; 3 - внутренний диаметр футеровки 80; 4 - внутренний диаметр футеровки 60 мм.

Анализ полученных данных, позволил сделать следующие выводы:

- с увеличением толщины теплоизоляции, тепловой поток увеличивается. При достижении определенного значения толщины тепловой изоляции происходит уменьшение тепловых потерь. Точки максимума на графике тепловых потерь соответствуют значению критического диаметра материала футеровки. Это значит, что толщина футеровки должна быть выбрана с учетом условия $d_{ф} > d_{кр}$;

- При использовании ВПС с комбинированной изоляцией, рассчитанных на 1800 – 2000 °С, на меньшие температуры (например 1000 °С) можно попасть в тепловой режим печи, в котором внутренний диаметр футеровки d_2 может оказаться меньше ее критического диаметра, что приведет к повышенным тепловым потерям;

- при выборе тепловой изоляции необходимо учитывать теплофизические и геометрические параметры печи, от которых зависит критический диаметр футерованной части печи.

Полученные результаты позволят повысить эффективность и снизить стоимость тепловой изоляции ВПС.

Литература

1. Лейканд М.С. Конструкция вакуумных электропечей сопротивления и их узлов / М.С. Лейканд. - М.; Л.: Госэнергоиздат, 1961. – 112с.

2. Сплавы для нагревателей / Л.Л. Жуков, И.М. Племянникова, М.Н. Миронова, Д.С. Баркая, Ю.В. Шумков - М: Metallurgia, 1985. — 74 с.

3. Повышение энергетической эффективности высокотемпературных вакуумных печей сопротивления с экранной теплоизоляцией : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Митяков Ф.Е. – М.:2014.

4. Алиферов А.И., Синицин В.А., Ощепкова Т.Б., Васильева Е.П. Особенности теплопередачи через комбинированную тепловую изоляцию вакуумной электропечи сопротивления // Сборник научных трудов всероссийской конференции с элементами научной школы для молодых ученых «XXXIV Сибирский теплофизический семинар». 27-30 августа 2018. С 223.

СТЕНД ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ УСКОРЯЮЩИХ СТРУКТУР ИНЖЕКТОРА СИБИРСКОГО КОЛЬЦЕВОГО ИСТОЧНИКА ФОТОНОВ (СКИФ)

К.А. Гришина, Е.Б. Левичев

Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, grishinakristina21@gmail.com

Данная работа посвящена измерениям электродинамических характеристик ускоряющих структур типа диафрагмированный волновод. В работе описан измерительный стенд, методика измерения и полученные параметры, определены источники погрешностей при производстве ускоряющих структур источника СКИФ, которые приводят к росту энергетического разброса в ускоряющих структурах инжектора. Из полученных данных будет выработано техническое задание на изготовление ускоряющих структур инжектора СКИФ и на группировочную систему.

This article is devoted to measurements of the electrodynamic characteristics of the disk loaded accelerating structure. The paper describes the measurement bench, the measurement technique and the parameters obtained the sources of errors in the production of accelerating structures of the SKIF source, which lead to an increase in the energy spread in the accelerating structures of the injector. From the obtained data, a technical task for the manufacture of accelerating structures of the SKIF injector and the grouping system will be developed.

В новосибирском Институте ядерной физики им. Будкера более тридцати лет назад был организован Сибирский центр синхротронного излучения (СЦСИ) и в настоящее время одной из главных проблем центра является отсутствие современного источника синхротронного излучения. Используемые накопители ВЭПП-3 и ВЭПП-4 не являются специализированными источниками СИ, и параметры их излучения не соответствуют современным требованиям. Поэтому в Новосибирске планируется строительство нового источника синхротронного излучения - Сибирский Кольцевой Источник Фотонов (СКИФ), разработчиком которого является ИЯФ.

Комплекс включает в себя синхротрон, кольцо накопителя-охладителя и инжектор. Инжектор представляет собой линейный ускоритель, который состоит из источника электронов, адиабатического группирователя и шести ускоряющих структур на основе диафрагмированного волновода и источников СВЧ мощности.

Целью моей работы является определение критериев точностей параметров ускоряющих структур и создание стенда для измерения электродинамических характеристик ускоряющих структур линейного ускорителя инжектора новосибирского источника СИ, получение основных параметров макета тестовой ускоряющей структуры.

В работе сделана оценка допусков параметров ускоряющей структуры. Отклонение радиуса ячейки от заданного на 10 мкм ведет к изменению набега фазы на ячейку в $1,36^\circ$. Отсюда следует, что фаза влета пучка φ_0 для каждой ячейки будет разная. Отклонение периода ячейки от заданного на 10 мкм ведет к изменению набега фазы на ячейку в $0,021^\circ$. Такое отклонение набега фазы не значительно влияет на фазу влета пучка φ_0 . Отклонение в 1°C от рабочей температуры даст ошибку в фазе $0,1^\circ$.

Исследования ускоряющей структуры основаны на методе малых возмущений: возмущающее тело, перемещаясь вдоль продольной оси структуры, приводит к изменению запасенной энергии электромагнитного поля, что сказывается на рабочей частоте резонансных ячеек структуры. Данную зависимость можно представить выражением (1)

$$\frac{f - f_0}{f_0} = \frac{\Delta W_m - \Delta W_e}{W} \quad (1)$$

Или выражением (1) для случая, когда на оси структуры присутствует только электрическая компонента электромагнитного поля

$$\frac{\delta f(z)}{f_0} = \alpha \frac{E^2(z)}{W_c} \quad (2)$$

В выражениях (1)-(2) используются обозначения: f_0 – резонансная частота невозмущенного резонатора, f – резонансная частота возмущенного резонатора, W – полная запасенная энергия в невозмущенном резонаторе, ΔW_e – изменение за счет возмущающего тела запасенной электрической энергии, ΔW_m – изменение за счет возмущающего тела запасенной магнитной энергии, α – коэффициент, зависящий от формы и материала возмущающего тела, W_c – полная запасенная энергия в резонансном макете.

Исследования проводились для ускоряющей секции длиной 1.5 м, с периодом 35 мм, которая должна работать частоте 2856 МГц с видом колебания $\theta = 2\pi/3 = 120^\circ$.

Измерительный стенд включает в себя: шаговый двигатель для протягивания возмущающего тела, контроллер для управления шаговым

двигателем, анализатор S-параметров, кабельная трасса. Управление процессом и получение данных с анализатора S-параметра происходит с помощью системы автоматизации на основе кода, написанного на языке программирования Python.

В результате проведенных измерений определен вид колебания $\theta = 120^{\circ} \pm 15^{\circ}$, то есть ошибки изготовления ускоряющей структуры приводят к ошибкам набега фаз $\pm 15^{\circ}$. Определена фактическая рабочая частота $f = 2856.38$ МГц, которая близка к заявленной при изготовлении. На основе измеренных данных рассчитаны групповая скорость $v_{гр} = 0.018$ с м/си фазовая скорость $v_{ф} = 2.994 \cdot 10^8$ м/с. Кроме этого, получен коэффициент связи $|k_c| = 0.023$, постоянная времени $\tau_0 = 1.46$ мкс, коэффициент затухания по полю $\alpha = 0.126$ 1/м и время заполнения ускоряющей структуры $\tau = 0.276$ мкс.

На рисунке 1 показано измеренное распределение электрического поля для трех ячеек ускоряющей структуры. Видно, что оно отличается от теоретического распределения, изображенного на рисунке 2. Это связано с имеющимися ошибками фазового сдвига, которые приводят к изменению амплитуды в некоторых ячейках.

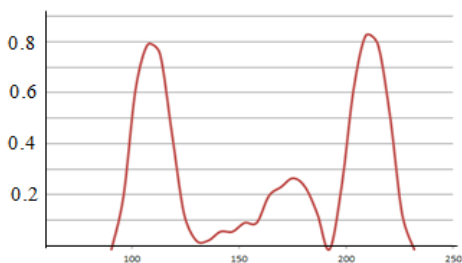


Рисунок 1 – Экспериментальное распределение продольной компоненты электрического поля для трех ячеек

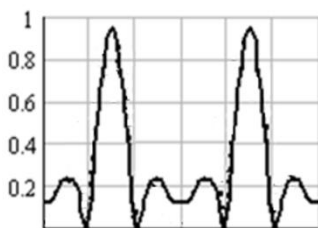


Рисунок 2 – Теоретическое распределение продольной компоненты электрического поля для трех ячеек

Таким образом, из полученных данных будет выработано техническое задание на изготовление ускоряющих структур инжектора

СКИФ и на группирующую систему.

В дальнейшем планируется провести измерения с возмущающими телами другой формы, увеличить точность метода, определить шунтовое сопротивление резонаторов.

Литература:

1. Каминский В.И., Сенюков В.А., Собенин Н.П. Высшие типы волн в элементах ускоряющих структур: Учебное пособие// М.: МИФИ, 2002. – 104 с.
2. Кузнецов С.И. Ускорители заряженных частиц. Курс физики с примерами решения задач: учебное пособие//Т.: ТПУ, 2011. – 45 с.
3. Лебедев И.В. Техника и приборы СВЧ. Т.1// М.: Высшая школа, 1970.-440 с.
4. Левичев А.Е., Павлов В.М. Линейные СВЧ ускорители: электродинамика ускоряющих структур. Учебное пособие//Н.: ИЯФ_НГТУ, 2014. – 158 с.
5. Степанов Ю.М. Ускорители электронов: методические указания к выполнению лабораторных работ по курсу «Электрофизические установки и ускорители»//Т.:ТПУ, 2008.-116 с.
6. Шехтман И.А. Теория электромагнитного поля. Учебное пособие// Н.:ИЯФ_НГТУ, 1998. – 151 с.

СИММЕТРИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ КОРОТКОЙ СЕТИ РУДНОТЕРМИЧЕСКОЙ ПЕЧИ МОЩНОСТЬЮ 16,5 МВА

А.Д. Евстратова, Л.П. Горева

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, alinaevstr@gmail.com**

Проведено исследование и моделирование нового конструктивного способа перешихтовки прямоугольных шин в жестком токоподводе руднотермической печи для достижения симметрии короткой сети. Также проведен сравнительный анализ коэффициентов асимметрии вторичного токоподвода для данного способа перешихтовки. В исследовании использована двухмерная модель шишкованного пакета прямоугольных шин в программном обеспечении ANSYS.

The research and modeling of new constructive method of recombination of rectangular tires in a hard current supply of ore-thermal furnace to achieve the symmetry of the short network. A comparative analysis of the asymmetry coefficients of the secondary current supply for this method of remixing is also carried out. The

study used a two-dimensional model of a rectangular tires package in the ANSYS software.

Руднотермические печи (РТП) являются основным агрегатом для расплавления руд и получения различных ферросплавов, используемых в черной металлургии. Электроэнергия в рабочее пространство РТП передается по вторичному токоподводу (Рисунок 1), рациональное проектирование которого обеспечивает эффективное использования электроэнергии в период работы печи.

По проводникам короткой сети протекают весьма большие токи промышленной частоты, которые создают вокруг проводников сильные магнитные поля. Из-за чего большое значение приобретают такие явления, как поверхностный эффект, эффект близости, неравномерное распределение тока по отдельным проводникам, перенос мощности между отдельными проводниками и фазами, потери энергии в металлических конструкциях и др.

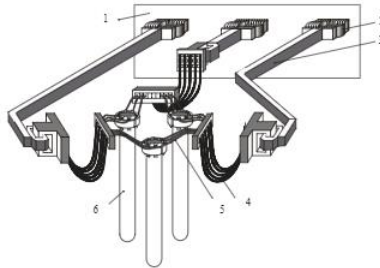


Рисунок 1 - Эскиз вторичного токоподвода трехэлектродной руднотермической печи: 1 –печной трансформатор; 2 – компенсаторы; 3 – шинопакет; 4 – гибкий токоподвод; 5 –трубки электрододержателя; 6 – электрод.

Основными требованиями, которым должна соответствовать короткая сеть руднотермической печи, являются: минимум активного и индуктивного сопротивлений фаз и их симметрия.

Параметры короткой сети оказывают большое влияние на технико-экономические показатели работы печи: коэффициент мощности, симметрию нагрузки фаз, удельный расход электроэнергии, электрический КПД и т.д.

Наиболее распространенной для круглых трехэлектродных печей является схема вторичного токоподвода «треугольник на электродах», так как она позволяет максимально бифилировать токоподвод для уменьшения его индуктивного сопротивления.

Современные мощные руднотермические печи в конструкции вторичного токоподвода имеют жесткий неподвижный участок (Рисунок 1-3), выполняемый в виде пакета прямоугольных шин или водоохлаждаемых трубошин. Зачастую он является самым протяженным из всех участков короткой сети. Именно на этом участке при одностороннем расположении источника питания относительно печи формируется несимметрия токоподвода за счет разности длин шинопакетов крайних и средней фаз.

В РТП небольшой мощности, с рабочими токами до 30-40 кА применяются шины прямоугольного сечения с естественным охлаждением. При оценке целесообразности применения трубчатого токоподвода необходимо учитывать то, что токоведущие трубы, по сравнению с прямоугольными шинами, обладают повышенной индуктивностью. Также активное сопротивление водоохлаждаемой трубы за счёт более низкой температуры нагрева заметно ниже по сравнению с шинами.

Анализ конструктивного исполнения реальных систем проводников шихтованных пакетов (Рисунок 2) руднотермических электропечей показывает, что в трехфазной системе токоподвода фазы отдалены друг от друга настолько, что их электромагнитные поля практически не взаимодействуют. В этом случае ставится задача расчета активного и индуктивного сопротивлений фазы расшихтованного токоподвода, который представляет собой систему параллельных проводников с токами встречных направлений. С другой стороны шихтованные пакеты фаз могут очень сильно различаться по длине, а значит, необходимо решать задачу симметрирования.

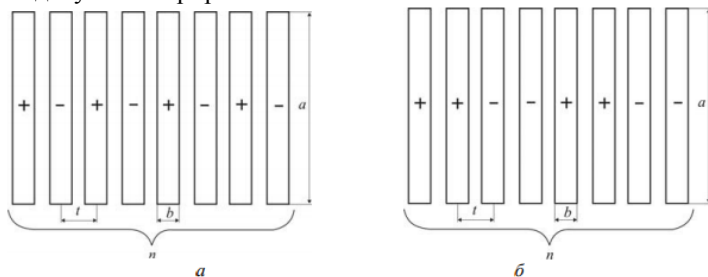


Рисунок 2- Варианты перешихтовки шинопакета из прямоугольных шин: а – чередование проводников полуфаз; б – попарное чередование проводников полуфаз

В бифилярном пакете общее число шин соответствует числу выводов вторичной стороны печного трансформатора и не превышает 8

на полуфазу. Толщина медных шин 10-12 мм является оптимальной по условиям поверхностного эффекта, высота до 400 мм ограничивается условиями охлаждения пакета шин.

Применяемые на практике варианты перешихтовки прямоугольных шин не всегда обеспечивают нужное индуктивное сопротивление на средней фазе, поэтому в данной работе рассматривается иное конструктивное решение расположения проводников в жестком токоподводе, как показано на рисунке 3.

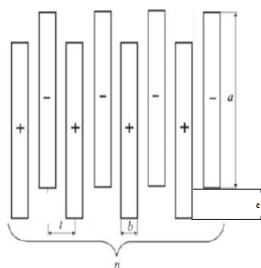


Рисунок. 3. Перешихтовка шинопакетов из прямоугольных шин со смещением по высоте

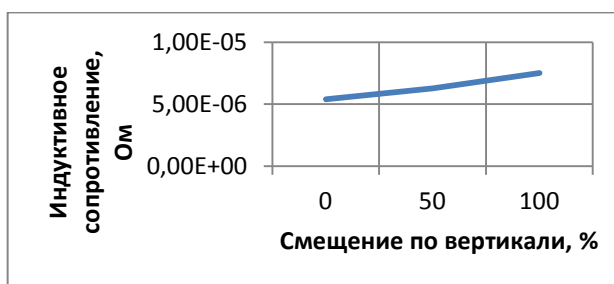


Рисунок.4. Изменение индуктивного X сопротивления шинопакета 300×12 мм от процента смещения по вертикали

Был рассмотрен данный способ перешихтовки в программном обеспечении ANSYS для прямоугольных шин различных значений высоты шины ($a = 0.1; 0.2; 0.3; 0.4$ м) и толщины шины ($b = 0.01; 0.012$ м), с количеством 8 на полуфазу при трех вариантах смещения.

Представим результаты на примере показанном на рисунке 4 для прямоугольных шин размером 300×12 мм с количеством 8 на полуфазу

при трех вариантах смещения. Как можно увидеть со смещением по высоте на 100% индуктивное сопротивление увеличилось в 1.5 раза, Из этого можем сделать вывод, что параметром c можно управлять индуктивностью шихтованного пакета. Также был проведен сравнительный анализ коэффициентов асимметрии вторичного токоподвода, который показал, что применяя данный способ перешихтовки, можно добиться большей симметрии фаз короткой сети.

Литература:

1. Исследование электрических параметров шихтованных пакетов прямоугольного сечения рудно-термических электропечей / А. И. Алиферов, Р. А. Бикеев, Л. П. Горева, Я.В. Катасонова // Автоматизированные электромеханические системы : [сб. науч. тр.]. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2011. – С. 136–141.
2. Симметрирование электрических параметров расшихтованного жесткого токоподвода руднотермической электропечи / А. И. Алиферов, Р. А. Бикеев, Л. П. Горева, А. Ю. Игнатенко, А. В. Бордунова // Электротехника. - 2014. – № 12. - С. 54-58.
3. Метод расчета параметров шихтованных пакетов руднотермических печей / А. И. Алиферов, Р. А. Бикеев, Л. П. Горева, А. Ю. Игнатенко // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. - 2013. - № 6. - С. 41-44.
4. Данцис Я.Б. Короткие сети и электрические параметры дуговых электропечей. Справ. изд./ Я. Б.Данцис, Л. С.Кацевич, Г. М. Жилов и др./ 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия.- 1987.- 320 с.

СОГЛАСОВАНИЕ ИНДУКТОРА С ТРАНЗИСТОРНЫМ ИНВЕРТОРОМ НАПРЯЖЕНИЯ ПРИ МАГНИТНОЙ И НЕМАГНИТНОЙ ЗАГРУЗКЕ.

А.А. Жукова, А.А. Хоршев, С.В. Дзливев
Санкт-Петербургский государственный электротехнический
университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)
г. Санкт-Петербург, aazhukova@stud.eltech.ru

В качестве исходной задачи выступает условие нагрева трубы высотой 1,8 м медным индуктором питающимся от транзисторного инвертора напряжения до температуры 850 °С. В работе рассматриваются трудности нагрева если труба будет из магнитного материала и почему стоит выбрать

немагнитную трубу, если для процесса проходящего внутри, материал трубы не столь важен.

The initial task is the condition of heating the pipe with a height of 1.8 m by a copper inductor fed from a transistor voltage inverter to a temperature of 850 °C. The paper deals with the difficulties of heating if the pipe is made of magnetic material and why it is worth choosing a non-magnetic pipe, if the pipe material is not so important for the process inside.

Для индукционного нагрева трубы с помощью медного индуктора необходим блок согласования (БС), для компенсации реактивного сопротивления. Так как источником питания является транзисторный генератор, который выполнен на базе мостового инвертора напряжения, работающего в резонансном режиме с частотным регулированием, то нагрузка должна представлять из себя последовательный резонансный контур с индуктивной расстройкой, для обеспечения мягкой коммутации транзисторов [1,2]. Под нагрузкой в данном случае понимается блок согласования и индуктор.

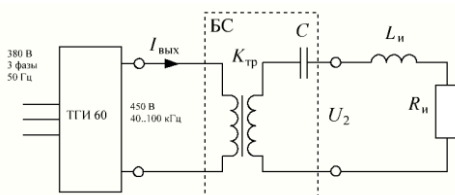


Рисунок 1 – Схема согласования с трансформатором и конденсатором на вторичной стороне

Оптимальная схема согласования представлена на рисунке 1.

Данная схема представляет собой БС, состоящий из понижающего трансформатора с коэффициентом трансформации $K_{тр}$ и конденсаторной батареи C на вторичной стороне. Преимущество данной схемы в том, что трансформатор понижает напряжение в нагрузочном контуре, а включение конденсатора на вторичной стороне трансформатора позволяет существенно уменьшить габариты и массу трансформатора, так как реактивная мощность индуктора, которая может быть на порядок больше активной, локализована в нагрузочном колебательном контуре. Так же если конденсатор включен на вторичной стороне трансформатора, то изменение коэффициента трансформации не влияет на собственную частоту нагрузочного контура [3].

В качестве исходных данных для расчета параметров согласующего устройства были взяты годографы вектора комплексного

сопротивления, полученные путем математического моделирования (см.рис. 2). Численные значения приведены в таблице 1.

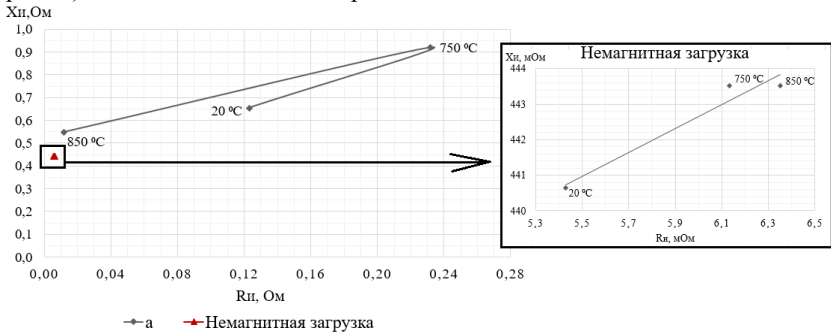


Рисунок 2– Годографы вектора комплексного сопротивления для магнитной и немагнитной нагрузки

Таблица 1 – Численные значения годографов

Магнитная нагрузка				Немагнитная нагрузка			
T, °C	R, Ом	L, мкГн	X, Ом	T, °C	R, Ом	L, мкГн	X, Ом
20	0,123	1,58	0,654	20	0,054	1,063	0,441
75	0,232	2,22	0,920	75	0,061	1,070	0,444
85	0,012	1,32	0,547	85	0,064	1,070	0,444

Из годографов видно, что если труба магнитная, то при температуре, когда труба начинает терять магнитные свойства (точка Кюри), активное сопротивление увеличилось в 2 раза (от значений при температуре 20 °C), а после потери магнитных свойств активное сопротивление уменьшается в 20 раз (от значений при температуре 20 °C). Индуктивное сопротивление при точке Кюри увеличилось на 40 %, а затем снизилось до 83% от значений при температуре 20 °C. Таким образом, параметры для БС будут отличаться для различного вида нагрузки, при одинаковых параметрах индуктора и геометрии нагрузки.

При расчете емкости конденсаторной батареи (КБ) в случае магнитной нагрузки, необходимо учесть, что перед потерей магнитных свойств индуктивное сопротивление максимально, т.е. нагрузочный контур имеет самую низкую резонансную частоту в этот момент.

Поэтому для расширения диапазона регулирования источником питания, целесообразно рассчитывать емкость КБ для L_{\max} . Учитывая, что резонансная частота нагрузочного контура f_0 должна входить в рабочий диапазон источника: $f_{\min} \leq f_0 \leq f_{\max}$, для того, чтобы диапазон регулирования был больше, при расчете емкости принимаем желательное условие $f_0 = f_{\min}$. Таким образом, требуемое значение емкости компенсирующего конденсатора определяется выражением:

$$C = \frac{1}{4\pi^2 f_{\min}^2 L_{\max}}$$

Для согласования необходимо, чтобы значение приведенного активного сопротивления было близко к значению номинального у генератора, (в нашем случае использовался ТГИ 40/66 $cR_{и,ном} = 4,1$ Ом), добиться этого можно изменяя коэффициент трансформации понижающего трансформатора. Приведение активного сопротивления нагрузочного контура $R_{и}$ к первичной обмотке понижающего трансформатора ($\bar{R}_{и}$) осуществляется по формуле [3]:

$$\bar{R}_{и} = R_{и} K_{тр}^2,$$

тогда коэффициент трансформации рассчитывается:

$$K_{тр.а} = \sqrt{\frac{R_{ном}}{\bar{R}_{и.а}}};$$

Так как по условиям технического задания необходимо греть трубу продолжительное время, поддерживая температуру 850 °С, то для расчета коэффициента трансформации выбирается из годографа значение активного сопротивления при 850 °С.

Таблица 2 – Результаты расчета параметров для блока согласования при различной нагрузке, для горячего режима

Параметр	Магнитная нагрузка	Немагнитная нагрузка
Емкость КБ, мкФ	4,56	9,47
$K_{тр}$	18	26

Результаты расчетов для магнитной и немагнитной трубы, для горячего режима представлены в таблице 2, где видно, что габариты БС для нагрева магнитной трубы могут быть гораздо меньше, однако если необходимо

греть до температуры выше точки Кюри, данное преимущество не оправдано, в чем мы убедились на практике.

Для эксперимента был произведен нагрев магнитной трубы высотой 1,8 м, диаметром 0,159 м с помощью 30 виткового индуктора, подключенного через БС к генератору ТГИ40/66 [1]. Для контроля температуры трубы используется термомпара, закрепленная в середине

участка трубы, который помещен в индуктор. БС был изготовлен с двумя $K_{тр}$: 15 и 18, нагрев производился при $K_{тр}=15$; емкость КБ была равна 5 мкФ. Внешний вид установки представлен на рисунке 3.

Эксперимент показал, что согласование 30-ти виткового индуктора для нагрева магнитной трубы затруднительно, так как значение сопротивления в холодном и горячем режиме различаются более чем в 10 раз, следовательно, для выхода на горячий режим необходимо менять $K_{тр}$ в процессе нагрева. Т.к. в данном БС не предусмотрена смена $K_{тр}$ при нагреве, достичь заданной температуры не удалось.

Вывод, для нагрева трубы до 850 °С и поддержания этой температуры стоит выбирать немагнитную трубу, т.к. ее сопротивления при нагреве изменяются менее чем на 19 %, следовательно блок согласования необходим с определенными параметрами, которые не придется менять при нагреве. Данный заключения полезны для случаев, где индукционно можно нагреть трубу, внутри которой может происходить какой-либо процесс, для которого важна температура, а не магнитные свойства трубы.

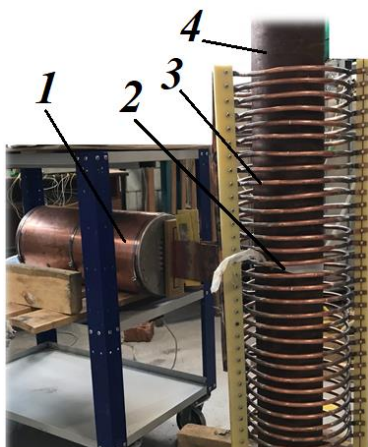


Рисунок 3 – Внешний вид экспериментальной установки, где 1 - БС, 2 - термопара, 3 – индуктор, 4 – магнитная труба (загрузка)

Литература:

1. ООО «Научно-исследовательский, образовательный и производственный центр высокочастотных электротехнологий «ИНТЕРМ». Режим доступа: <http://www.interm.su>

2. Б.Ю. Семенов. Силовая электроника: от простого к сложному. – М.: Солон-Пресс, 2005. 22-75 с.
3. С. В. Дзлиев. Транзисторные генераторы для индукционного нагрева. СПб.: СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2012. 66-135 с.

УЛУЧШЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ ПРИЖИМНОГО КОЛЬЦА РУДНОТЕРМИЧЕСКОЙ ПЕЧИ

В.В. Золотарев, А. И. Алиферов
Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, zolotoi_2096@mail.ru

Данный доклад посвящен модернизации, усовершенствованию конструкции прижимного кольца электрода руднотермической печи при помощи моделирования и последующего определения оптимального материала и размеров прижимного кольца, что позволит уменьшить влияние свища на прижимное кольцо и улучшить технико-экономические показатели руднотермической печи, а также увеличить время безостановочного технологического процесса.

This report is devoted to the modernization, improvement of the structure of the clamping ring of the electrode of the ore-thermal furnace by means of modeling and subsequent determination of the optimal material and size of the clamping ring, which will reduce the effect of the fistula on the clamping ring and improve the technical and economic performance of the ore-thermal furnace, as well as increase the time of the non-stop process.

Руднотермические печи (РТП) применяются в металлургии черных металлов и других отраслях для получения ферросплавов – сплавов железа с кремнием, марганцем, хромом, вольфрамом и др.

Нагрев перерабатываемых материалов производится за счет теплоты, возникающей при протекании тока по электродам, электрической дуге и расплавляемому материалу. Дуга горит под слоем электропроводной шихты, теплота выделяется в дуговом разряде и при прохождении тока через шихту.

В РТП применяются самоспекающиеся электроды. Самоспекающиеся электроды представляют собой круглый или прямоугольный кожух из стали толщиной 1,5–5 мм, заполняемый сверху пастообразной электродной массой. При входе в печь под действием теплоты, выделяемой за счет джоулева тепла при протекании тока по электроду и выделенного в печи, электродная масса спекается. По мере сгорания кожух электрода наращивается и заполняется массой, что обеспечивает непрерывную работу печи. Контактные щёки служат

для подвода тока к электроду. Система гидприжима контактных щёк обеспечивает поддержание усилия прижима щеки к электроду. Для охлаждения применяют умягченную техническую воду[1].

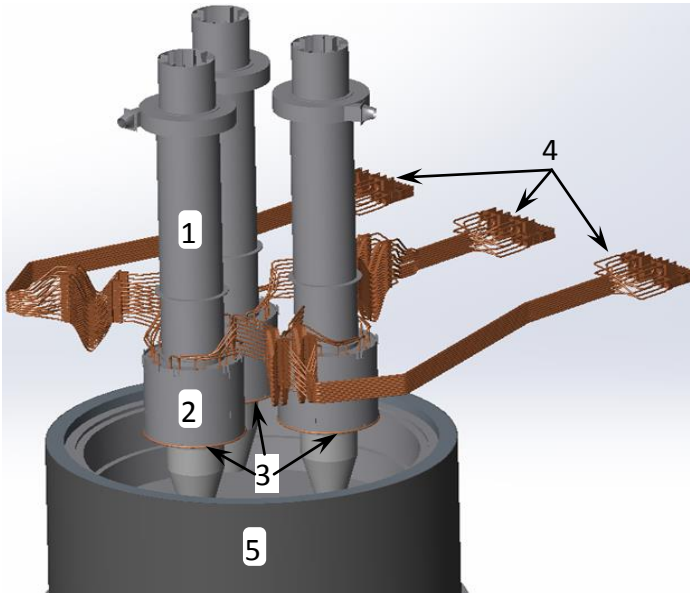


Рисунок 1 - Руднотермическая печь:

1 – самоспекающиеся электроды, 2 – тепловые экраны, 3 – прижимные кольца, 4 – токоподвод, 5 – стенка ванны электропечи

Над колошником РТП кольца гидроприжима щёк и тепловые экраны всегда находятся в крайне напряженных тепловых условиях. Одной из проблем РТП является свищ. Свищ это высокотемпературный концентрированный поток газа вырывающийся из шихты, который возникает при неоптимальной технологии проведения плавки и обслуживанием печи. При образовании свища поток высокотемпературного газа высвобождается вверх и попадает на кольца гидроприжима и тем самым может выводит их из строя. Выход из строя колец гидроприжима приводит к остановке печи и технологического процесса.

Для исследования выбрана РКО-27 и метод численного моделирования с использованием ПО ANSYS. в ней решается трехмерная тепловая задача. В работе проведены исследования по нахождению оптимальной конструкции прижимного кольца путём

выбора металла и его размеров. [2]. Также изменению подвергся коэффициент теплоотдачи потока охлаждающей воды.

При моделировании конструкция прижимного кольца были приняты допущения, которые позволили преобразовать сегмент прижимного кольца в пластину.

Полученные результаты, как видно из таблицы 1, позволили выявить, что при значениях толщины нижней стенки больше 75мм термическое сопротивление теплового потока в этой стенки практически не изменяется. При этом отводится максимально возможное количество тепла с наружной поверхности стенки.

Таблица 3.1. Температура внешней поверхности медного кольца прижима.

σ , мм	25	40	50	75	100	150
T , °C	685	597	574	552	547	543

Для других исследуемых материалов зависимость максимальной температуры от толщины нижней стенки имела идентичных характер, как показано на рисунке 3.

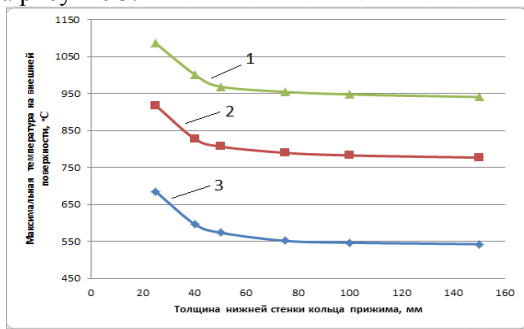


Рисунок 2 -Температура по внешней поверхности попадания попадания свища.

1 – бронза фосфористая, 2 – бронза БрКд1, 3 – медь

Эти зависимости показали, что для каждого из этих материалов с различным коэффициентом теплопроводности независимо от толщины стенки разность T_{max} , полученной для меди(400) и значения для любой другой теплопроводности, постоянна.

В результате анализа полученных зависимостей установлено, что зависимость T_{max} можно представить в виде суммы двух сомножителей: первый характеризующий функцию $T_{max}(h)$, а второй

разность температур получаемой при разных коэффициентах теплопроводности $\Delta T(\lambda)$

$$T_{max} = T(h) + \Delta T(\lambda)$$

В результате обработке данных методом наименьших квадратов посредством программного пакета Excel получено следующее полиномиальное выражение, разворачивающее формулу представленную выше:

$$t = -2 \cdot 10^{-7} \cdot \sigma^5 + 8 \cdot 10^{-5} \cdot \sigma^4 - 0.0142 \cdot \sigma^3 + 1.2 \cdot \sigma^2 - 49.98 \cdot \sigma + 1382 - 387.3 \cdot \ln(\sigma) + 689.02$$

При этом достоверность аппроксимации $R^2=0.998$.

Исследованная зависимость максимальной температуры на наружной поверхности попадания «свища» от толщины и коэффициента теплоотдачи воды показала, что коэффициент теплоотдачи не оказывает существенного влияния на изменение температуры после того как толщина стенки прижимного кольца достигает 75мм.

В проделанной работе было выявлено,нецелесообразное использование нержавеющей стали 12X18H10T и стали марки 45 для создания колец прижима гидропривода. Температура на поверхности попадания «свища» превышала температуру плавления данных материалов.

Литература:

1. В.С. Чердниченко и А.И. Алиферов, Электротехнологические установки и системы. Теплопередача в электротехнологии. Упражнения и задачи: учеб. Пособие для вузов, Новосибирск: НГТУ, 2011.
2. В.А. Елизаров, «Разработка тепловой модели рудно-термической печи с закрытой дугой», Электromеталлургия, № 10, 2010.
3. Д.С. Власов, Влияние электромагнитных и тепловых процессов в неэлектропроводящих элементах металлоконструкций на работоспособность мощных электротехнологических установок :дис. ... канд. техн. наук : 05.09.10 / Д.С. Власова; науч. Рук. А. И. Алиферов; Новосиб. гос. техн. ун-т. – Новосибирск, 2013.
4. А. Д. Свенчанский, Электрические промышленные печи / А. Д. Свенчанский. – М.: Металлургиздат, 1975.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В МГД-НАСОСЕ ЧИСЛЕННЫМ МЕТОДОМ.

И.В. Кижаяев, А.В. Фомин, В.Ю. Андрущенко, В.Н. Тимофеев
«Сибирский федеральный университет, Красноярск»
Ivan333x@mail.ru

В данной статье проведен анализ электромагнитных и гидродинамических процессов плоской линейной индукционной машины с помощью численного метода математического моделирования. Получены картины распределения магнитной индукции в системе «канал-индуктор» и поля скоростей в канале.

This article analyzes the electromagnetic and hydrodynamic processes of a flat linear induction machine using a numerical method of mathematical modeling. The pictures of the distribution of magnetic induction in the "channel-inductor" system and velocity fields in the channel are obtained

С развитием ядерной энергетики растет потребность в более мощном оборудовании и агрегатах, поддерживающих работоспособность станции. Основными установками являются насосы для перекачки жидкого теплоносителя (Рисунок 1). Для сокращения потраченных ресурсов и времени в процессе изготовления данных устройств применяются мощные программные продукты, позволяющие моделировать физические процессы.

Компьютерное моделирование является одним из эффективных методов изучения сложных систем. Компьютерные модели проще и удобнее исследовать в силу их возможности проводить т. н. вычислительные эксперименты, в тех случаях когда реальные эксперименты затруднены из-за финансовых или физических препятствий или могут дать непредсказуемый результат. Логичность и формализованность компьютерных моделей позволяет определить основные факторы, определяющие свойства изучаемого объекта-оригинала или целого класса объектов.

В данной работе использовался комплекс программ ANSYS, позволяющий решать линейные, нелинейные, стационарные и нестационарные пространственные задачи механики деформируемого твёрдого тела и механики конструкций (включая нестационарные геометрически и физически нелинейные задачи контактного взаимодействия элементов конструкций), задачи механики жидкости и газа, теплопередачи и теплообмена, электродинамики, акустики, а также механики связанных полей. Mechanical APDL предоставляет возможность моделирования электромагнитных и тепловых процессов. Модуль CFX направлен на изучение гидродинамики.

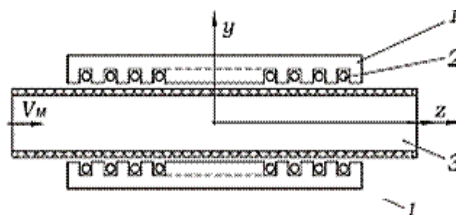


Рисунок 1 – Эскиз плоского двустороннего линейного насоса, где: 1 – магнитопровод; 2 – обмотка; 3 – канал с металлом.

Модель представляет собой симметричную модель, состоящую из двух параллельных частей. Расчет будет проводиться со следующими допущениями:

- Задача является плоско-симметричной, поэтому производим расчет только для одной из сторон системы индуктор-канал с металлом;
- Пренебрегаем концевым эффектом и лобовыми частями обмоток;
- Расчет производится в двухмерной постановке.

После применения всех вышеперечисленных допущений в итоге получаем следующую модель (Рисунок 2):

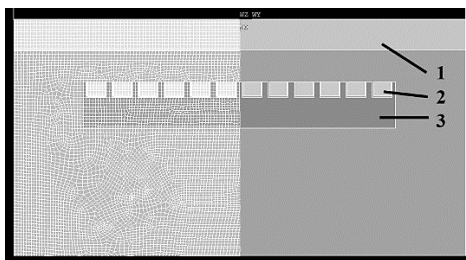


Рисунок 2 – Математическая элементная модель плоского линейного насоса, где: 1 – канал с металлом; 2 – обмотки; 3 – магнитопровод.

После построения геометрии решаемой модели, необходимо разбить ее на элементы. Для более точных результатов, грамотное построение сетки является наиболее приоритетной задачей. Но при сильно мелком разбиении срок времени расчета может увеличиваться до нескольких дней. Чтобы добиться точных результатов и ускорить расчет воспользуемся уплотнением сетки в канале, магнитопроводе и обмотке. В среде сетку задаем более разрозненной.

По завершении расчета благодаря мощному блоку постпроцессинга можно посмотреть на распределение электромагнитных характеристик. На рис. 3 представлена векторная составляющая плотности тока, распределение вектора магнитной индукции (Рисунок 4).

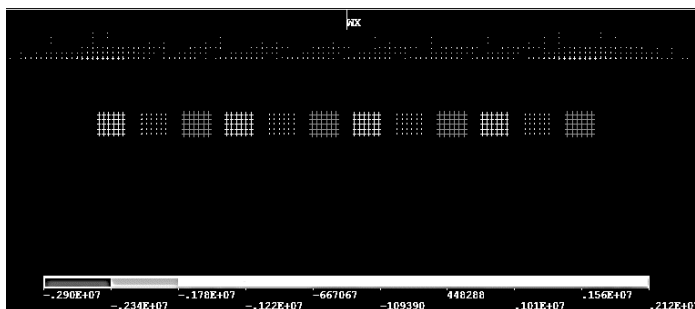


Рисунок 3 – Распределение плотности тока в системе «индуктор-канал с металлом»

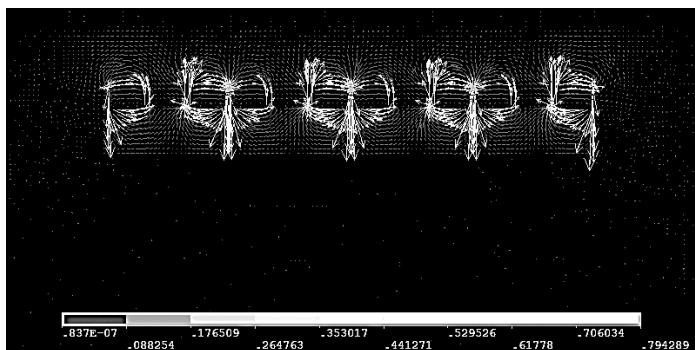


Рисунок 4 – Распределение вектора магнитной индукции в системе «индуктор-канал с металлом»

MechanicalAPDL не дает возможности напрямую исследовать гидродинамические процессы необходимо интегрировать полученные данные в CFX. С помощью специального макроса импортируем данные и в результате получаем векторное поле скоростей (Рисунок 5).

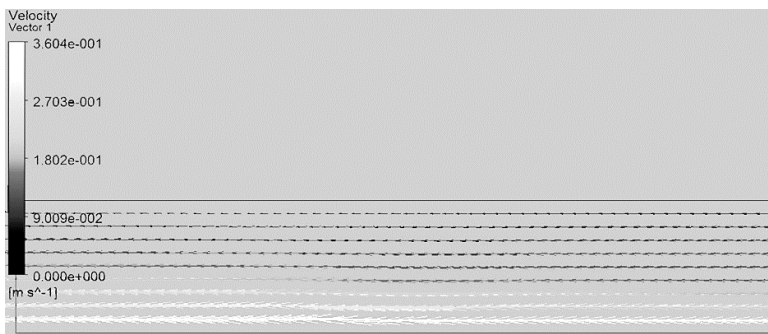


Рисунок 5 – Векторное распределение скорости движения жидкого металла в канале

Полученные результаты могут быть использованы для проектирования опытно-промышленного образца. На основе полученных данных имеется возможность составления практических рекомендаций и методических указаний.

Литература

1. Тимофеев, В.Н. МГД технологии в металлургии / В.Н. Тимофеев, Е.А. Павлов, М.В. Первухин, С.П. Тимофеев, М.Ю. Хацаюк // МГД технологии в металлургии. Интенсивный курс специализация IV. – Санкт-Петербург; изд. СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2013. – 250 с.
2. Фомин А.В. Винтер Э.Р./ Установка электромагнитного перемешивания жидкой сердцевины слитка /Сборник научных трудов 26-ой региональной научной студенческой конференции: "Интеллектуальный потенциал Сибири"/ Новосибирск 2018. стр 228-229
3. K. Bolotin, I. Smolyanov, E. Shvydkiy [et al.] // Numerical simulation of the electromagnetic stirrer adapted by using magnetodielectric composite. *Magnetohydrodynamics*. – 2017. – V. 53. – № 4. – P. 723–730.

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАГРЕВА ПЛОСКИХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ДИСКОВ КОЛЬЦЕВЫМИ ИНДУКТОРАМИ

В.Е. Коровиц, Р.А. Бикеев

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, korovin555@mail.ru**

В работе показан процесс разработки кольцевого индуктора, в котором при нагреве плоских металлических дисков под обработку давлением предполагается достигнуть наиболее равномерного распределения температуры по радиусу заготовки.

The papers show the development process of ring inductor, in which when metal discs are heated under pressure treatment, it is supposed to achieve the most uniform temperature distribution along the workpiece radius.

Широкое применение индукционного нагрева металлов обусловлено простотой технологии, высоким качеством получаемых изделий, возможностью автоматизации процессов и высокими эргономическими свойствами. Повышение цен на сырье приводит во всем мире к тенденции расширения применения индукционного нагрева. Такая тенденция наблюдается и в нашей стране. Поэтому внимание к термической обработке индукционным нагревом усиливается. В то же время применение индукционного метода вследствие специфики передачи энергии в нагреваемое изделие вносят определенные особенности в поведение стали и сплавов при нагреве и последующем охлаждении. Быстрота нагрева, свойственная этому методу, отражается на кинетике фазовых превращений в сплавах, и к концу нагрева структурное состояние сплава не соответствует равновесному состоянию. Это предъявляет особые требования к условиям охлаждения[1].

Развитие индукционного нагрева идет по пути совершенствования его технологии и автоматизации, в том числе и на основе достижений современной вычислительной техники. В связи с ростом мощности установок и расширением их использования в промышленности особое значение приобрело совершенствование основной аппаратуры и источников питания, направленное на улучшение энергетических показателей и надежности установок для нагрева проводящих материалов и диэлектриков.

Целью предстоящего исследования является разработка индуктора для нагрева металлических заготовок дискообразной формы для дальнейшей обработки давлением.

Индукторы для нагрева плоских поверхностей производятся в виде плоских спиралей или одиночных витков, расположенных над нагреваемой поверхностью. Индуктированный ток из-за эффекта близости концентрируется под индуктором. Результирующий ток оказывается ослабленным по сравнению с индуктируемым одной ветвью, что приводит к уменьшению мощности, сообщаемой нагреваемой поверхности, и к уменьшению электрического КПД индуктора. По этой причине расстояние между прямой и обратными ветвями должно быть больше четырех зазоров между индуктором и нагреваемой поверхностью. Но ширина нагретой зоны может быть велика, что не всегда допустимо.

Наиболее близким по технической сущности и достигаемому результату к разрабатываемому индуктору является индукционный нагреватель, изображенный на рисунке 1 [2]. Индуктор выполнен в виде плоской архимедовой спирали 2, расположенной на электро- и теплоизоляционном основании 1. Индуктор соединен с источником переменного тока высокой частоты. Между витками спирали индуктирующего проводника 2 расположены витки промежуточной спирали магнитного концентратора 3, выполненные из материала, содержащего ферромагнетик. Такой концентратор снижает рассеиваемое поле и перераспределяет вихревые токи по нагреваемой поверхности.

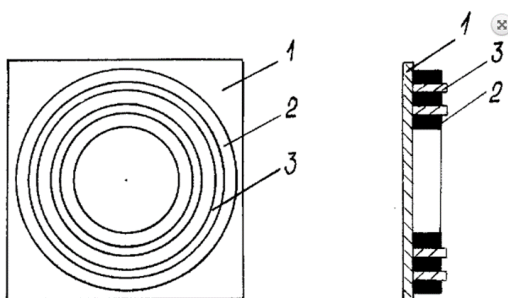


Рисунок 1 - Схема индуктора в виде плоской спиральной катушки с промежуточной спиралью[2]

Однако, недостатком данной установки является невозможность получения достаточно равномерного температурного поля, т.к. между витками индуктора имеется достаточно большой зазор, в котором располагается концентратор магнитного потока.

Повышение качества обработки изделия путем создания равномерного температурного поля по радиусу заготовки дискообразной формы предполагается достигнуть следующим образом: для нагрева заготовки используется система кольцевых индукторов, каждый из которых питается своей величиной и фазой тока. Таким образом компенсируется влияние магнитного поля других витков системы. Кроме того, зазор между индукторами минимален, что так же помогает выровнять температурное поле заготовки.

На рисунке 2 изображена предполагаемая система индукторов для сквозного нагрева заготовок дискообразной формы.

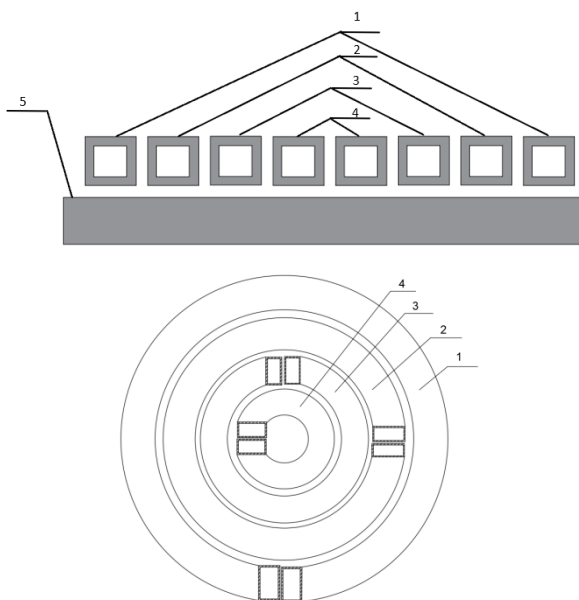


Рисунок 2 - Система индукторов для сквозного нагрева заготовок дискообразной формы

Данная система работает следующим образом: при включении системы индукторов на каждый индуктор 1-4 поступает переменный ток своей величины и фазы от источника питания, который создает вокруг витков индукторов переменное магнитное поле, индуцирующее вихревые токи в поверхности нагреваемой заготовки дискообразной формы 5, приводящие к ее нагреву. Эффекты, обусловленные наличием

своего источника питания для каждого индуктора, приводят к компенсации влияние магнитного поля других витков системы, в результате чего выравнивается температурное поле заготовки.

Решение данной задачи предполагается осуществить с помощью программы Ansys путем моделирования процесса нагрева металлического диска в разрабатываемом индукторе. В результате решения сопряженной электромагнитной и тепловой задачи необходимо получить распределение температуры по радиусу заготовки.

Литература:

1. Установки индукционного нагрева / Слухоцкий А.Е., Немков Н.А., Павлов Н.А., Под общей ред. Слухоцкого А.Е. – Л.: Энергоиздат. Ленингр. отдние, 1981. – 328 с.

2. Патент РФ 2193293, МПК H05B6/36, 2002г., «Индуктор для нагрева плоских поверхностей», Земан С.К., Бабенко П.Г./ Заявлено 2000-11-23. Опубликовано 20.11.2002.

ОПТИМИЗАЦИЯ ФУТЕРОВКИ РУДНОТЕРПИЧЕСКОЙ ПЕЧИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ РАСПЛАВА БАЗАЛЬТА В ГАРНИСАЖЕ

В.Д. Кочкин, А.И. Алиферов
Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, jlor2@yandex.ru

Доклад посвящен оптимизации футеровки руднотермической печи для получения расплава базальта с целью организации на поверхности футеровки слоя гарнисажа.

The report is devoted to the optimization of the lining of the ore-thermal furnace to produce basalt melt in order to organize a layer of garnishing on the surface of the lining.

По своим показателем, среди плавильных установок базальтовых пород, можно выделить рудно-термические печи (РТП) для плавки базальта[1]. Процесс плавки базальта является бездуговым, то есть электрод имеет непосредственный контакт с шихтой, а нагрев происходит путем прохождения тока через шлак, то есть нагрев сопротивлением. За счет данных особенностей нагрева температурное поле равномерно распределяется по расплаву, а из-за наличия больших фазных токов происходит интенсивное перемешивание расплава, что приводит к его гомогенизации.

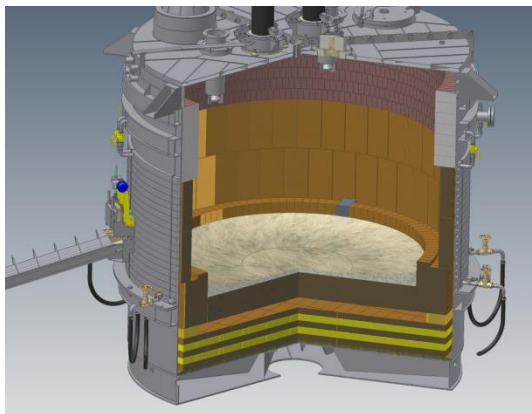


Рисунок 1 - Ванна руднотермической печи

Так же РТП позволяет получить высокую температуру расплава, что повышает его однородность и улучшает физические свойства получаемых базальтовых волокон:

Внешняя часть стенки ванны охлаждается водой, протекающей по профильным трубам прямоугольного сечения. Данная конструкция позволяет интенсивно охлаждать поверхность футеровки, а так же организовать слой застывшего расплава- гарниссажа на внутренней ее поверхности. Гарнисаж обеспечивает защиту футеровки от расплава и уменьшает ее износ. Контакт футеровки с расплавом приводит к ее разрушению, а попадание его частиц в расплав меняет химический состав расплава, а так же влияет на физические свойства базальтовых волокон

Решение данной задачи были проедены в системе программного обеспечения ANSYS. Целью работы является выявление параметров системы охлаждения и толщины футеровки, способствующие организации гарниссажа на внутренней поверхности, а так же, зависимость величины данного слоя от перечисленных выше параметров.

Модель представляет собой (рисунок 2) ванну определенного размера (радиус рабочего пространства 1445 мм), в рабочем пространстве которого распложен расплавляемый материал . Ванна выполнена из магнезитовой футеровки - толщина которой составляет 150, 100 или 200 мм.

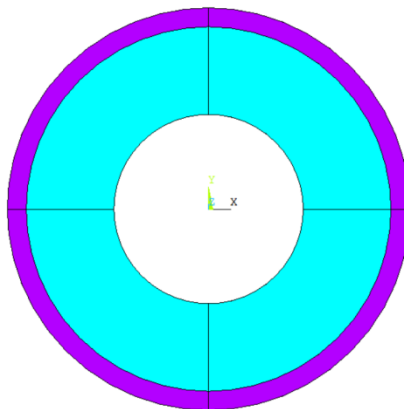


Рисунок 2- расчетная модель построенная в ПО ANSYS

Коэффициент теплоотдачи боковой стенки на внутренней поверхности футеровки был рассчитан по критериям подобия Нюсельта и Рейнольдса при скоростях охлаждающей воды 1 и 3 м/с, значения коэффициентов теплоотдачи равны 3668 Вт/(м²*К) и 8833 Вт/(м²*К). В центре ванны находятся 3 электрода с постоянным выделением мощности, таким образом можно сделать допущение о постоянстве температуры в области под электродами (граничные условия первого рода). Так как ванна печи водоохлаждаемая, то на внешней границы футеровки задаем условия третьего рода.

В ПО ANSYS было произведено решение уравнения теплопроводности в цилиндрических координатах [2]:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \left(\frac{\partial^2 t}{\partial r^2} + \frac{1}{r} * \frac{\partial t}{\partial r} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right),$$

где r -радиус до центральной оси; $a = \frac{\lambda_{эф}}{c\rho}$ -коэффициент температуропроводности; $\lambda_{эф}$ -эффективный коэффициент теплопроводности; $c(t)$ -удельная теплоемкость, функция от температуры; $\rho(t)$ - удельная плотность материала, функция от температуры;

На рис.2 можно увидеть пример распределения температурного поля по объему ванны печи.

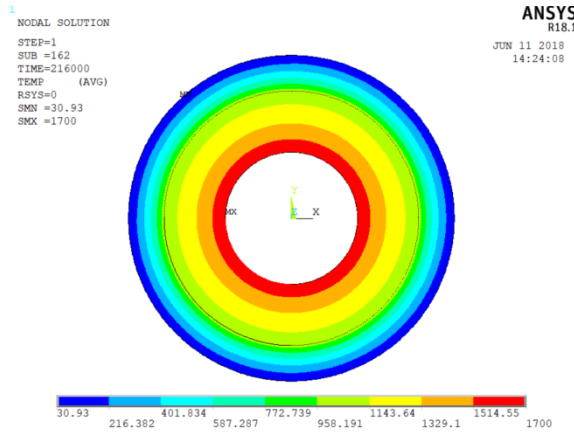


Рисунок 3- Температурное поле в объеме ванны при $\lambda_{эф} = 15 \frac{Вт}{м \cdot К}$ и толщине футеровки 200 мм.

На рис.3 представленные результаты моделирования. Изменение скорости потока жидкости не дало ощутимой зависимости на величину слоя, так при скорости потока жидкости 1 и 3 м/с, толщина слоя δ отлична всего на несколько миллиметров.

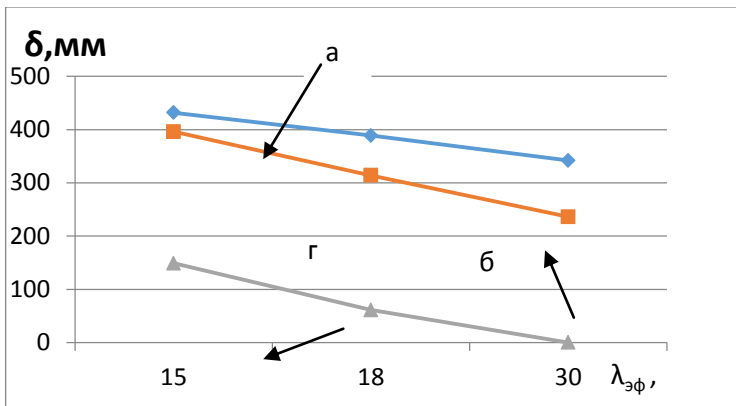


Рисунок 3-График зависимости величины слоя гарнизая от размера футеровки и эффективного коэффициента теплопроводности.
 а- толщина футеровки 100 мм; б- толщина футеровки 150 мм; г- толщина футеровки 200 мм.

В процессе исследования получены зависимости толщины слоя гарнисажа от толщины стенки футеровки и эффективного коэффициента теплопроводности расплава.

Литература:

1. Основы производства базальтовых волокон и изделий / Джигрис Д.Д., Махова М.Ф. –М.: Теплоэнергетик.2002.-416с.-(каменный век)

2. В.С. Чередниченко и А.И. Алиферов, Электротехнологические установки и системы. Теплопередача в электротехнологии. Упражнения и задачи: учеб. Пособие для вузов, Новосибирск: НГТУ, 2011.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ВЕРИФИКАЦИЯ ОПТИМАЛЬНОГО ПО БЫСТРОДЕЙСТВИЮ АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА

А.К. Бутин, Е.И. Мишкин

**ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический
университет», г. Самара, butinn22@gmail.com**

В данной работе представлена экспериментальная верификация оптимального по быстродействию алгоритма управления, полученного на основе методов теории оптимального управления с использованием численной FLUX модели процесса индукционного нагрева.

The information in that work is introduced experimental verification of data of a time-optimal algorithm of control, which is based on the methods of theory of optimal control using numerical FLUX model of process of induction heating.

Индукционный нагрев является одним из наиболее эффективных методов предварительного нагрева металлических заготовок перед обработкой давлением, который обладает рядом преимуществ перед конкурентными технологиями. Типовые критерии оптимизации процессов индукционного нагрева учитывают основные производственные характеристики индукционных нагревательных установок: производительность (критерий быстродействия), качество продукции (критерий точности нагрева), энергетические затраты (критерий энергосбережения) [1].

Целью данной работы является экспериментальная верификация оптимального по быстродействию алгоритма управления процессом сквозного индукционного нагрева стальной цилиндрической заготовки до заданной температуры $T^* = 515$ °С.

В качестве критерия оптимальности I выбран наиболее распространённый критерий быстродействия, минимизирующий время

t_0 процесса нагрева заготовок до требуемой температуры T^* , а соответствующая задача управления формулируется как задача поиска оптимального по быстродействию алгоритма управления. Критерий быстродействия I может быть представлен в общей интегральной форме:

$$I = \int_0^{t^0} d\tau = t^0 \rightarrow \min_{u(t) \in U}, \quad (1)$$

где $u(t)$ – это искомый алгоритм управления напряжением источника питания, U – множество допустимых управляющих воздействий, определяемое ограничением:

$$0 \leq u(t) \leq U_{\max}, \quad (2)$$

здесь U_{\max} – максимальное напряжение источника питания.

Требование к конечному распределению температуры по сечению заготовки описывается следующим условием:

$$\max |T(l, t^0) - T^*| \leq \varepsilon, \quad (3)$$

где ε – заданное абсолютное отклонение конечного радиального температурного распределения $T(l, t^0)$ от требуемой температуры T^* , l – радиальная координата, $l \in [0; R]$, R – радиус заготовки.

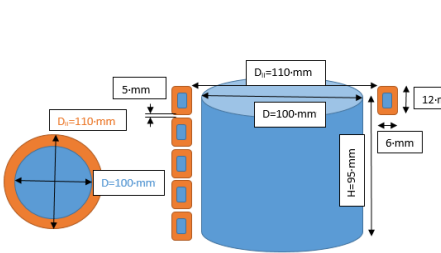


Рисунок 1 – Геометрия индукционной нагревательной системы

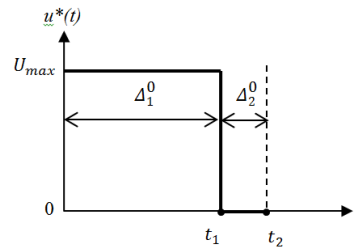


Рисунок 2 – Оптимальный алгоритм управления $u^*(t)$ при $N=2$

Общая схема индукционной нагревательной системы с геометрическими размерами представлена на рисунке 1.

Для описания процесса индукционного нагрева была разработана нелинейная численная модель в программном пакете FLUX [3].

Задача оптимального по быстродействию управления формулируется следующим образом. Требуется найти такой алгоритм управления $u^*(t)$, который обеспечивает нагрев заготовок от заданного начального состояния до требуемой конечной температуры T^* с допустимой абсолютной точностью, согласно (3), при минимально возможном значении критерия оптимальности (1), в условиях, заданного ограничения на управляющее воздействие вида (2).

Как доказано в [1], оптимальный по быстродействию процесс индукционного нагрева представляет собой чередующиеся интервалы нагрева с напряжением $u=U_{\max}$, и интервалов выравнивания температуры при $u=0$. Число таких интервалов N и их длительности зависят от величины ε в (3).

При использовании двухинтервального алгоритма управления, задача делится на две стадии (Рисунок 2).

Тогда остаются неизвестными длительности периода нагрева с максимальным напряжением Δ_1 и периода выравнивания температуры Δ_2 , которые могут быть найдены на основе альтернансного метода параметрической оптимизации [1].

В соответствии с альтернансным методом, конечному температурному состоянию оптимального по быстродействию процесса $T(l, \Delta_1^0, \Delta_2^0)$ при предельно возможной точности нагрева в классе двухинтервальных управлений $\varepsilon_{\min}^{(2)}$ отвечает распределение температур с минимально допустимой температурой в центре $l=0$ и на поверхности $l=R$ заготовки и максимальным перегревом в некоторой ее внутренней точке $l=l_3$ относительно заданной величины T^* (Рисунок 3)

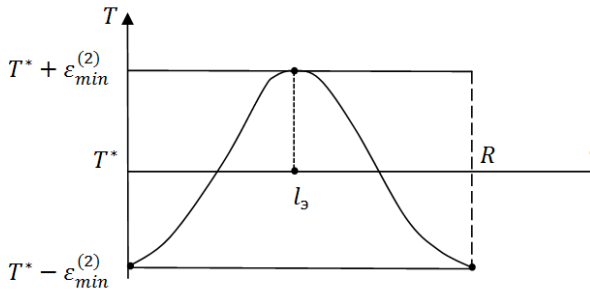


Рисунок 3 – Форма кривой результирующего распределения температуры

Температурному распределению по окончании оптимального процесса нагрева (Рисунок 3) соответствует следующая система уравнения:

$$\left\{ \begin{array}{l} T(0, \Delta_1^0, \Delta_2^0) - T^* = -\varepsilon_{\min}^{(2)}; \\ T(l_s, \Delta_1^0, \Delta_2^0) - T^* = +\varepsilon_{\min}^{(2)}; \\ T(1, \Delta_1^0, \Delta_2^0) - T^* = -\varepsilon_{\min}^{(2)}; \\ \frac{\partial T(l_s, \Delta_1^0, \Delta_2^0)}{\partial l} = 0. \end{array} \right. , \quad (4)$$

решение которой относительно четырех параметров $\Delta_1^0=95$ с, $\Delta_2^0=85$ с, $l_s = 34$ мм, $\varepsilon_{\min}^{(2)} = 2$ °С представляет собой численное решение исходной задачи оптимального по быстродействию алгоритма управления.

При экспериментальной верификации полученного алгоритма управления использован источник питания с напряжением $U_{\max}=185$ В и частотой тока 125 кГц. В верхнем торцевом сечении нагреваемой заготовки на глубине 25 мм было установлено пять термопар для получения экспериментальных данных об изменениях температуры в оптимальном процессе нагрева (Рисунок 4).

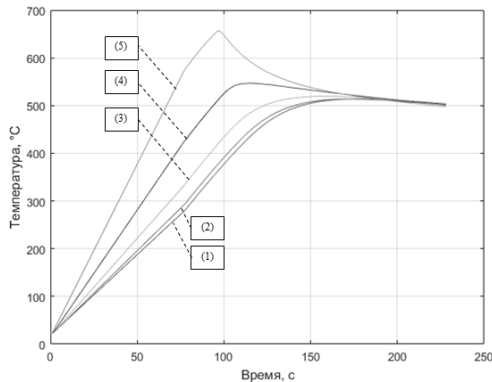


Рисунок 4 – Изменение температуры в процессе оптимального по быстродействию нагрева заготовки (Экспериментальные данные: (1) – термопара в центре заготовки, (2) – на расстоянии 11 мм от центра, (3) – 25 мм, (4) – 40 мм, (5) – 45 мм.)

Из экспериментальных данных следует, что в момент окончания оптимального процесса нагрева $t = \Delta_1^0 + \Delta_2^0 = 180$ с отклонение температуры от заданного значения T^* составляет $\varepsilon = \pm 3$ °С, что полностью соответствует расчётным данным.

Таким образом, в результате проведённых исследований рассчитан и экспериментально верифицирован алгоритм оптимального по быстрдействию управления процессом сквозного индукционного нагрева.

Литература:

1. Оптимальное управление температурными режимами индукционного нагрева/ Э.Я. Рапопорт, Ю.Э. Плешивцева. - М.: Наука, 2012. - 309 с. - ISBN 978-5-02-037501-7

2. Оптимизация и управление электротехническими системами. Интенсивный курс Специализация III, СПб.: Изд-во СПбГЭТУ "ЛЭТИ", 2013, 266 с.

3. Оптимизация процессов индукционного нагрева по типовым критериям качества: решение задачи на основе двумерной численной модели, Сб. науч. тр. VII Междун. научн. конф. молод. учен. Часть 2. Секц. «электротехнология» г. Новосибирск, 9–12 июня 2015г, С. 98. Наке Б., Попов А.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ИНДУКЦИОННОЙ ЗАКАЛКИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЗАГОТОВОК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО ПАКЕТА ANSYS

**А.В. Павлушин, Ю.Э. Плешивцева
Самарский Государственный Технический Университет,
г. Самара, Alex1995i79@gmail.com**

Основной целью работы является оптимальное проектирование индуктора, обеспечивающего максимально равномерное распределение температурного поля в закаливаемом слое стальной цилиндрической заготовки. Рассматривается нелинейная двумерная численная модель стадии нагрева металлической заготовки в процессе ее индукционной закалки. Предлагается решение взаимосвязанных электромагнитной и тепловой задач в программном пакете ANSYS и процедура решения задачи оптимального проектирования нагревательной установки на базе альтернативного метода параметрической оптимизации.

The main objective of the work is the optimal design of the inductor, which ensures the most uniform distribution of the temperature field in the hardened layer of the steel cylindrical billet. A nonlinear two-dimensional numerical model of the stage of heating a metal billet during its induction hardening is considered. The solution of interconnected electromagnetic and thermal problems in the software package ANSYS and the procedure for solving the problem of optimal design of a heating installation based on the alternance method of parametric optimization are proposed.

Индукционные нагревательные установки позволяют осуществлять различные технологические процессы: нагрев, термообработку, плавку, пайку и др. В металлургической промышленности широко применяются технологии индукционной термообработки металлических заготовок. Одним из наиболее распространенных способов термообработки является индукционная закалка, к основным преимуществам которой относятся: высокая скорость и возможность локализации нагрева; осуществимость автоматизации и оптимизации процесса, а также его встраиваемость в производственную линию; отсутствие обезуглероженного и окисленного слоя на поверхности; достижение требуемых микроструктурных свойств материала; минимальная деформация полуфабрикатов и др [3].

Закалка — это технология термообработки металла, заключающаяся в нагреве стали до требуемой температуры, выдержке при этой температуре и охлаждении со скоростью, обеспечивающей получение мартенсита. В процессе индукционного нагрева при питании обмотки индуктора переменным током вокруг него создается переменное электромагнитное поле, которое возбуждает в заготовке вихревые токи той же частоты, но противоположно направленные. В свою очередь эти токи создают в заготовке своемагнитное поле, противоположно направленное магнитному полю индуктора. Результирующее магнитное поле нагревателя образуется суммированием магнитных полей индуктора и вихревых токов. Вихревые токи создают в заготовке внутренние источники тепла, интенсивность которых определяется по закону Джоуля-Ленца, которые и нагревают обрабатываемую деталь [1].

В связи с постоянно ужесточающимися производственными требованиями, предъявляемыми к качеству конечной продукции, возникает необходимость получения в конце процесса нагрева максимально равномерного температурного распределения в закаливаемом слое, обеспечивающего улучшенные микроструктурные свойства обрабатываемого материала и наиболее благоприятные условия его дальнейшей эксплуатации. Для достижения этой цели необходимо сформулировать и решить задачу оптимизации конструкции индукционной нагревательной установки по критерию максимальной точности нагрева. Основной целью работы является оптимальное

проектирование индуктора, обеспечивающего максимально равномерное распределение температурного поля в закаливаемом слое стальной цилиндрической заготовки.

На начальной стадии проектирования индуктора ставится задача построения нелинейной модели процесса индукционного нагрева стальной заготовки, решение которой производится исключительно численными методами, реализуемыми с помощью программного обеспечения, которое позволяет учесть все усложняющие факторы: нелинейные свойства материала заготовки, сложную геометрию нагревательной системы и заготовки, нелинейные граничные условия и др.

Существует большое разнообразие специализированных программных средств для численного моделирования взаимосвязанных электромагнитных и тепловых полей в электротехнологических процессах и установках. Для моделирования процесса индукционной закалки выбран программный пакет ANSYS, обладающий рядом преимуществ перед конкурентными программными продуктами: мультифизичностью инженерных приложений, высоким уровнем технической поддержки, удобным графическим интерфейсом. В состав программных продуктов ANSYS входят специализированные дополнения для подготовки расчетных моделей, работы с геометрией и конечно-элементной сеткой, моделирования на системном уровне, оптимизации и управления инженерными данными, возможности интеграции с программным пакетом MATLAB.

В пакете ANSYS разработана двумерная осесимметричная модель индукционной нагревательной системы, включающая в себя цилиндрическую заготовку длиной $L=32,9\text{мм}$ и радиусом $R=13\text{мм}$, два витка индуктора с квадратным сечением $P_1=11,4\text{мм}$. Расстояние между витками индуктора и заготовкой $P_2=3\text{мм}$, расстояние между витками по оси ординат составляет $P_3=4,8\text{мм}$, сила тока $I=988\text{А}$. Согласно поставленной задаче необходимо получить минимальное температурное отклонение от заданной температуры 900°C в закаливаемом слое на глубине заготовки 2мм от поверхностного слоя в конце процесса нагрева длительностью 10 секунд . Взаимосвязанные электромагнитная и тепловая задачи решаются с учетом нелинейных свойств материала и потерь на конвекцию и излучение с поверхности заготовки. Полученное в конце стадии нагрева распределение температурного поля по границе закаливаемого слоя представлено на рисунке 1.

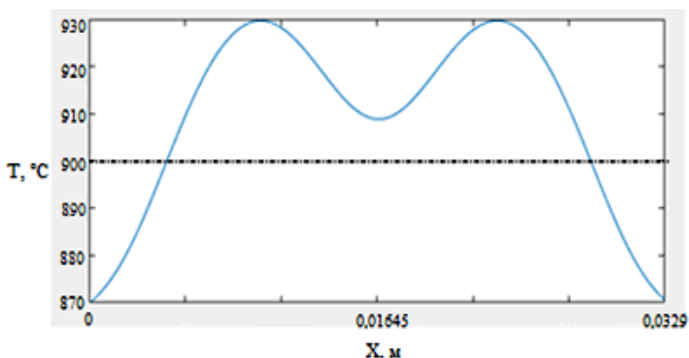


Рисунок 1 - Результирующее распределение температурного поля по границе закаливаемого слоя (на глубине 2 мм от поверхности заготовки)

Анализ результатов моделирования показал, что максимальное отклонение конечной температуры от заданной составляет ± 30 °С, что во многих случаях не удовлетворяет технологическим требованиям к точности нагрева. Для выполнения технологических требований формулируется и решается задача оптимального проектирования индукционной нагревательной установки по критерию максимальной точности нагрева, в которой оптимизируемыми параметрами являются описанные выше конструктивные характеристики индуктора P_1 , P_2 , P_3 , и ток источника питания I . Задача решается с помощью альтернативного метода параметрической оптимизации позволяющего составить систему уравнений относительно искомого вектора оптимизируемых параметров $P_{\text{опт}1}$, $P_{\text{опт}2}$, $P_{\text{опт}3}$, $I_{\text{опт}}$, и максимально достижимой в данном случае точности нагрева [2].

Составленная по альтернативному методу система уравнений решается численно в программном пакете MATLAB [2]. В процедуру оптимизации интегрирована разработанная в ANSYS численная модель, обмен данными между программными пакетами ANSYS и MATLAB осуществляется с помощью стандартных средств указанных программных пакетов.

В результате решения получены оптимальные значения параметров: $P_{\text{опт}1}=13.2505$ мм, $P_{\text{опт}2}=4.333$ мм, $P_{\text{опт}3}=3$ мм, $I_{\text{опт}}=1046.9$ А. Результаты моделирования температурного поля заготовки при оптимальных значениях параметров индуктора представлены на рисунке 2. Как видно, полученное отклонение температурного распределения заданного значения 900 °С на границе закаливаемого слоя не превышает ± 2 °С.

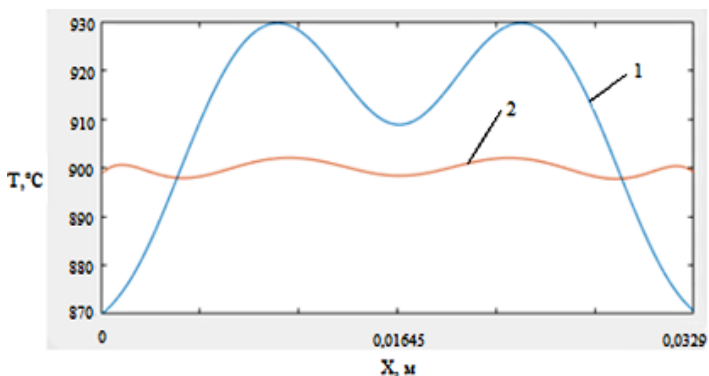


Рисунок 2 - Конечное распределение температуры по границе закаливаемого слоя заготовки: 1) до оптимизации, 2) после оптимизации

Таким образом решение задачи оптимального проектирования позволило получить практически равномерное температурное распределение и обеспечить выполнение самых жестких технологических требований, предъявляемых к качеству нагрева.

Литература:

1. Рапопорт Э. Я., Плешивцева Ю. Э. Оптимальное управление температурными режимами индукционного нагрева. М.: Наука, 2012.
2. Рапопорт Э. Я. Альтернативный метод в прикладных задачах оптимизации. – М.: Наука, 2000. – С. 336-336.
3. Valery R. et al. Handbook of induction heating //Manufacturing Engineering and Materials Processing. – 2003. – Т. 61

ОСАЖДЕНИЕ ФТОРПОЛИМЕРНЫХ ПОКРЫТИЙ МЕТОДОМ HWCVD. ФИЗИКА ПРОЦЕССА, ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ОСАЖДЕНИЕ, РЕЗУЛЬТАТЫ

Д.Ю. Панин

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, Zada4a@inbox.ru**

В последнее время в различных отраслях промышленности, в том числе и наноиндустрии, возрастает потребность в получении тонких покрытий с гидрофобными и супергидрофобными свойствами [1, 2].

Таковыми свойствами обладает политетрафторэтилен (ПТФЭ, фторопласт, Teflon®). Его используют при конструировании органических светоизлучающих диодах, органических полевых транзисторах, нанопотонике, нанооптоэлектронике, пластиковой электронике на гибких подложках [3,4]. Более того, благодаря химической инертности, низкому коэффициенту трения, неполярности ПТФЭ, покрытия на его основе находят применение в фармацевтике и биотехнологиях [5].

В связи с обилием потребностей различных областей и сфер в получении таких наноструктурированных материалов, есть необходимость в развитии методов синтеза и нанесения фторполимерных покрытий с различной поверхностной структурой. Существует несколько уже развитых методов нанесения таких покрытий [6-8]. Однако, стоит отметить метод HWCVD. Данный метод имеет ряд значительных достоинств по сравнению с другими: благодаря изменению параметров процесса осаждения, можно управлять строением получаемой пленки; параметры процесса легко регулируются и не требуют чрезмерно сложной калибровки оборудования; также можно считать, что метод универсален с точки зрения выбора материала подложки на которую производится осаждение; параметры, влияющие на процесс осаждения, можно изменять в довольно широких пределах и в различных комбинациях, а следовательно получать весьма различную структуру фторполимерного покрытия.

Основной целью данной работы является определение главных физико-химических процессов протекающих в осаждении методом HWCVD [9-11], а также определение и уточнение влияния параметров, оказывающих непосредственное влияние на формирование структуры полимера, химического состава и поверхности [12].

Стоит также отметить, что на базе метода HWCVD начинают появляться плодотворные модификации (например, iCVD). Более того, данный метод имеет большой потенциал в промышленном производстве, так как имеет весьма значительные достоинства, как говорилось ранее.

Recently, there is growing demand for obtaining a thin films with hydrophobic and superhydrophobic properties [1, 2] in many different branches of industries, such as nanoindustry.

For example, Polytetrafluoroethylene (PTFE) has this properties. It is used in constructing organic light-emitting diodes, organic field-effect transistors, nanophotonics, nanooptoelectronics and plastic electronics on flexible substrate [3, 4]. Moreover, the coatings on its base are used in

pharmaceuticals industry and biological technology, due to chemically inertia, small constant of friction and non-polarity of PFTE [5].

There is a necessity for developing methods of synthesizing and applying fluoropolymer coating with different surface structure, as there is requirement for it in many different fields. There are several already developed methods of applying such coating [6-8]. We should mention the HWCVD method. It has some significant advantages comparing with others: firstly, one can control the structure of the coating by changing the parameters of precipitation process; secondly, this parameters are easy to control, they don't demand some complicated calibration adjustments. Thirdly, this method can be used with any material for precipitated base and, finally, the parameters, that influence the deposition, can be changed in wide range and in different combinations, which allows us to get a large varieties of structure of fluoropolymer coating.

The main purpose of this work is to define the main physical and chemical processes of the HWCVD method [9-11] and to define and specify the parameters that influence the polymer structure, its chemical composition and the forming of surface [12].

It is worth mentioning that some productive modifications of HWCVD are beginning to appear (for example, iCVD). This method has great potential due to its significant advantages, mentioned earlier.

Литература:

1. Wang Zhangxin, Elimelech Menachem, Lin Shihong, Environmental Applications of Interfacial Materials with Special Wettability. ENVIRONMENTAL SCIENCE & TECHNOLOGY, 50, 2016, PP. 2132-2150.
2. L.B. Boinovich, A.M. Emelyanenko, Hydrophobic materials and coatings: principles of design, properties and applications, Russian Chemical Reviews 77 (2008) 583 – 600.
3. Panemann C., Diekmann T., Hilleringmann U. e. a. In: Proc. IEEE «Polytronic», 2005, p. 63.
4. Gao Y., Wang L., Zhang D., Duan L., Dong G., Qiu Y. Appl. Phys. Lett., 2003, v. 82, No 2, p. 155.
5. Material of Construction for Pharmaceutical and Biotechnology Processing: Moving into the 21st Century. James R. Fleming, David Kemkes, Richard G. Chatten , Lewis E. Creshaw, and John F. Imbalzano. DuPont Fluoroproducts.
6. K.P. Grytsenko. Growth mechanism, properties and applications of vacuum-deposited PTFE films // Russian J. Chem. Soc. LII., (2008) 112-123.

7. D. Liu, J. Gu, Zh. Feng, D. Li, J. Niu, G. Benstetter. Comparison of fluorocarbon film deposition by pulsed/continuous wave and downstream radio frequency plasmas // Vacuum 85 (2010) 253-262.
8. T. Oya, E. Kusano. Characterization of organic polymer thin films deposited by rf magnetron sputtering. // Vacuum 83 (2009) 564–568.
9. K. Lau, J. Caulfield and K. Gleason. Structure and morphology of fluorocarbon films grown by hot filament chemical vapor deposition. // Chem. Mater. 12(10) (2000) 3032-3037.
10. Dunyakhin V.A., Timofeev V.V., Zhitnev Yu.N. Multiphoton dissociation of C3F60 // Russian Chemical Bulletin. 1995. Vol. 43, no. 11, P. 1816-1821.
11. H. Yasuda, Y. Yeh, S. Fusselman // Pure & Appl. Chem. 62(9) (1990) 1689–1698.
12. Alexey I. Safonov, Veronica S. Sulyaeva, Elizaveta Ya. Gatapova, Sergey V. Starinskiy, Nikolay Timoshenko, Oleg A. Kabov. Deposition features and wettability behavior of fluoropolymer coatings from hexafluoropropylene oxide activated by NiCr wire. ThinSolidFilms.2018

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА ПРУТКОВ ПОД ПЛАСТИЧЕСКУЮ ДЕФОРМАЦИЮ

М.Д. Ракина, Р.А. Бикеев

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, masha-rabbit21@yandex.ru**

В работе представлена актуальность исследования, которое осуществляется для изучения процесса индукционного нагрева прутков под пластическую деформацию и выявления наиболее эффективного режима работы установки, в которой данный процесс будет реализован.

The paper shows the relevance of the study, which is carried out to study the process of induction heating of bars for plastic deformation and to identify the most effective mode of operation of the installation in which this process will be implemented.

В настоящее время в различных областях промышленности значительно расширилась область применения электротехнологических процессов. Одним из крупномасштабных электротехнологических процессов, применяющихся в черной металлургии, в частности - кузнечном производстве, является процесс индукционного нагрева металлических прутков под пластическую деформацию: объемную

штамповку, ковку, прокатку, прессование, волочение. Нагрев данных заготовок осуществляется с помощью индукционных установок сквозного нагрева.

В общем случае, индукционный нагрев основан на преобразовании электрической энергии в тепловую. В электромагнитное поле, создаваемое током индуктора, вносят нагреваемое тело. Благодаря явлению электромагнитной индукции в нем возникает ЭДС, под действием которой в нагреваемом изделии появляется электрический ток (индуктированный или наведенный ток), который приводит к разогреву загрузки. Индукционный нагрев по сравнению с нагревом в пламенных печах обеспечивает высокую скорость нагрева металла; устраняет обезуглероживание поверхностного слоя стальных заготовок; создает удобство автоматизации подачи и выдачи заготовок, что очень важно для термообработки прутковых изделий большой длины; позволяет повысить температуру начала пластической обработки без появления перегрева и коренным образом улучшает санитарно-гигиенические условия труда обслуживающих рабочих [1].

Установки индукционного сквозного нагрева применяются чаще всего для термообработки металлических изделий под пластическую деформацию [2]. С помощью индукционных установок сквозного нагрева можно обеспечить прогрев загрузки по всему объему с определенной допустимой неравномерностью, обеспечивая при этом достаточно высокие энергетические показатели.

Стоит отметить, что различные металлы имеют различную восприимчивость к нагреву индукционным методом. Это обусловлено содержанием или отсутствием железа в структуре металла, а также наличием магнитных свойств у нагреваемого металла.

В последнее время особое внимание стало уделяться процессам нагрева заготовок из магнитных сталей. У магнитных материалов, таких как углеродистая сталь, существует две стадии цикла нагрева. На первой стадии, когда заготовка обладает магнитными свойствами, наблюдается поверхностный эффект и КПД индуктора достигает 80% и увеличивается до 90% из-за увеличения электрического сопротивления с ростом температуры. С повышением температуры магнитная проницаемость все больше уменьшается, а при переходе температуры через точку Кюри сталь теряет свои магнитные свойства. Наступает вторая стадия. В результате глубина проникновения тока значительно увеличивается, при этом поверхностный эффект ослабевает, что приводит к понижению электрического сопротивления и уменьшению мощности, поглощаемой загрузкой [3]. Вследствие этого эффективность нагрева снижается. На данный момент за счет выбора компромиссной

частоты, дающей удовлетворительные результаты в отношении расхода электроэнергии и позволяющей достигать требуемой температуры, удается добиться 70% КПД при нагреве стали до температур выше точки Кюри.

Таким образом, исходя из всего вышесказанного, нагрев прутков из магнитной стали под пластическую деформацию является актуальной задачей. В настоящей работе предполагается исследовать путем моделирования в среде ANSYS процесс индукционного нагрева стальных прутков. В ходе решения сопряженной тепловой и электромагнитной задачи необходимо выявить наилучший режим работы установки, который обеспечивает наиболее равномерный прогрев заготовки по сечению с перепадом температур между поверхностью и центром изделия не более 50 °С.

Литература:

1. Петров П.А., Кругина Е.В., Калпин Ю.Г. Нагрев и нагревательные устройства в кузнечном производстве: Учебное пособие для вузов. – М.: МГТУ «МАМИ», 2010.– 110 с.
2. Слухотский А.Е., Рыскин С.Е. Индукторы для индукционного нагрева. - Ленинград, Энергия, 1974. С.178.
3. Немков В.С. Теория и расчет устройств индукционного нагрева / В.С. Немков, В.Б. Демидович. Л.: Энергоатомиздат, 1988. 280 с.

ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ МГД-НАСОСА

И. А. Смольянов, Е.И. Шмаков, Ф.Е. Тарасов, Ф.Е. Сарапулов
Уральский федеральный университет
г. Екатеринбург, i.a.smolianov@urfu.ru

Огромная история развития магнитогидродинамических насосов на сегодняшний день не помогла решить все проблемы в этой области. В работе рассматривается индукционный насос с уникальными плоско-алюминиевыми катушками для перекачки магния. Предлагается с помощью математического моделирования на основе метода конечных элементов и детализированных схем замещения подобрать параметры питания, при которых установка будет работать на максимальном коэффициенте полезного действия. Рассматривается влияние частоты питания, добротности наусилие.

In the work the induction pump with unique flat-aluminum coils for purpose of pumping out metals from furnace is considered. Offered through mathematical modeling based on finite difference and detailed magnetic equivalent circuit methods,

supply parameters, at which the unit will be working at maximum efficiency, is chosen. Influence of frequency and Q-factor by thrust is considered.

Of great developing history of magnetohydrodynamic pumps cannot help to solve all problems to the field at present day.

Краткая историческая справка. Идея осуществления движения проводящего материала с помощью воздействия внешним магнитным полем является не новой. Одним из первых таких устройств является всем хорошо известная динамо-машина (диск Фарадея) в 19 веке, но концепция данного устройства встречалась и в более ранних работах [1]. Первая запатентованная конструкция установки, предназначенная для перекачки жидкого проводящего металла, физиком Хартманн [2]. Двадцатое столетие ознаменовано бурным развитием МГД-насосов, кондукционный насос Спенсора в 1927 году для непроводящей жидкости [3], индукционный насос Альберта Эйнштейна и Лео Сциларда для охлаждающих устройств [4]. Начиная 50-ых годов 20 века данный тип установок начинают внедрять на металлургические заводы, заменяя механические, классические насосы, создаются научные группы по исследованию физических явлений воздействия магнитного поля на жидкие металлы. Большой спрос на электромагнитные насосы вызвал бурное развитие ядерной промышленности, в которой данное устройство использовалось в охлаждающих контурах для перекачки охлаждающих жидкостей. Стоит отметить, что наличие такой большой истории на сегодняшний день не позволило решить все проблемы связанные с данной установкой.

Введение. В данной работе рассматривается частный случай подбора параметров источника питания индукционного насоса для перекачки жидкого магния на Каменск-Уральском металлургическом заводе (смотри технологическую схему на Рисунок 1). Этот насос был разработан группой ученых из Уральского федерального университета [5]. Основной решаемой проблемой при проектировании установки по перекачки магния было, что она работает в чрезвычайно тяжелых температурных режимах. Решением этой проблемой стало создание уникальных алюминиевых плоских обмоток с высокотемпературной изоляцией, у которой рабочий диапазон от 60 °С до 500 °С, более подробно в работах [5].

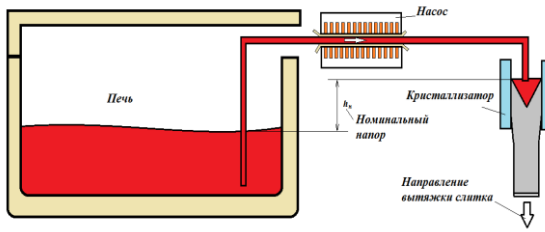


Рисунок 1 - Технологическая схема процесса откачки магниевого сплава из печи в кристаллизатор

Процесс проектирования любого технического устройства нацелен на выполнения технологического (технического) задания с минимальными затратами. Одной частью повышения эффективности, производительности, также снижению издержек на производства установки является подбор оптимальных параметров источника питания. Поэтому данная работа делает попытки показать важность выбора параметров питания при проектировании.

Описание установки. Установка состоит из двухстороннего индуктора, который включает в себя катушки, магнитопровод и радиатор (Рисунок 2). Математическое моделирование проводилось в электромагнитном приближении, что предполагает рассматривать жидкий металл, как твердую заготовку. Задача, реализованная в Comsol Multiphysics в трехмерной постановке с помощью А-формулировки(1), решена с учетом насыщения металла. МДСЗ представляют собой составление магнитных и электрических сопротивлений на расчетной области (установки) для определения направления и величины протекания магнитного потока, более подробно в работах [5].



Рисунок 2 - Конструкция индукционного насоса

Обсуждение полученных результатов. Поперечный краевой эффект, вызванный увеличением сопротивления замыкания наведенных токов во вторичном элементе с ростом частоты, оказывает существенное влияние. Следовательно с изменением частоты будет варьироваться усилия действующие на металл. На низких частотах проявление данного эффекта слабо выражено, но стоит отметить, что и бегущая составляющая магнитного поля в данном случаи снижается. Тогда следует найти такое значение частоты, при котором будет достигаться компромисс. Также изменение частоты приводит к изменению активного и индуктивного сопротивления катушек (вследствие скин-эффекта и эффекта-близости) (Рисунок 3).

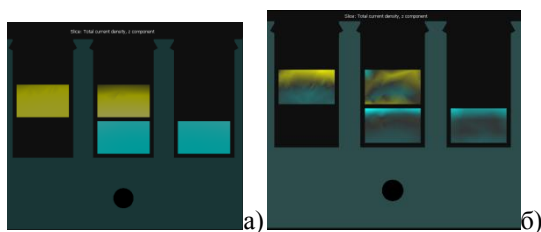


Рисунок 3 - Распределение плотности тока в проводниках индуктора на частота а) 10 Гц и б) 729 Гц

Добротность определяется конструкцией насоса (1). Изменение этого параметра существенно влияет на электромагнитные усилия в канале насоса.

$$Q = 2\pi f \mu_0 \sigma \frac{\tau^2}{\pi^2} \cdot \frac{d}{\delta} \quad (1)$$

где f - частота питания, μ_0 - магнитная проницаемость, σ - электропроводность, τ - полюсное деление, δ - расстояние между индукторами, d - эквивалентная толщина канала.

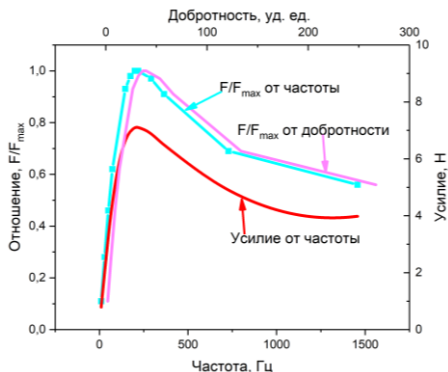


Рисунок 4 - Усилие от частоты и добротности

Для данной конструкции насоса максимальное усилие было получено в районе 220 Гц, что составляет добротности около 34.5. При пересчете полученных данных на расплавленный металл, оптимальная частота сместилась к уровню 679 Гц.

Заключение. В данной работе в полной мере учитывался поперечный краевой эффект и поверхностный эффект. Данный подход позволяет определять оптимальну частоту и добротность для аналогичных задач. Определение оптимальной величины добротности позволяет упростить определение параметров конструктории на стадии проектирования. Также эти результаты позволяют обосновать выбор того или иного значения параметра источника питания.

Литература:

1. Geza V. Numerical simulation of core-free design of a large electromagnetic pump with double stator / V. Geza, B. Nacke // Magnethydrodynamics. – 2016. – Vol. 3, N 3. – P. 417-431
2. J Harman. Apparat zur Erzeugung eines ununterbrochene leitenden Flussigkeisstraches mit regelberer Geschwindigkeit, 1920
3. M. C. Spencer. Fluid conductor motor, 1931
4. M. Trainer. Albert Einsteins patents // World Patent Informations. - vol. 28.-2006.- P. 159-165
5. Sarapulov F. Numerical simulation of double side linear induction pump for liquid magnesium // Magnetohydrodynaics.- 2017.- Vol 3 No. 4.- P. 603-609

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЕ СИЛОВОГО КАБЕЛЯ НА СЛАБОТОЧНЫЙ КАБЕЛЬ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ РАССТОЯНИЯ МЕЖДУ НИМИ

О.В. Стрельцова, А.С. Бондарь, В.В. Ишин
Санкт-Петербургский государственный электротехнический
Университет «ЛЭТИ», им. В.И. Ульянова (Ленина)
г. Санкт-Петербург, streltsova-olga1995@mail.ru

При проектировании слаботоочных и электрических сетей учитываются стандарты, утвержденные правилами совместной прокладки силовых и слаботоочных кабелей. На практике интересует вопрос, какие токи наводки могут возникнуть при прокладке данных типов кабелей на определенных расстояниях. В данной статье описаны результаты моделирования этой задачи в пакете программ ANSYS Multiphysics.

At power and signal networks designing local standards are applied to power and signal cables mutual positioning. In practice may be interesting value of current induced in low-current wire by electromagnetic field caused by current of the power cable at different distances. This problem was investigated with ANSYS Multiphysics software pack.

Для моделирования был взят силовой негорючий безгалогенный медный кабель типа ППГнг(А)-HF 5×50, где:

П – изоляция полимерная композиция;

П – оболочка полимерная композиция;

Г – отсутствие защитного покрова поверх оболочки;

нг – не поддерживает горение;

HF – в оболочке и изоляции отсутствуют галогены.

Такой тип силового кабеля широко используется для прокладки в помещениях с высоким скоплением людей, где требования к пожарной безопасности особенно высокие. Пятижильный кабель с сечением 50 мм² подходит к распределительному щиту питания, а от него фазы распределяются на определенные группы потребителей. Ток, текущий в пятижильном кабеле, рассчитан исходя из значений токов нагрузок. Для моделирования было взято реальное значение протекающего тока, полученное в результате расчетов при проектировании электрической распределительной сети – 76 А.

Слаботочный кабель представляет собой несколько витых пар, скрученных в один жгут, покрытый оболочкой из ПВХ. Скрутка предназначена для защиты от внутренних помех, возникающих из-за прохождения через слаботочный кабель сигналов высокой частоты. В одной паре проводов токи текут в разных направлениях, и общий ток в этом случае будет равен нулю. Учитывая эти условия, можно упростить

модель слаботочного кабеля до одного провода сечением $0,5 \text{ мм}^2$, чтобы оценить ток, который наводится в нем из-за воздействия электромагнитного поля силового кабеля.

На рисунке 1 представлено распределение вектора напряженности магнитного поля в силовом кабеле.

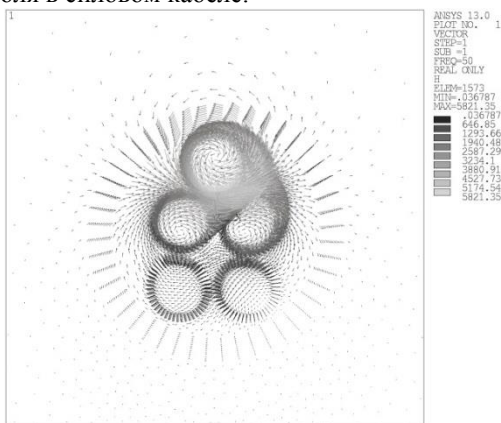


Рисунок 1 – Распределение вектора магнитной напряженности

На рисунке 1 видно, что магнитное поле концентрируется внутри оболочки кабеля, что обусловлено наличием двух проводников (нулевого и заземляющего), по которым ток не течет, но электромагнитная волна затухает в них.

Модель для исследования тока, наводимого в слаботочном проводнике, показана на рисунке 2, где минимальное расстояние между силовым проводом и жилой малого сечения выбрано на первом шаге минимальным и равным 10 см.

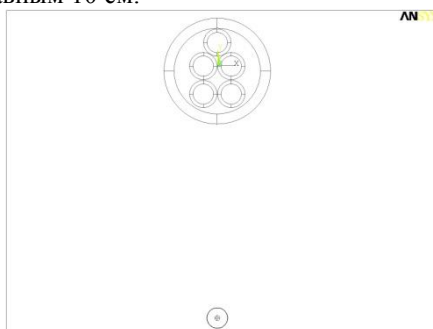


Рисунок 2 – Расчетная модель

Исследования проводились при различном расстоянии d между кабелями, варьируемом с шагом 5 см для двух случаев. В первом случае была смоделирована жила слаботоочного кабеля при отсутствии экрана. Тип таких неэкранированных слаботоочных кабелей называется UTP (Unshielded Twisted Pair – неэкранированная витая пара). Во втором случае при наличии внешнего общего экрана из алюминиевой пленки для всех витых пар, из которых собран слаботоочный кабель – FTP кабель (Foiled Twisted Pair – витая пара с общим экранирующим покрытием из фольги). Толщина экрана выбрана 100 мкм [3]. Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты моделирования

d , м	I , мА (неэкранированный)	I , мА (экранированный)
0,1	17,78	17,3
0,15	14,36	13,9
0,2	12,06	11,6
0,25	10,33	9,93
0,3	8,96	8,6
0,35	7,82	7,5
0,4	6,86	6,57
0,45	6	5,75
0,5	5,25	5

В зависимости от назначения в слаботоочном кабеле может течь рабочий ток величиной до 200 мА.

По полученным значениям тока, наведенного в жиле, видно, что расстояние 0,5 м является безопасным для прокладки слаботоочного и силового кабеля даже при отсутствии экрана. Экранирование витой пары проводится в основном для лучшей защиты от внутренних помех в особо важных случаях передачи сигнала или информации.

Допустимый ток при прокладке на воздухе исследуемого силового кабеля равен 167 А. Было также проведено исследование зависимости токов, наводимых в слаботоочной жиле, от расстояния при токе 150 А. Результат представлен на рисунке 3.

Из результатов проведенного моделирования следует, что с увеличением тока силового кабеля в 2 раза пропорционально увеличивается и ток, наведенный в жиле слаботоочного кабеля. Таким образом, необходимо строго соблюдать правила взаимного расположения слаботоочных систем и трехфазных силовых проводов, так как силовые кабели могут питать не только бытовые нагрузки, но и довольно мощные электротехнические установки.

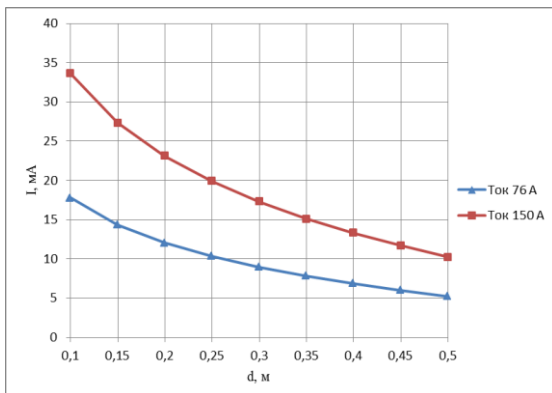


Рисунок 3 – Сравнение наведенных токов при различных токах силового кабеля

Моделирование осуществлялось при заданной промышленной частоте 50 Гц, однако наличие в сети нелинейных потребителей может привести к появлению тока в нулевом проводнике, частота которого будет определяться номером гармонической составляющей, чаще всего кратной трем. Тогда по нулевому проводнику будет течь ток повышенной частоты, а значит, ввиду поверхностного эффекта плотность наведенного тока увеличится. При совместной прокладке в металлическом лотке слаботочные и силовоточные системы обязательно разделяют перегородкой, проходя через которую электромагнитная волна затухает, что снижает наведенные токи в сигнальном кабеле [1].

Литература:

1. Правила устройства электроустановок. Издание 7.– Утв. Приказом Минэнерго России от 08.07.2002 № 204
2. Свод правил СП 5.13130.2009 Системы противопожарной защиты. Установки пожарной сигнализации и пожаротушения автоматически. Нормы и правила проектирования.– Введ.01.05.2009
3. Гальперович Д. Для чего кабелю экран? [Электронный ресурс] //Журнал сетевых решений/ LAN.– №05.–2000. – URL:<https://www.osp.ru/lan/2000/05/131127> (Дата обращения: 05.11.2018).

СОЗДАНИЕ МОДЕЛЕЙ ИНДУКЦИОННОЙ ЕДИНИЦЫ И СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СКОРОСТЕЙ ТЕЧЕНИЯ РАСПЛАВА В КАНАЛЕ.

А.В. Фомиц, И.В. Кижаяев, А.А. Гуляшинов, В.Н. Тимофеев.
«Сибирский федеральный университет, Красноярск»,
afominsfu@gmail.com

В работе рассмотрена модификация индукционной единицы, позволяющая уменьшить зарастание каналов окислами, улучшить рафинирование и теплообмен между ванной печи и канальной частью. Представлены и рассмотрены результаты физического и математического моделирования. Доказано что при использовании данной модификации происходит интенсивное движение расплава, что позволяет уменьшить зарастание каналов и создать множество других положительных эффектов.

In the work, a modification of the induction unit is considered, which makes it possible to reduce channel overgrowing by oxides, to improve refining and heat and mass transfer between the furnace bath and the channel part. The results of physical and mathematical modeling are presented and reviewed. It is proved that when using this modification, there is an intensive movement of the melt, which allows to reduce overgrowth of channels and create many other positive effects.

Электрические индукционные канальные печи в основном используются для приготовления сплавов цветных металлов. В процессе работы каналы индукционных единиц забиваются окислами. Для чистки каналов от окислов применяется механический способ путем сверления каналов, который влечет за собой простои оборудования и сокращения срока службы футеровки каналов. Для уменьшения зарастания каналов окислами целесообразно создать вращательное движение металла в канале посредством электромагнитных сил, которые обеспечиваются наложением электромагнитного поля дополнительных катушек и обмотки индуктора.

Целью данной работы являлось исследование скоростей течения расплава в канале индукционной единицы.

В пакете конечно-элементного моделирования ANSYS была построена расчетная осесимметричная двухмерная модель индукционной единицы, показанная на рисунке 1 а. Модель симметрична относительно главной оси Y, в модели находятся магнитопровод 1, индуктор 2, воздух 3, канал 4, заполненный расплавом. Диаметр канала составляет 0,35 м. Магнитодвижущая сила главной катушки составляет 15 кА, частота тока 50 Гц. На рисунке 1 б представлена сетка конечных элементов модели.

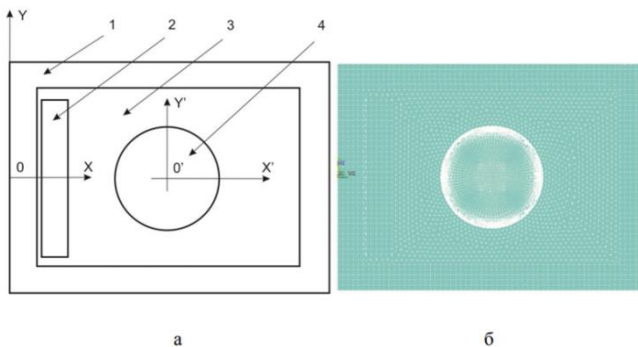


Рисунок 1 - Расчетная осесимметричная двухмерная модель

Применение дополнительных магнитодвижущих сил (МДС) в области канала позволяет в широком пределе регулировать скорости вращения и подводить дополнительные мощности в металл канала. На рисунке 2 представлено расположение дополнительных катушек 2 на главной катушке 1, МДС в главной катушке составляет 15кА, в дополнительной катушке МДС изменялся от 0,5 до 2 кА. Сдвиг фазы тока в дополнительных катушках по отношению к току обмотки индуктора равен 90^0 . Вращение жидкого металла в канале возникает в результате наложения двух магнитных потоков, сдвинутых относительно друг друга в пространстве и по фазе. Магнитный поток рассеяния, создаваемый обмоткой индуктора, направлен вдоль оси ОУ, а магнитный поток дополнительных катушек направлен вдоль оси ОХ.

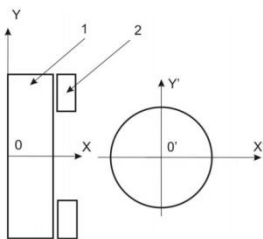


Рисунок 2 – Дополнительные катушки на главной катушке ИЕ

С целью подтверждения достоверности математического моделирования были проведены исследования электромагнитных процессов и эффективности ЭМВ на физической модели ИЕ печи типа ИАК - 40. Модель выполнена в соответствии с принципами

геометрического подобия в масштабе 1:5 к реальной. В качестве моделирующего металла использовался сплав Розе, имеющий приблизительно одинаковую удельную электропроводность с жидким алюминием. Питание физической модели осуществлялось от трехфазного трансформатора с двумя однофазными лабораторными автотрансформаторами (ЛАТР), которые использовались для регулировки питающего напряжения. Для измерения скорости вращения расплава в продольном канале выполнено специальное устройство. Устройство состоит из медной трубки с лопастями. Трубка одевается на струну, расположенную на оси продольного канала, один конец струны закреплен в нижней части продольного канала с помощью натяжного болта, а другой конец в верхней части натяжным болтом. В верхней части медной трубки закреплен латунный диск с разрезом, позволяющий фиксировать количество оборотов диска.



Рисунок 3 – Модель индукционной единицы

Построены графики зависимостей скорости вращения расплава от силы тока в обмотках. Опыт при различных значениях электрического тока в дополнительных обмотках.

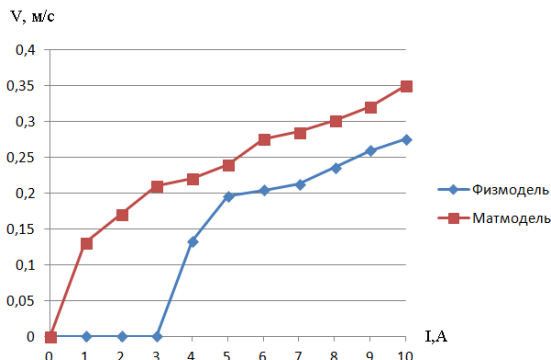


Рисунок 4 – Зависимость скорости вращения расплава от величины тока в дополнительных катушках

Отличие расчетной зависимости от экспериментальной вызвана тем, что на физической модели из-за трения и вязкости системы измерения, вращение фиксируется с определенной величины тока в дополнительной обмотке ($I > 3A$), а в математической модели вращающий момент появляется при ($I > 0$)

Полученное вращательное движение расплава в канале увеличивает теплообмен между канальной частью и ванной печи, уменьшает зарастание каналов окислами. Применение МГД-вращателя позволяет регулировать направление вращения и его скорость в широком диапазоне.

Литература

1. Вайнберг А.М. Индукционные плавильные печи. Вайнберг А.М. – М.: Энергия, 1967. – 415 с.
2. Тимофеев, В.Н. МГД технологии в металлургии / В.Н. Тимофеев, Е.А. Павлов, М.В. Первухин, С.П. Тимофеев, М.Ю. Хацаюк // МГД технологии в металлургии. Интенсивный курс специализация IV. – Санкт-Петербург; изд. СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2013. – 250 с.
3. I.V. Kizhaev. Longitudinal edge effect in induction mhd-pumps. Материалы международной студенческой конференции: «Перспективы свободный – 2018». Красноярск, 2018 г. Стр 454-456 с.
4. "E. Shvydkiy, V. Zaharov, K. Bolotin [et al.] // Numerical modeling of the travelling magnetic field stirrer for liquid lithium. Magnetohydrodynamics. – 2017. – V. 53. – № 4. – P. 707–713. с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ В СЕКЦИЯХ РАЗРЕЗНОГО ПРОВОДЯЩЕГО ТИГЛЯ

А. Франюк, А.Н. Шагунов
Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»,
г. Санкт-Петербург, andrei_franuk@mail.ru

Рассматриваются зависимости электрических потерь секциях разрезного проводящего тигля от частоты тока в индукторе, высоты ванны расплава и степени выраженности поверхностного эффекта в расплаве.

In induction systems with cold crucible the electric power losses in the tubes of the crucible depend on the frequency of current in inductor, the height of melt and the skin effect in the melt.

Несмотря на то, что при проектировании и управлении индукционными установками с разрезным проводящим тиглем уже много лет успешно используются теоретическая база и накопленный опыт, недостаток данных об электромагнитных явлениях, происходящих в секциях тигля, часто не позволяет достичь приемлемой точности и качества. В данной работе на основе численного моделирования и экспериментальных данных получены новые зависимости электрических потерь в секциях тигля от параметров загрузки и частоты тока в индукторе.

Исследовалась система (рисунок 1) с соосным расположением индуктора 1, загрузки (расплава) 2 и тигля 3. Расчеты проводились с использованием трехмерной математической модели электромагнитного поля, реализованной в программном пакете Ansys [1]. Для частот 1,76 МГц и 116 кГц было проведено по три группы расчетов при отношении высот расплава и индуктора $H_{\text{загр}}/H_{\text{инд}}=0,88; 0,5$ и $0,062$. Остальные размеры индукционной системы оставались неизменными. Секции тигля были представлены как одиночные трубки, середина высоты индуктора совпадала с серединой высоты тигля, нижние торцы индуктора и загрузки располагались на одном уровне. Конфигурация и настройки твердотельной модели соответствовали таковым в работе [2]. В каждой группе расчетов степень выраженности поверхностного эффекта в загрузке $R_{\text{загр}}/\Delta_{\text{загр}}$ варьировалась в диапазоне $1 \div 40$ путем задания удельных сопротивлений загрузки из диапазонов, указанных в таблице 1.

Таблица 1 – Удельные сопротивления в расчетах

Элемент	ρ , Ом·см при 1,76 МГц	ρ , Ом·см при 116 кГц
---------	-----------------------------	----------------------------

Индуктор (1)	$2,0 \cdot 10^{-6}$	$2,0 \cdot 10^{-6}$
Загрузка (2)	$5,13 \cdot 10^{-4} \div 15,1$	$3,4 \cdot 10^{-5} \div 1,0$
Тигель (3)	$2,0 \cdot 10^{-6}$	$2,0 \cdot 10^{-6}$

В результате расчетов были получены мощности электрических потерь в индукторе, нагрузке и секциях тигля. На рисунках 2 и 3 приведены зависимости потерь в секциях тигля для каждой высоты загрузки $P_{\text{тиг}}$, приведенные к потерям в пустом тигле $P_{\text{тиг}0}$ (без загрузки).

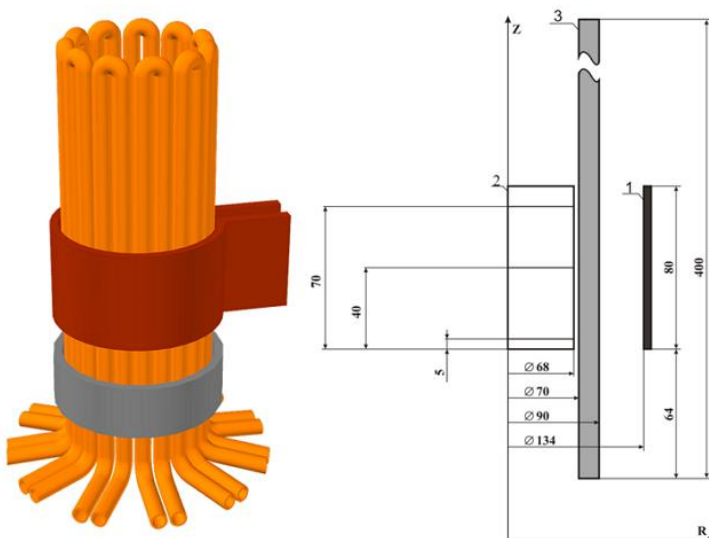


Рисунок 1 – Конфигурация и схема индукционной системы

Анализ зависимостей позволил выявить факторы, влияющие на величину электрических потерь в секциях тигля:

1) При отсутствии загрузки ток в секции тигля ток с внешней стороны трубки концентрируется напротив индуктора, а на внутренней стороне растекается по всей высоте – потери велики.

2) резкое падение потерь в диапазоне $R_{\text{загр}}/\Delta_{\text{загр}}=1 \div 5$ вызвано появлением индуцированного тока в нагрузке, который приводит к концентрации тока на внутренней стороне трубки напротив загрузки.

3) Минимум потерь наблюдается при ярко выраженном поверхностном эффекте и максимальном токе на поверхности загрузки. При дальнейшем увеличении $R_{\text{загр}}/\Delta_{\text{загр}}$ ток загрузки слабеет, а растекание и потери увеличиваются.

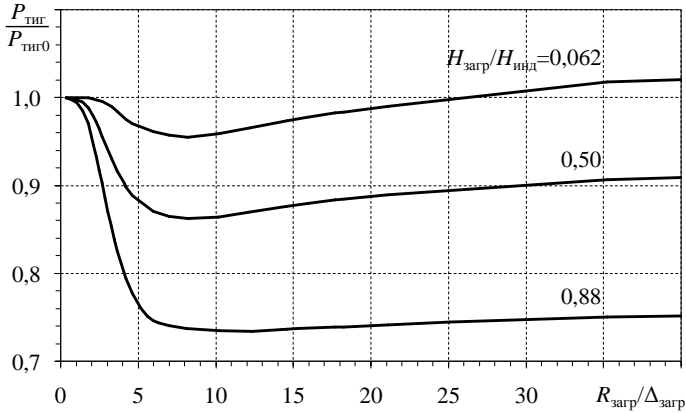


Рисунок 2 – Электрические потери в тигле (частота 116 кГц)

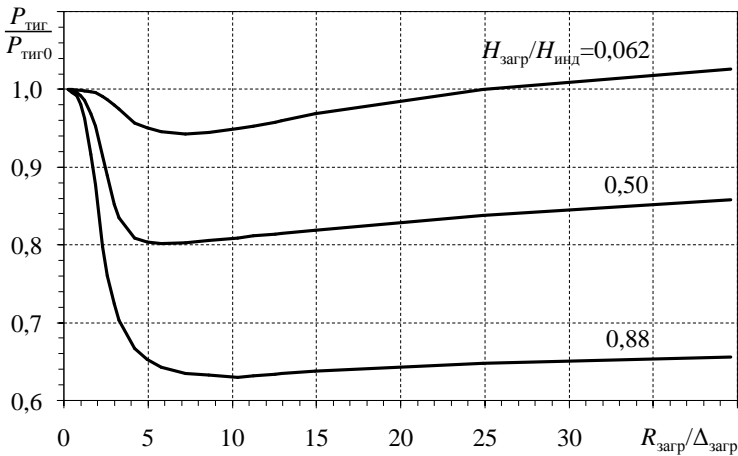


Рисунок 3 – Электрические потери в тигле (частота 1,76 МГц)

4) Чем меньше высота загрузки, тем в более узкой полосе концентрируется ток на внутренней стороне трубки, выше плотность тока и больше потери.

5) Повышение частоты тока индуктора более чем на порядок практически не влияет на качественный ход зависимостей и диапазоны $R_{\text{загр}}/\Delta_{\text{загр}}$, в которых отмечены минимумы потерь. Но так как при более высокой частоте соотношение $R_{\text{тиг}}/\Delta_{\text{тиг}}$ выше, то минимум потерь при

$H_{\text{загр}}/H_{\text{инд}}=0,88$; 0,5 и 0,062 снизился еще на 11%, 6% и 2% соответственно. Сумма перечисленных факторов определяет ход зависимостей и ту величину, на которую могут снижаться электрические потери в секциях тигля. Часто соотношение мощности в загрузке и мощности потерь в тигле не позволяет пренебречь последними. В этом случае учет результатов исследования поможет при проектировании индукционных установок и систем управления ими.

Литература:

1. Программа расчёта электромагнитных параметров индукционной системы с разрезным проводящим тиглем / Свид. №2007614478 (рег. 24.10.2007). Правообладатели: Позняк И.В. Авторы: Позняк И.В., Шатунов А.Н., Печенков А.Ю. // Программы для ЭВМ. Базы данных. Топологии интегральных микросхем. – М.: ФГУ ФИПС, 2008.– №1. – С. 74.

2. Исследование энергетических характеристик индукционной системы с холодным тиглем / Шатунов А.Н., Позняк И.В., Печенков А.Ю. и др. // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Труды XII Международной конференции (21-23 июня 2010 г. Самара, Россия). – Самара: Самарский научный центр РАН, 2010.– С. 100-104.

ПОВЫШЕНИЕ КПД ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА ПРОТЯЖЁННОГО ИЗДЕЛИЯ С ЗАДАНЫМ НЕРАВНОМЕРНЫМ ТЕПЛОСЪЕМОМ

А.А. Хоршев, И.А. Цветков, С.В. Дзлиев
Санкт-Петербургский государственный электротехнический
университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)
г. Санкт-Петербург, aakhorshev@stud.eltech.ru

При нагреве до высоких температур протяжённого объекта с неравномерным теплосъёмом возникает проблема увеличения тепловых потерь излучением с его поверхности. Уменьшить потери излучением при сохранении количества сообщаемого объекту тепла возможно за счёт изменения распределения подводимого к объекту тепла. В работе рассмотрен способ уменьшения тепловых потерь при индукционном нагреве за счёт применения индуктора с неравномерным шагом намотки.

If a long object with irregular heat removal is heated to high temperatures the problem of heat energy loss from the surface increases. The heat energy losses can be reduced and still keeping constant the heat quantity supplied to the object by

changing the heating distribution. The article reviews the method of reducing heat energy losses during induction heating by using an indicator with irregular coil step.

Примером протяжённой системы с заданным неравномерным теплосъёмом может служить нагреваемая труба с протекающим через неё газом или жидкостью. Температура газа/жидкости на входе меньше температуры на выходе, что приводит к снижению температуры поверхности трубы на входе и повышению её на выходе относительно средней. Разница температур на поверхности тем больше, чем больше разница температур в газе/жидкости. Согласно закону Стефана-Больцмана, мощность, излучаемая поверхностью нагретого тела, пропорциональна четвёртой степени его абсолютной температуры [1]. Это означает, что любое отклонение распределения температуры поверхности тела от равномерного ведёт к повышению излучаемой мощности. Математическое обоснование этого утверждения тривиально и не приводится для экономии места. Использование теплоизоляции снижает влияние неравномерного распределения температуры на величину потерь, однако не уничтожает его.

Для наглядной демонстрации метода повышения КПД нагревательной установки, параллельно с его описанием я приведу порядок расчёта неравномерного индуктора для реальной системы.

Исходные данные: труба из немагнитной стали, внешний диаметр – 160 мм, толщина стенки – 5 мм, длина – 900 мм, температура газа на входе – 700°C, температура газа на выходе – 800°C, характер газового потока – турбулентный, газ – прозрачный. Средняя температура поверхности трубы – 850°C. Мощность транзисторного генератора – 10 кВт, потери в подводящих шинах и блоке согласования – 5%, выходное напряжение – 450 В, частота тока – 66 кГц. Внутренний диаметр индуктора – 240 мм, внутренний диаметр теплоизоляции из высокотемпературного бетона – 180 мм, толщина изоляции – 20 мм. Схематичное изображение установки (сечение параллельно оси трубы) представлен на рисунке 1.

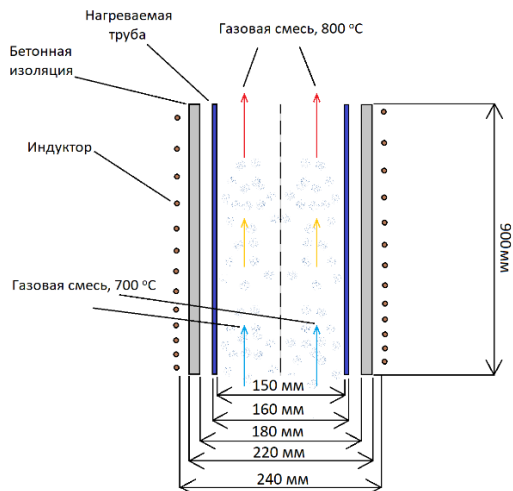


Рисунок 1 – схематичное изображение установки

Этих данных – начальной и конечной температуры газа, характера течения и мощности, подводимой к установке – достаточно для расчёта теплового потока в газ с внутренней поверхности трубы. Для расчёта потерь с внешней её поверхности необходимы также коэффициент черноты и коэффициент конвективной теплопередачи. Часть мощности

генератора тратится также на потери в индуктирующем проводе, поэтому для определения мощности, передаваемой в газ, необходимо провести электрический расчёт индуктора (в конкретном примере – 30-витковый медный индуктор из трубки диаметром 10 мм). Для данной задачи расчёт проводился по методике, описанной в [2], однако может быть применена любая другая методика, позволяющая рассчитать параметры охватывающего многovitкового индуктора с нагрузкой.

В результате электрического расчёта для тридцативиткового охватывающего индуктора было получено значение тепловых потерь в индуктирующем проводе: $P_{пот} \approx 2кВт$. Исходя из потерь в блоке согласования, мощность, подводимая к трубе, равна $P_{mp} = (10000 - 10000 \cdot 0,05 + 2000)Вт = 7500Вт$. Так как система труба-газ осесимметрична, имеет смысл найти выражение для линейной плотности мощности, передаваемой с внутренней поверхности трубы в газ. С учётом геометрии системы, характера потока и уравнений теплообмена [1], зависимость плотности мощности от высоты над нижним срезом трубы имеет вид:

$$P(x) = 3360 + 8180 \cdot e^{-1,22x} [Bm / m]$$

Для того, чтобы снизить потери излучением, необходимо выровнять температурное поле по поверхности объекта, то есть обеспечить распределение сообщаемой ему мощности таким же, как распределение потерь и полезной мощности при постоянной температуре поверхности.

Зависимость мощности, выделяемой в единице длины трубы, от высоты, выраженная через шаг намотки индуктора, имеет вид:

$$P(x) = 1/(K^2 P(x)^2)$$

где $h(x)$ – зависимость шага намотки индуктора от высоты, $K[м/Вт^2]$ – коэффициент пропорциональности, C – постоянная (равенство её нулю получается при решении системы уравнений, представленной ниже). Зависимость была получена на основе закона полного тока, уравнений Максвелла и закона Джоуля-Ленца в дифференциальной форме [2].

Тогда зависимость шага намотки индуктора от высоты имеет вид:

$$h(x) = K \cdot \sqrt{1/P(x)}$$

Для того, чтобы найти K , необходимо решить следующую систему уравнений:

$$\begin{cases} h(x) = K / \sqrt{3360 - 8180 \cdot e^{-1,22x}} \\ \int_{0,04}^{0,86} 1/K^2 \sqrt{(3300 + 8180 \cdot e^{-1,22x})} dx = 29 \end{cases}$$

Второе уравнение имеет такой вид потому, что выбранное число витков – 30, ему соответствует 29 шагов намотки, и витки отстоят на 40 мм от краёв трубы во избежание перегрева кромок.

В результате решения системы уравнений была получена следующая зависимость:

$$h(x) = 1/\sqrt{487 + 1184 \cdot e^{-1,22x}}, м$$

Для демонстрациирботы методики была построена и рассчитана двумерная осесимметричная численная модель индуктора в среде *Ansoft Maxwell 15*. График зависимости мощности, выделяющейся в единице длины трубы, от высоты над её нижней кромкой, представлена на рисунке 2.

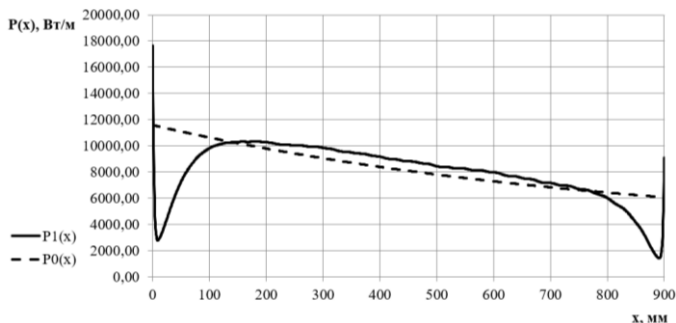


Рисунок 2 –Зависимость мощности, выделяющейся в единице длины трубы, от высоты над нижним срезом трубы. Пунктирная линия – требуемое распределение; сплошная – полученное в результате моделирования

Не считая провалов и пиков у торцов трубы, полученное в результате моделирования распределение мощности близко к требуемому. Это позволит, пусть несущественно, но уменьшить потери излучением.

Для расчёта максимально возможного сокращения потерь при применении этого метода необходимо решить две системы уравнений теплопроводности: для равномерного распределения температуры и для распределения при равномерной намотке индуктора (в данном случае – экспоненциального):

$$\begin{cases} \frac{S_1 \sigma}{1/\varepsilon_1 + 1/\varepsilon_2 - 1} (T_0^4 - T_1^4) - (T_1 - T_2) \frac{\lambda \pi}{\ln(D_3 - D_2)} = 0; \\ S_3 \varepsilon_2 (T_2^4 - T_3^4) + S_3 \alpha (T_2 - T_3) - (T_1 - T_2) \cdot \frac{\lambda \pi}{\ln(D_3 / D_2)} = 0. \end{cases}$$

Для конкретных условий уменьшение потерь составило порядка 1%, однако при большем перепаде температур (например, от 20 до 800°C) потери могут уменьшиться на 10-15%.

Литература:

1. Михеев М. А., Михеева И. М. Основы теплопередачи. М.: Энергия, 1977, 344 с.
2. Слухоцкий А. Е., Рыский С. Е. Индукторы для индукционного нагрева. Л.: Энергия, Ленинградское отделение, 1974, 265 с.

ИНДУКТОР ДЛЯ НАГРЕВА ТРУБЫ ИЗ МАГНИТНОЙ СТАЛИ

И.А. Цветков, С.В. Дзлиев, А.А Жукова
Санкт-Петербургский государственный электротехнический
университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)
г. Санкт-Петербург, icarusfortsoy@gmail.com

В данной работе спроектирован и испытан индуктор для нагрева трубы из магнитной стали (сталь 45) с размерами: диаметр 159 мм, высота 900 мм. Индуктор должен быть выполнен так, чтобы обеспечить равномерный нагрев на продолжительном промежутке времени, также блок согласования такого индуктора должен иметь реальные характеристики.

In this work, an inductor was designed and tested for heating a pipe made of magnetic steel (steel 45) with dimensions: diameter 159 mm, height 900 mm. The inductor must be designed to ensure uniform heating over a long period of time, and the synchronizer unit of such an inductor must have real characteristics.

Требуется нагреть трубу из магнитной стали (стали 45), имеющую следующие параметры: внешний диаметр $D_2 = 160$ мм; внутренний диаметр – 150 мм; длина $a_2 = 900$ мм. Индуктор должен иметь внутренний диаметр $D_1 = 240$ мм. Мощность блока питания $P = 40$ кВт. КПД блока согласования – 95%. Температура газа по длине трубы растет от 20°C до 850°C . Частота нагрева $f = 66$ кГц. Эти параметры были даны нам. Для изготовления индуктора мы выбрали медную трубку диаметром 10 мм и с толщиной стенки $d_1 = 1$ мм. Длина индуктора будет $a_2 = 820$ мм.

Также для работы используется транзисторный генератор инверторный ТГИ-40/66.

Требуется рассчитать индуктор так, чтобы согласование генератора с нагрузкой оказалось выполнимой задачей. То есть понижающий трансформатор должен иметь такое число витков, чтобы их можно было намотать вокруг ферритовых колец, а конденсатор должен быть таким, чтобы его емкость возможно было набрать из имеющихся в наличии реальных конденсаторов, и чтобы они не имели слишком большой размер и массу. Чем меньше массогабаритные характеристики блока согласования, тем лучше. Также индуктор должен иметь такое число витков, чтобы нагрев по длине трубы был равномерным, и чтобы мы могли такое число витков навить. А еще хорошо было бы, если бы индуктор имел такое число витков, чтобы трансформатор не понадобился. Но, к сожалению, это не всегда возможно.

Допустим, для равномерного нагрева достаточно 30 витков. В таком случае витки будут располагаться через 2,8см, что достаточно для равномерного нагрева. В ходе расчета такого индуктора было выяснено,

что на конденсаторе будет слишком большое напряжение. Емкость блока согласования также имеет нежелательное значение. Емкость конденсатора хотелось бы иметь в микрофарадах, так как конденсаторы с маленькой емкостью имеют большие размеры и дороже. Значит, нужно разбить индуктор на несколько секций, соединенных параллельно. Например, можно разбить индуктор на 5 параллельно соединенных секций по 6 витков. В таком случае эквивалентное активное и реактивное сопротивление индуктора будет делиться на количество секций в квадрате (n^2). Индуктор изображен на рисунке 1.



Эквивалентное сопротивление индуктора:

$$r_{\Sigma} = w^2 \frac{(r_1 + r_2)}{n^2} = 30^2 \cdot \frac{(5,965 \cdot 10^{-5} + 3,081 \cdot 10^{-4})}{5^2} = 0,013$$

Ом.

Эквивалентное реактивное сопротивление индуктора:

$$x_{\Sigma} = w^2 \frac{(x_{1m} + x_2)}{n^2} = 30^2 \cdot \frac{(5,965 \cdot 10^{-5} + 0,015)}{5^2} = 0,534$$

Ом.

В таком случае напряжение на конденсаторе получится оптимальным:

$$U_u = I \cdot z_{\Sigma} = 338,8 \cdot 0,534 = 904 \text{ В.}$$

Рисунок 1 – индуктор

Емкость также будет несложно подобрать из модельного ряда конденсаторов:

$$C = \frac{1}{2\pi \cdot x_{\Sigma} \cdot f} = \frac{1}{2\pi \cdot 0,534 \cdot 66000} = 4,52 \cdot 10^{-6} \text{ Ф.}$$

Выше приведены расчеты горячего режима работы установки, то есть работы при температуре трубы 850°C . Но, так как сталь магнитная, ее параметры будут изменяться в процессе нагрева. Поэтому целесообразно провести расчет холодного режима. В холодном режиме глубина проникновения тока в трубу Δ_2 относительно небольшая – 0.06 мм. Напряжение на вторичной обмотке трансформатора отличается в несколько раз, в холодном режиме коэффициент трансформации следует сделать равным примерно 6, это позволит подавать нужную мощность с начала нагрева. При проведении эксперимента будет видно, что в диапазоне температур до точки Кюри сопротивление системы

выше номинального в несколько раз. Поэтому коэффициент трансформации трансформатора в блоке согласования в холодном и в горячем режимах отличается примерно в 2 раза. Оптимальным решением для нагрева трубы из магнитной стали мы нашли нагрев сначала на одном коэффициенте трансформации, а потом, при прохождении точки Кюри, переключение на другой коэффициент трансформации, более высокий. Емкость конденсатора же в этих режимах не сильно изменяется. Следовательно, блок согласования для обоих режимов будет один и тот же, но у него должна быть возможность быстрого переключения коэффициента трансформации.

Сравнительные результаты расчетов представлены в таблице 1.

Таблица 1

	1 виток (гор.)	30 витков (гор.)	5 секций по 6 витков (гор.)	5 секций по 6 витков (хол.)
$r_э,$ Ом	0,00 036	0,331	0,013	0,193
$x_э,$ Ом	0,01 5	13,339	0,534	0,715
$Z_э,$ Ом	0,01 5	13,343	0,534	0,74
$I,$ А	1016 0	338	1694	443,3
$U_и,$ В	150	4520	904	328
$U_т,$ В	3,7	112	22,4	85,7
$C,$ мкФ	–	0,18	4,5	3,4

В таблице $r_э$ и $x_э$ – эквивалентное активное и реактивное сопротивление индуктора; $Z_э$ – Полное эквивалентное сопротивление индуктора; I – ток в индукторе; $U_и$ – напряжение на индукторе и на

конденсаторе; U_T – напряжение на вторичной обмотке трансформатора; C – емкость конденсаторной батареи.

Для того, чтобы проверить равномерность нагрева индуктор и труба были смоделированы в программе *ANSYS Maxwell 16.0*. Так как система осесимметрична, она может быть смоделирована в двухмерном виде. Моделируется «горячий» режим работы, так как он занимает основное время нагрева. Результаты моделирования представлены на рисунке 2.

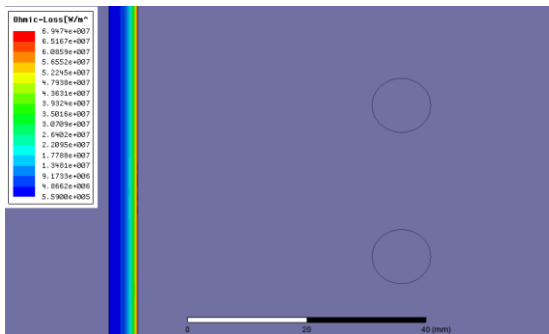


Рисунок 2 – Модель витков индуктора и стенки трубы

Справа на рисунке видно два соседних витка индуктора, расстояние между которым – 28 мм, слева – стенка трубы и распределения мощности в ней. Видно, что мощность распределена равномерно, нет провалов и разрывов.

В ходе экспериментов было выявлено, что для увеличения теплового КПД необходимо использовать теплоизоляцию. В качестве теплоизоляции можно использовать минеральную вату или трубу из асбестоцемента.

Литература:

1. ООО «Научно-исследовательский, образовательный и производственный центр высокочастотных электротехнологий «ИНТЕРМ». Режим доступа: <http://www.interm.su>
2. Б.Ю. Семенов. Силовая электроника: от простого к сложному. – М.: Солон-Пресс, 2005. 22-75 с.
3. С. В. Дзлиев. Транзисторные генераторы для индукционного нагрева. СПб.: СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2012. 66-135 с.
4. Установки индукционного нагрева: Учебное пособие для вузов/ А.Е. Слухоцкий, В.С. Немков, Н.А. Павлов, А.В. Бамунэр. Л.: Энергоиздат. Ленингр. Отделение, 1981. 328 с.

5. Индукторы для индукционного нагрева/ А.Е. Слухоцкий, С.Е. Рыскин. Л.: «Энергия», 1974. 264с.

ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ ПЕРЕШИХТОВКИ ПРОВОДНИКОВ ВТОРИЧНОГО ТОКОПОДВОДА КРУГЛОЙ РУДНОТЕРМИЧЕСКОЙ ПЕЧИ МОЩНОСТЬЮ 40 МВА

А.А.Шепелёв, Л.П.Горева
Новосибирский государственный технический университет
г.Новосибирск, misstarget2013@mail.ru

В данной работе предложены новые способы перешихтовки проводников фаз короткой сети руднотермической печи РКЗ-40. Полученные в дальнейшем расчеты активных и индуктивных сопротивлений данных способов позволяют судить о целесообразности их использования для симметрирования фаз вторичного токоподвода.

In this paper, studies have been conducted of various methods of restacking the conductors of the phases of the short network of the ore-thermal furnace. The calculations of the active and inductive resistances of these methods obtained in the future will make it possible to judge the feasibility of using them for balancing the phases of a secondary current jaw.

Ассиметрия фаз вторичного токоподвода приводит к неравномерности выделения мощности в рабочем пространстве печи и, как следствие, уменьшает её производительность и равномерность износа футеровки. Для снижения данного эффекта необходима оптимизация электрических параметров руднотермической печи (РТП), добиться которой возможно при помощи исследования различных способов перешихтовки короткой сети. Конструкция печи РКЗ-40 приведена на рисунке 1.

Для традиционной схемы короткой сети круглой РТП «треугольник на электродах» с односторонним расположением источника питания относительно ванны печи шинопакет средней фазы короче шинопакета крайней фазы, следовательно, на этом участке закладывается асимметрия токоподвода. При проектировании крайних фаз стремятся минимизировать индуктивное сопротивление за счет максимального бифилирования, выбирая вариант шихтовки, расстояние между проводниками.

Для трубчатых шинопакетов традиционными являются шахматный и коридорный варианты перешихтовки (Рисунок 2 а, б). Минимальное индуктивное сопротивление дает шахматный вариант, поэтому его

логично использовать для длинных крайних фаз. Для короткой средней фазы надо использовать способ перешихтовки, дающий индуктивное сопротивление близкое сопротивлению крайней фазы. Коридорная перешихтовка не всегда может дать такой результат. Поэтому предложено множество вариантов перешихтовки, являющихся комбинациями шахматного и коридорного, в котором можно выбрать наиболее подходящий для средней фазы. Пример такого варианта представлен на рисунке 2, в.

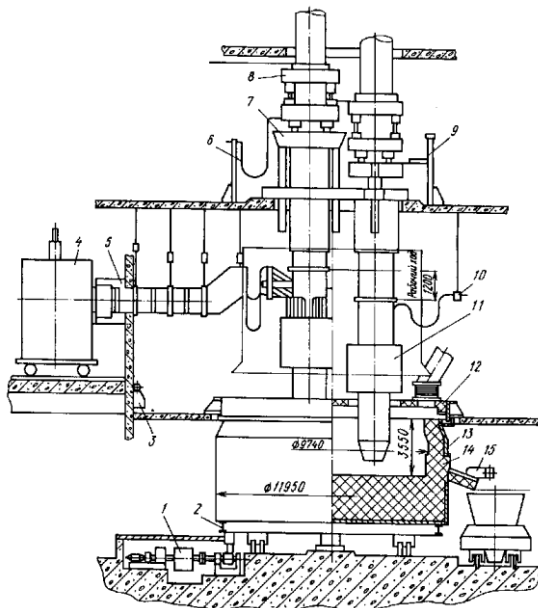


Рисунок 1 Общий вид электропечи РКЗ-40Фс-И1: 1 - механизм вращения ванны электропечи; 2 - опора кольцевая; 3 - система водоохлаждения; 4 - трансформатор; 5 - шинопровод сети короткой; 6 - система гидропривода; 7 - гидроподъемник; 8 - устройство для перепуска электрода; 9 - монтаж механический установки конечных выключателей; 10 - привод гидравлический прижима устройств контактных; 11 - токоподвод; 12 - свод; 13 - кожух; 14 - ванна; 15 - монтаж механический установки аппаратов для прожига леток

Симметрирование сети выполняется для печи РКЗ-40 (руднотермическая круглая закрытая, мощностью 40 МВА). В печи РКЗ-40 пакет трубошин выполнен из 20 водоохлаждаемых трубошин (по 10 на полуфазу) [1]. Трубошины могут быть скомпонованы по схеме

$n \times m = 5 \times 4$ и $n \times m = 10 \times 2$. Наружный диаметр трубошин равен 0,06 м с толщиной стенки 0,01 м.

В [1] предлагается методика расчета индуктивного сопротивления пакетов трубошин, перешихтованных только традиционными способами (Рисунок 2, а,б). Для печи РКЗ-40 индуктивное сопротивление шахматного варианта при компоновке 5×4 – 7,33 мкОм/м; коридорного – 14,4 мкОм/м. Результаты для компоновки 10×2 : сопротивление коридорного типа перешихтовки – 25,57 мкОм/м.

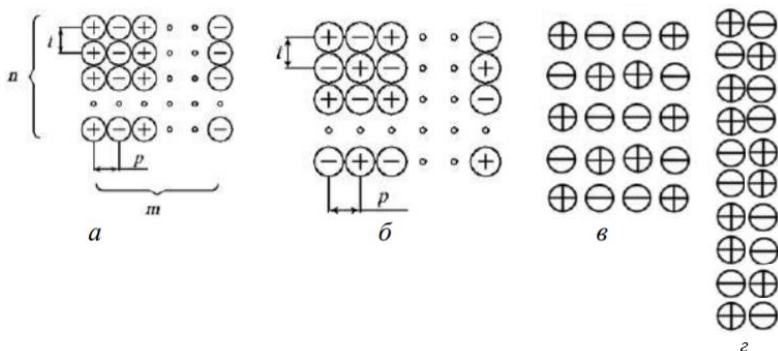


Рисунок 2 – варианты перешихтовки шинопакета РКЗ-40: а – коридорный, б – шахматный, в,г – новые.

Были разработаны несколько новых вариантов (Рисунок 2, в,г) перешихтовок. Методом численного моделирования электромагнитного поля шихтованного пакета в ПО Ansys определены сопротивления для традиционных и новых типов перешихтовки. Исходя из результатов, можно будет подобрать оптимальный вариант перешихтовки и получить равные значения индуктивного сопротивления шинопакетов фаз, не меняя их габаритов.

Литература:

1. Данцис Я.Б., Кацевич Л.С., Жилов Г.М. и др. Короткие сети и электрические параметры дуговых электропечей: Справочник. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Металлургия, 1987. 320 с.

УМЕНЬШЕНИЕ ПУЛЬСАЦИЙ МОМЕНТА У СИНХРОННЫХ МАШИН С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ

Р.Р. Бакиев, А.Ф. Шевченко

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, ruslanbakiew@mail.ru**

В статье приведены результаты исследования зубцовых пульсаций момента в синхронных машинах с постоянными магнитами и дробной зубцовой обмоткой. Результаты исследований у роторов с радиальным и тангенциальным расположением магнитов приведены в графическом виде. По данным графикам даны рекомендации для проектирования синхронных машин с такими типами роторов.

The article presents the results of the study cogging torque in synchronous machines with permanent magnets and fractional slot winding. The research results for rotors with radial and tangential arrangement of magnets in a graphic form. According to these graphs recommendations for designing synchronous machines with such types of rotors are given on them.

Применение синхронных машин с возбуждением от постоянных магнитов (СДПМ) началось не так давно. Основной причиной стремительного внедрения таких машин в различные области является появление высококоэрцитивных редкоземельных магнитов.

Сравнивая СДПМ с асинхронными двигателями, можно выделить следующие плюсы синхронных электродвигателей с постоянными магнитами:

- Повышенный КПД за счет снижения общего уровня потерь в машине, что объясняется отсутствием обмоток и токов в роторе, а также меньшей массой активных материалов (меди и стали).
- Повышенный момент в том же габарите за счет увеличения полноты машины, которая позволяет уменьшить высоту ярма и за счет этого увеличить диаметр расточки статора.

Но не смотря на такое преимущество синхронные двигатели с возбуждением от постоянных магнитов имеют ряд недостатков, один из которых пульсации момента.

В данной работе исследуется влияние зубцовой зоны на пульсации электромагнитного момента. Влияние зубцовой зоны статора уже было исследовано в литературе, а зубцовая зона ротора исследована не полностью.

В первом случае был рассмотрен ротор с тангенциальной намагниченностью постоянных магнитов

В данном роторе было исследовано влияние открытия магнита на пульсации электромагнитного момента: от полностью открытого до полностью закрытого магнита (рисунок 1).

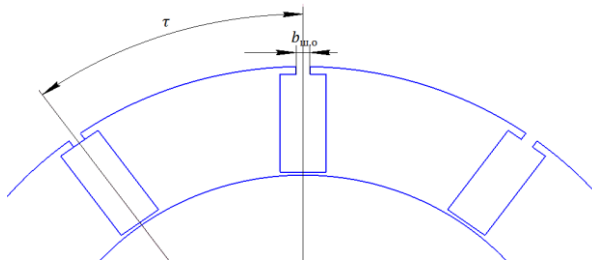


Рисунок 1 – Магнитная система ротора

После прорчета различных вариантов и их аппроксимации, был получен график зависимости зубцовых пульсаций момента от отношения ширины открытия магнита к полюсному делению. На рисунке 2 показана данная зависимость.

После проведения исследования можно выделатть два открытия, при которых получаются наименьшие пульсации момента: это при 0,038 и при 0,78. Данные открытия рекомендуются использовать для роторов с тангенциальной намагниченностью и $q=2/5$.

Во втором случае был рассмотрен ротор с радиальным расположением постоянных магнитов

В данном роторе было исследовано влияние коэффициента полюсного перекрытия на пульсации электромагнитного момента: от 1 до 0.5 (рисунок 3).

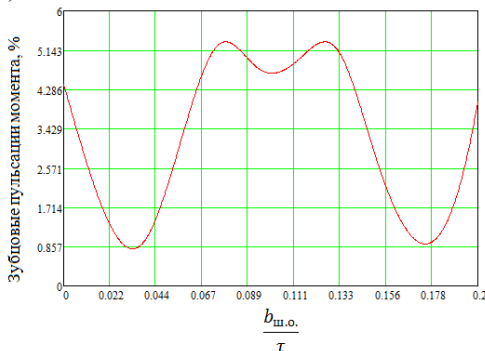


Рисунок 2 – Зависимость зубцовых пульсаций момента от отношения ширины открытия магнита к полюсному делению

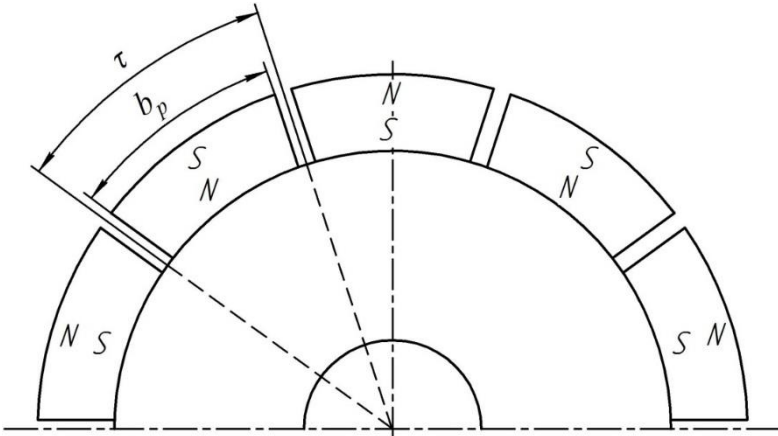


Рисунок 3 – Магнитная система ротора

Коэффициент полюсного перекрытия является отношением полусной дуги b_p к полюсному делению τ .

После просчета различных вариантов и их аппроксимации, был получен график зависимости зубцовых пульсаций момента от коэффициента полюсного перекрытия. На рисунке 4 показана данная зависимость.

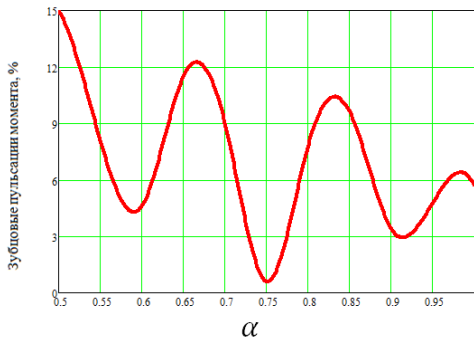


Рисунок 4 – Зависимость зубцовых пульсаций момента от коэффициента полюсного перекрытия

После проведения исследования можно выделить два коэффициента полюсного перекрытия, при которых получаются наименьшие пульсации момента: это при 0,75 и при 0,92. Данные коэффициенты

полносного перекрытия рекомендуются использовать для роторов с радиальным расположением постоянных магнитов и $q=2/5$.

Литература:

1. Шевченко А.Ф. Многополюсные синхронные машины с дробными зубцовыми обмотками с возбуждением от постоянных магнитов – Электротехника, №9, 2007 г., с 3-9.
2. Приступ А.Г., Топорков Д.М. Исследование способов уменьшения пульсаций момента в магнитоэлектрических синхронных машинах с дробными зубцовыми обмотками.– Известия высших учебных заведений. Электромеханика. – 2013. - № 6. – С. 14-18.
3. Шевченко А.Ф. Электрические машины с постоянными магнитами: учеб. пособие // А.Ф. Шевченко, А.Г. Приступ. – Новосибирск: изд-во НГТУ, 2016. – 64 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ПУСКЕ ГИБРИДНОГО СИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ПОГРУЖНОГО НЕФТЯНОГО НАСОСА С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ

**Н.А. Банщиков, Д.М. Топорков
Новосибирский государственный технический университет
г. Новосибирск, banshikov.nikita@mail.ru**

В данной работе представлены результаты моделирования переходных процессов при пуске гибридного синхронного электродвигателя с постоянными магнитами при различных нагрузках. Моделирование проводилось с помощью программной среды MatLab и его приложения Simulink.

In this work, present the result of simulation of transients during the start-up of a hybrid synchronous electric motor is permanent magnets under various loads. The simulation was carried out using the MatLab software environment and its Simulink application.

В работе [1] представлена разработка СДПМ с демпферной обмоткой (гибридный электрический двигатель) и проведен пуск электродвигателя от системы скалярного управления по заданной характеристики U/f . В данном исследовании приведены результаты работы гибридного электродвигателя от системы скалярного управления по заданной характеристики при различной нагрузки.

Рассмотрены режимы холостого хода, плавного пуска при насосной нагрузке и перегрузки.

Для моделирования переходных процессов предложенного двигателя создана модель с использованием Matlab/Simulink блоков, которая также приведена в работе [1].

Произведено моделирование пуска гибридного двигателя без какой-либо нагрузки на валу ротора. Результаты моделирования показаны на Рисунке 1 и 2.

Как видно из Рисунка 2, на всем диапазоне разгона ротор двигателя разгоняется достаточно плавно без каких либо колебаний, при достижении номинальной частоты вращения наблюдаются небольшие колебания. Эти колебания вызваны инерцией ротора.

Далее проведено моделирование гибридного электродвигателя при плавном пуске под насосной нагрузкой с кратковременной перегрузкой. График нагрузки показан на Рисунке 3. Как видно из Рисунка 3 электродвигатель разгонялся под насосной нагрузкой до номинальной скорости, а затем был ступенчатый наброс нагрузки равный 0.5 от M_n .

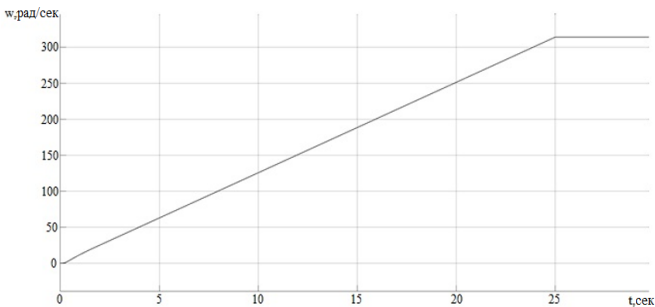


Рисунок 1 - Угловая скорость вращения электродвигателя без нагрузки

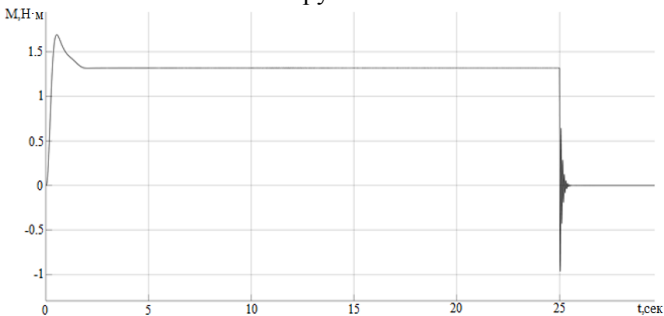


Рисунок 2 - Электромагнитный момент двигателя без нагрузки

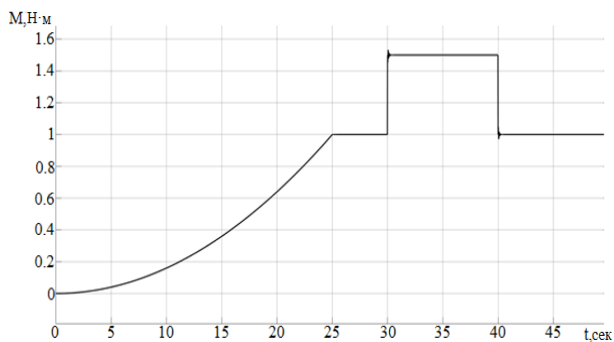


Рисунок 3 – График нагрузки электродвигателя

На Рисунке 4 и 5 показаны графики скорости и электромагнитного момента исследуемого электродвигателя.

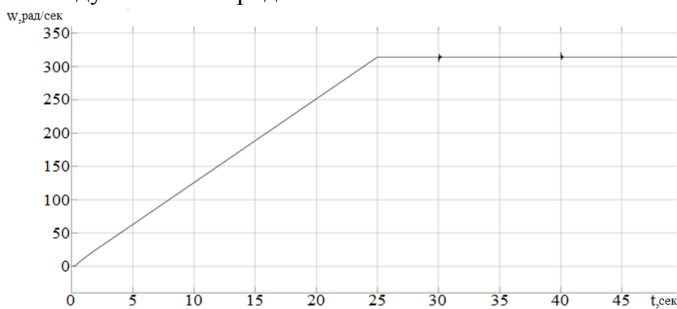


Рисунок 4 - График изменения угловой скорости при заданной нагрузке

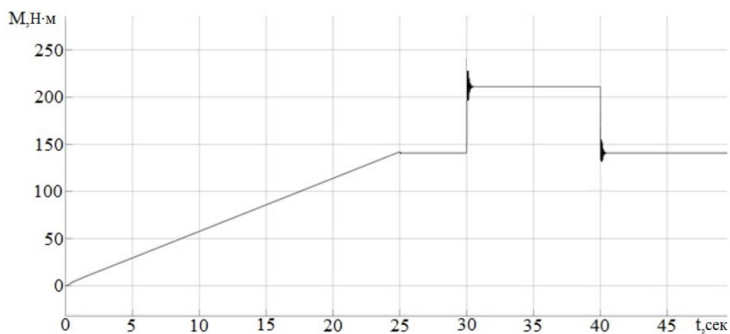


Рисунок 5 - График изменения электромагнитного момента при заданной нагрузке

После проведения моделирования гибридного двигателя можно сделать вывод, что исследуемый электродвигатель при управлении по заданной характеристике U/f может устойчиво работать при пуске без нагрузки, насосной нагрузки и перегрузки.

Литература:

1. Банщиков Н.А., Бабицкий Д.Ю. Синхронный погружной двигатель нефтяного насоса с демпферной обмоткой с возбуждением от постоянных магнитов // Интеллектуальный потенциал Сибири, межвузовская научная студенческая конференция: сборник научных трудов в 23 ч. - Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2017. - Ч. 20. -С. 10-14.
2. Черных, И.В. SimPowerSystems: Моделирование электротехнических устройств и систем в Simulink / И.В. Черных. - Екатеринбург: Азимут, 2001. - 204 с
3. Копылов, И.П. Проектирование электрических машин / И.П. Копылов. - Москва: Энергия, 1980. - 494 с.

СИНХРОННЫЙ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЬ ДЛЯ РУЛЕВОГО УПРАВЛЕНИЯ ЛЕГКОВОГО АВТОМОБИЛЯ

Н.С. Гецинер, А.Ф. Шевченко

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, getsiner96@mail.ru**

В данной статье приведены: преимущества использования синхронного двигателя с постоянными магнитами в приводе электроусилителя руля легкового автомобиля, конструктивные особенности данного двигателя, показатели и характеристики.

This article describes: the benefits of using a synchronous motor with permanent magnets in the drive electric power steering of the car, the design features of the engine, performance and features.

В условиях нарастания транспортных потоков, разнообразия конструкций и характеристик современных автомобилей повышается значимость обеспечения надежной управляемости и устойчивости движения. С этой задачей успешно справляются усилители рулевого управления, такие как ГУР, ЭМУР и т.д. В настоящее время усилители являются не только средством облегчения управления, но и инструментом улучшения ряда эксплуатационных характеристик автомобиля. В последнее время наилучшим технико-экономическим показателям отвечают электромеханические усилители рулевого

управления в отличие от остальных, а это означает, что работа в данной области становится все более перспективной. Одним из основных элементов электромеханического усилителя рулевого управления является электродвигатель, осуществляющий помощь водителю в управлении автомобилем, а именно уменьшением прикладываемой силы на руль, что в свою очередь значительно повышает комфорт и управляемость автомобиля.

Двигатель электромеханического усилителя рулевого управления является 3-фазным синхронным электродвигателем. По сравнению с двигателем постоянного тока, так же используемым в усилителях, синхронный двигатель показал ряд преимуществ.

- Легкий;
- Имеет меньшие габариты;
- Отсутствует дополнительная инерционная масса на руле;
- Долговечен;
- Не требует настроек;
- Экономичен и обладает быстрой реакцией отклика.

Плюсы использования синхронных электродвигателей с постоянными магнитами по сравнению с двигателями постоянного тока в приводах усилителей:

1. Отсутствие обмоток и токов в роторе снижает общий уровень потерь в машине, что позволяет повысить ее электромагнитные нагрузки, а тем самым снизить габариты и вес машины;

2. Существенное увеличение полюсности позволяет уменьшить высоту ярма статора и за счет этого увеличить диаметр расточки статора электродвигателя и повысить развиваемый момент без увеличения внешних габаритов машины;

3. Ротор выполнен «коллекторного» типа с магнитами установленными в закрытых пазах. Такая конструкция обеспечивает концентрацию магнитного потока в воздушном зазоре, надежную защиту от механических воздействий, уменьшение размагничивающего действия реакции якоря.

Также в синхронных машинах с постоянными магнитами применяют однозубцовую обмотку с числом пазов на полюс и фазу $q < 1$. Такие обмотки позволяют уменьшить габариты электродвигателя за счет малой величины лобовых частей обмотки якоря, но при этом обеспечивают высокие энергетические показатели, в ряде случаев превосходящие показатели машин с обычными обмотками. Эти машины обладают высоким значением электромагнитной силы, приходящейся на единицу активной поверхности статора, низким расходом удельных материалов, простой конструкцией и повышенной надежностью.

Постоянные магниты размещаются на роторе, магниты намагничены тангенсально и имеют марку NdFeB.

Синхронный двигатель обладает высоким КПД, поскольку отсутствует необходимость расходовать энергию на ток возбуждения. Благодаря этому снижается потребление электроэнергии по сравнению с другими системами рулевого управления.

Литература:

1. Бухгольц Ю. Г. Многополюсные синхронные машины. Часть 2. Электромагнитный расчет и программа расчета на ЭВМ. Методические указания / Ю. Г. Бухгольц, А. В. Комаров, А. Ф. Шевченко и др. – Новосибирск: НГТУ, 1996. – 50с

2. Копылов И. П. Проектирование электрических машин / И. П. Копылов, Ф. А. Горяинов, Б. К. Клоков, В. П. Морозкин, Б. Ф. Токарев. – М. : Энергия, 1980. – 496 с.

3. Гецинер Н. С. Электроусилитель рулевого управления с червячным редуктором / Н. С. Гецинер, А. А. Шандыбина, А. Е. Кожевников ; науч. рук. О. И. Новокрещенов // Наука. Технологии. Инновации : сб. науч. тр. : в 10 ч., Новосибирск, 4–8 дек. 2017 г. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2017. – Ч. 5. – С. 75-77.

АНАЛИЗ МЕТОДИК ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЯГОВОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ДЛЯ ПРИВОДА КАРЬЕРНОГО САМОСВАЛА

Б.С. Доржиева, А.В. Киселев

**Томский политехнический университет,
г. Томск, beligma.dorzhieva@mail.ru**

В статье рассмотрены вопросы подбора методики проектирования тяговых асинхронных двигателей для привода карьерных самосвалов. Приведен анализ существующих методик и обоснование выбора применяемой методики. Рассмотрены особенности тяговых асинхронных двигателей, их преимущества. При проектировании был выбран прототип электродвигателя, входящего в электропривод карьерного самосвала БЕЛАЗ-7513. Рассмотрены возможные причины расхождения результатов проектирования и прототипа.

The paper describes the selection of methodology for the design of asynchronous traction motors for dump truck drives. The analysis of existing methods and rationale for choosing of the applied method choice is given. The features of induction traction

motors and their advantages are considered. A prototype of the electric motor as a part of the BELAZ-7513 electric drive was chosen for designing. The possible reasons for the discrepancy between the design results and the prototype are considered.

В настоящее время наблюдается тенденция развития электротранспорта: автомобильного, железнодорожного, городского и пригородного, карьерного и других видов. Обсуждаются перспективные развития, новые технические решения, создание энергоэффективных технологий.

Плавный переход к электрическим машинам взамен двигателей, использующих топливо для получения механической энергии обусловлен несколькими факторами: стремлением к использованию экологически чистых источников энергии, ростом стоимости топлива. Электрические машины находят применение и в приводах большегрузных карьерных самосвалов, максимальная грузоподъемность которых может достигать 450 тонн (Белаз-75710) [1].

Карьерные самосвалы в силу своей достаточно большой грузоподъемности используются для транспортировки разрыхленной горной массы на открытых разработках полезных ископаемых в самых различных климатических условиях.

Крупнейшими производителями большегрузных карьерных самосвалов являются холдинг БЕЛАЗ, конгломерат Komatsu, корпорация Hitachi, компания Terex.

Тяговые электродвигатели являются одним из наиболее ответственных видов тягового оборудования в конструкции любого транспорта. Возможности транспорта, в том числе надежность, в основном зависят от работоспособности в условиях эксплуатации и технических характеристик.

В тяговых электроприводах приводах карьерных самосвалов все чаще применяются асинхронные двигатели. Данный тип двигателей обладает рядом преимуществ по сравнению с двигателями постоянного тока, такими как надежность, высокие эксплуатационные характеристики, особенностями конструкции. Также следует отметить, что управление асинхронными двигателями в настоящее время не вызывает затруднений благодаря высокому уровню развития полупроводниковой и преобразовательной техники - на данный момент существуют преобразователи частоты для двигателей больших мощностей.

Для расчета и проектирования асинхронного двигателя был осуществлен подбор методик. Проектирование общепромышленных двигателей с диапазоном мощностей 0,09-110 кВт производится по методикам И.П. Копылова, О.Д. Гольдберга. В рамках исследования

был произведен анализ существующих методик проектирования тяговых электрических машин [2,3].

Целью данного исследования является подбор методик, применимых при проектировании тяговых электрических машин для электроприводов карьерных самосвалов.

При проектировании тягового асинхронного двигателя для привода карьерного самосвала Белаз-7513 грузоподъемностью 130-136 тонн использовалась методика, изложенная М.Д. Находкиным. Данная методика применяется для проектирования тяговых электродвигателей электровозов. Одной из особенностей используемой методики является учет влияния высших гармонических и создаваемых ими потерь, обусловленных способом управления двигателем, реализуемого с помощью преобразователя частоты [4].

Прототипом служил асинхронный электродвигатель для привода карьерного самосвала «БЕЛАЗ» грузоподъемностью 130-136 тонн ТАД-5. Технические характеристики двигателя представлены в таблице 1 [1].

Таблица 1 – Технические характеристики двигателя ТАД-5

Наименование параметра	Норма
Номинальная мощность, кВт	610
Частота вращения двигателя, об/мин	0-850-3400
Номинальное выпрямленное напряжение, В	1000
Режим работы	S1

Особенностью применяемой методики М.Д. Находкина является специфическое применение, обусловленное тем, что методика направлена на проектирование электродвигателей для привода электровозов. В связи с этим был принят ряд мер, позволяющих применить данную методику при проектировании рассматриваемого двигателя. После расчетов выявлено, что спроектированный двигатель имеет расхождение с прототипом, что связано с особенностями методики и отсутствием информации о главных и габаритных размерах двигателя, используемых материалов.

Для проверки адекватности расчетов были построены модели двигателя в различных ПО (Elcut, Ansys). Из анализа полученных данных был сделан вывод о том, что при расчете габариты машины были завышены. Это может быть обусловлено выбором материала магнитопровода с иными свойствами– при проектировании была выбрана сталь марки 2411 толщиной 0,5 мм. На рисунке 1 представлено

распределение магнитной индукции в ярме и зубцах машины. Индукции в ярме ниже рекомендуемых, тогда как на отдельных участках зубцов наблюдается завышенные индукции.

В настоящее время не существует общедоступных методик для проектирования электродвигателей для привода карьерных самосвалов. В дальнейших исследованиях будет производиться поиск и адаптация существующих методик для проектирования двигателей для привода карьерного самосвала.

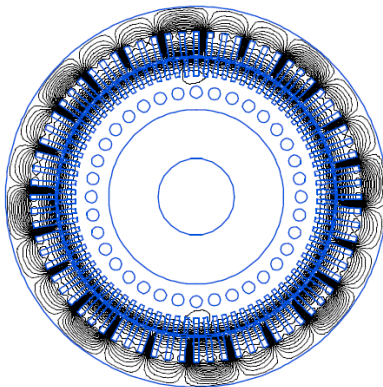


Рисунок 1 – Распределение магнитной индукции в машине, полученное в ПО Elcut

Литература:

1. Холдинг «БЕЛАЗ-ХОЛДИНГ» / ОАО «БЕЛАЗ» - управляющая компания холдинга «БЕЛАЗ-ХОЛДИНГ». [Электронный ресурс] : О предприятии / - Электрон. дан. URL: <http://belaz.by/about/>, свободный. (дата обращения: 20.10.2018 г.).
2. Проектирование электрических машин: учебник для вузов / И.П. Копылов, Б.К. Клоков, В.П. Морозкин, Б.Ф. Токарев. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательство Юрайт, 2011. – 767 с.
3. Проектирование электрических машин: Учебник / О.Д. Гольдберг, И.С. Свириденко. – 3-е изд., перераб. – М: Высшая школа., 2006. – 430 с.: ил.
4. Проектирование тяговых электрических машин: учебное пособие для вузов ж.-д. трансп. / под ред. М. Д. Находкина. - изд. 2-е, перераб. и доп. - М.: Издательство Транспорт, 1976. - 624 с.

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ НИЗКОВОЛЬТНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

А.Д. Зимогляд, А.А. Темляков, З.С. Темлякова
Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, zimoglyad_94@mail.ru

В работе рассмотрены конструктивно-технические особенности проектирования асинхронных двигателей специального назначения напряжением до 1000 В на примере асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором мощностью 15 кВт; приведены результаты расчета рабочих характеристик.

The paper discusses the design and technical features of the design of special-purpose asynchronous motors with voltages up to 1000 V using the example of a 15 kW squirrel cage rotor; shows the results of the calculation of performance

К асинхронным двигателям специального назначения в отличие от двигателей общепромышленного назначения предъявляется ряд специфических требований. Эти специфические требования, как правило, предопределяются условиями функционирования электрической машины в электромеханической системе [1, 2, 3].

Разработка асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором мощностью 15 кВт отвечает следующим требованиям:

1. Вписыванию габаритов электрической машины в заданное месторасположение.
2. Ограничение по массе асинхронного двигателя.
3. Требование определенных значений конкретных характеристик.
4. Оценка теплового состояния электрической машины согласно условиям охлаждения в замкнутом пространстве энергоустановки.

Цель работы заключается в обеспечении требований по вышеуказанным пунктам. В данной работе приводятся результаты исследований с учетом первых трех пунктов. Алгоритм исследования включает в себя решение трех исследовательских задач. Цель достигается решением следующих задач:

1. Определение главных размеров, соответствующих объему предоставленного пространства для асинхронного двигателя.
2. Поиск рациональных геометрических форм и размерных соотношений поперечного сечения активного объема двигателя цилиндрического исполнения с целью удовлетворения требований выходных характеристик.

3. Выполнение оценочных приближенных тепловых расчетов в соответствии с особенностями охлаждающего тракта и напорных элементов системы охлаждения.

В настоящей работе предоставлены основные результаты решения первых трех задач [1, 2].

Наилучшие результаты по соотношению главных размеров определены путем электромагнитных расчетов различных конструкций и приведены в таблице 1. Наилучшие результаты выбираются с двух позиций: с одной стороны, габариты машины хорошо вписываются в заданное пространство, а, с другой стороны, диапазон соотношения внутреннего диаметра якоря и расчетной длины воздушного зазора должен обеспечивать возможность поиска целесообразного соотношения коэффициента полезного действия и теплового состояния.

Таблица 1 – Соотношения главных размеров

D	Внутренний диаметр	0.14 14	0.13 52	0.14 56
l_{ϕ}	Расчетная длина воздушного зазора	0.12 6	0.13 8	0.11 9
D/l_{ϕ}	Коэффициент	1.11 83	0.97 67	1.21 99

Важно отметить, что решение третьей исследовательской задачи достигнуто путем обеспечения рационального соотношения чисел зубцов на статоре и роторе.

В таблице 2 представлены значения активных и индуктивных сопротивлений эквивалентной электрической схемы замещения асинхронного двигателя ($r_1, x_1, r_2, x_2, r_{12}, x_{12}$). При обосновании выбора геометрии пазов статора и ротора широко использовались картины магнитных полей, полученные в среде FEMM; на рисунке 1 в качестве примера представлена картина магнитного поля варианта при $D/l_{\phi}=1.1183$.

Таблица 2 – Результаты расчета параметров схемы замещения

D/l_{ϕ}	1.118	0.976	1.219
r_{12}	13.056	13.648	13.648
x_{12}	171.681	179.256	179.2563
r_1	1.060	1.016	1.017
x_1	4.053	4.166	4.166
r_2	1.0533	1.0845	1.0365
x_2	2.6736	4.103	3.881

На основании анализа параметров схемы замещения выбраны три наилучших модификации, для которых сделаны электромагнитные расчеты. Результаты расчета потерь приведены в таблице 3. Окончательный выбор варианта будет произведен при выполнении полного цикла исследований.

Таблица 3 – Результаты расчета потерь

D/l	Коэффициент	1.118	0.976	1.219
$P_{ст.осн}$	основные потери стали	183.1	175.7	187.1
$P_{пов1}$	полные поверхностные потери статора	20.7	18.153	22.6
$P_{пуль1}$	пульсационные потери в зубцах статора	0.760	0.832	0.552
$P_{пов2}$	полные поверхностные потери ротора	8.1	7.2	8.8
$P_{пуль2}$	пульсационные потери в зубцах статора	10.3	11.3	9.7
$P_{ст}$	Полные потери в стали	223	213.2	228.7
$P_{э1н}$	полные электрические потери статора	858.5	823	887.1
$P_{э2н}$	полные электрические потери ротора	709.2	730.2	697.9
$P_{мех}$	механические потери	466.2	395.7	517.8
η	КПД	0.91	89.6	89.6

Таким образом, при разработке асинхронных двигатель специального назначения эффективным средством, позволяющим обосновать оригинальные конструктивно-технические решения, является применение современных инструментальных средств, как показано на примере разработки асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором мощностью 15 кВт.

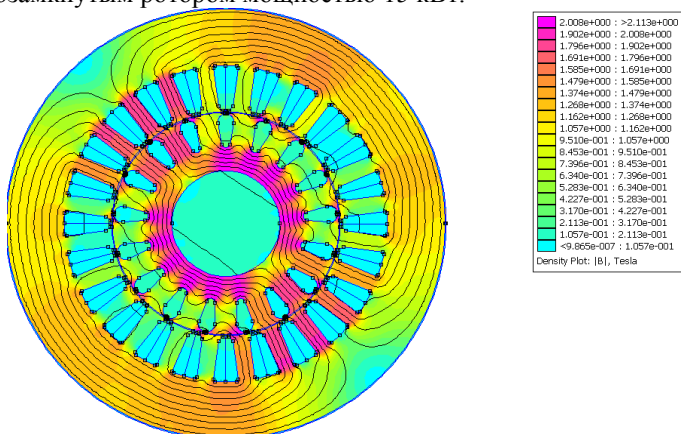


Рисунок 1 - Модель магнитного поля в программной среде FEMM при D/l=1.1183

Литература:

1. Темлякова З.С., Шевченко А.А., Гречкин В.В. Исследование эксплуатационных свойств асинхронного двигателя на основе численного моделирования // Электротехника. Электротехнология. Энергетика (ЭЭЭ-2015) = Electrical engineering. Electrotechnology. Energy (EEE-2015) : сб. науч. тр. 7 междунар. науч. конф. молодых ученых, Новосибирск, 9–12 июня 2015 г. В 3 ч. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2015. – Ч. 1. Секция «Электротехника». – С. 79-82.
2. Темлякова З.С., Гречкин В. В., Соловейчик Ю. Г., Персова М. Г. Компьютерная поддержка проектирования высоковольтных асинхронных двигателей // Электротехника, 2014. - № 12. - С. 33-35.
3. Зимогляд А. Д., Темляков А. А. Энергоэффективные асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором напряжением до 1000 В // Наука. Технологии. Инновации : сб. науч. тр. : в 10 ч., Новосибирск, 4–8 дек. 2017 г. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2017. – Ч. 5. – С. 81-83.

ПОВЫШЕНИЕ ПУСКОВОГО МОМЕНТА АВИАЦИОННОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Д.О. Кирсанова, Е.В. Бейерлейн

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, beierleinev@gmail.com

Проведено исследование и оптимизация модели асинхронного двигателя путем изменения числа пазов ротора, для улучшения пускового момента. Исследование проводилось на основе математических моделей комплекса диагностических средств в программном продукте ANSYS с последующей обработкой полученных результатов. Моделирование выполнялось, учитывая физические и энергетические характеристики двигателя.

The research and optimization of the induction motor model were carried out by changing its number of rotor slots, to improve the start torque. The study was based on mathematical models of a complex diagnostic tools in the ANSYS Maxwell software with subsequent processing of the results. The simulation was performed taking into account the physical and power characteristics of the motor.

На современных летательных аппаратах (ЛА) применяется большое количество исполнительных механизмов и агрегатов. Механическую энергию получают путем преобразования других видов энергии с помощью гидравлических, пневматических, электрических приводов. Электрический привод считается наиболее универсальным и надежным.

В связи с этим электродвигательный привод используется во всех типах оборудования летательных аппаратов (агрегаты запуска и управления авиадвигателями, взлетно-посадочная механизация, топливные и гидравлические насосы).

В насосах, приводах механизации, в приводе гироскопов, в приборном оборудовании ЛА применение нашли двигатели переменного тока. В силовом электроприводе наибольшее распространение получили трехфазные асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором.

В приводе топливного насоса чаще всего используются асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором. Асинхронные двигатели питаются напряжением 115/200В частотой 400Гц от бортовой системы электроснабжения.

Авиационный асинхронный двигатель питается напряжением с частотой 400 Гц. Повышение частоты приводит к прямопропорциональному увеличению индуктивных сопротивлений, а активные сопротивления при допущении, что скин-эффект отсутствует, можно считать неизменными. Увеличение индуктивных сопротивлений приводит к тому, что механическая характеристика асинхронного двигателя снижается, откуда следует, что значение пусковых токов и моментов не соответствует техническим требованиям, предъявляемым к данным машинам. Из опыта проектирования и эксплуатации асинхронных двигателей для авиационных агрегатов следует, что двигатели должны иметь повышенные пусковые характеристики.

Повысить пусковые характеристики возможно следующими способами:

- увеличение магнитного потока;
- увеличение высоты паза;
- использование конфигураций пазов, которые обеспечивают усиление скин-эффекта и демпфирование магнитного потока рассеяния;
- применение двойной клетки ротора;
- использование для клетки ротора материалов с повышенным удельным сопротивлением;
- уменьшение сечения короткозамыкающего кольца.

Некоторые из перечисленных способов использовались при электромагнитном расчете двигателя. В данной работе будет рассматриваться способ повышения пусковых характеристик путем изменения числа пазов ротора.

Изучение изменений механических характеристик от выше указанного параметра проводится с помощью программы ANSYS ElectromagneticSuite.

Программный комплекс ANSYS ElectromagneticSuite использует систему конечно-элементного анализа для выполнения электромагнитных расчетов. Данный продукт находит большое применение на предприятиях в проекторочных отделах. Применение программы для оптимизации проектных разработок на начальных стадиях позволяет снизить стоимость продукции.

Для оптимизации модели асинхронного двигателя пересчитаем двигатель на разное количество пазов ротора, рекомендованных в [1] (16, 20, 22, 30, 36, 42). Изменяем в модели геометрию паза ротора и их количество. Получаем механические характеристики и сводим значения максимальных и пусковых моментов в таблицу 1.

Таблица 1 – Зависимость максимального и пускового моментов от числа пазов ротора

z_2	M_{\max} , Нм	M_{Γ} , Нм
16	16.7292	4.7304
20	16.6279	5.3774
22	18.8608	5.4385
30	19.6662	6.0837
36	21.2335	6.4344
42	21.8839	6.3794

Механические характеристики АД с числом пазов ротора 16, 22, 36 приведены на рисунке 1.

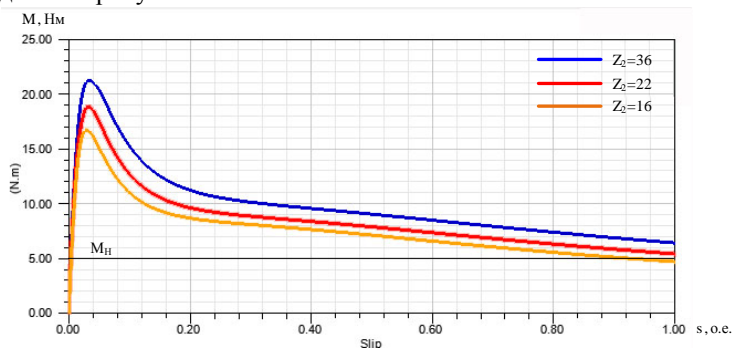


Рисунок 1 – Механические характеристики АД при изменении числа пазов ротора

При увеличении числа пазов ротора кратность пускового тока не превышала 5.5.

Анализируя полученные данные, можно сделать вывод что, оптимальное число пазов ротора АД $z_2=36$, т.к. пусковой момент наибольший. С последующим увеличением числа пазов ротора пусковой момент снижается.

Номинальный момент прототипа ДА-8 равен 5 Нм. Кратность пускового момента для изначально принятого числа пазов ротора 22 составляет 1.09, для оптимизированного двигателя – 1.29, что является допустимым для двигателя с вентиляторной нагрузкой.

Литература:

1. Поспелов Л.И. Конструкции авиационных электрических машин/ под ред. А.Ф. Федосеева. – М.: Энергоиздат, 1982. – 320с., ил.
2. Балагуров В.А. Проектирование специальных машин переменного тока: Учеб. Пособие для студентов вузов. – М.:Вышш. школа, 1982 – 272с. ил.
3. Шарабан Ю.В. Способы повышения пусковых характеристик авиационных асинхронных двигателей//Электротехника и Электромеханика. – 2007. – №1. – с.45-48

МАГНИТНЫЕ ВИБРАЦИИ В СИНХРОННЫХ МАШИНАХ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ И ДРОБНЫМИ ЗУБЦОВЫМИ ОБМОТКАМИ

М.А. Ковтун, Д.М. Топорков

**Новосибирский государственный технический университет
г. Новосибирск, kovtunaga96@gmail.com**

В работе представлены методы оценки вибросостояния электрических машин, анализ источников возбуждения вибрации и способы их подавления.

The paper presents methods for assessing the vibration state of electric motors, analysis of the sources of vibration excitation and methods for their suppression

Вибрация - это вид механического движения, при котором каждая из точек тела совершает периодически повторяющееся перемещение вблизи некоторого относительно неподвижного положения. Масштабы и характер изменения вибрации изменения вибрации во времени для каждого случая индивидуальны, анализ вибрационного состояния электрической машины представляет наибольший интерес, при исследовании которого позволяет диагностировать техническое

состояние механизмов и машин, выявлять источники возбуждения вибраций и устранять много дефекты, улучшающих вибростояние.

Вибрация происходит под действием сил возбуждения, имеющих различную природу, характеристика которых изложена в [1], кратко структурировать которых можно следующим образом:

1. Аэродинамические силы

Интенсивность этого источника вибрации зависит от того насколько хорошо с точки зрения аэродинамики и акустики сконструированы вентилятор и вентиляционные каналы машины.

2. Электромагнитные силы.

Действуют в воздушном зазоре между статором и ротором и имеют характер вращающихся или пульсирующих силовых волн, величина которых зависит от электромагнитных нагрузок и некоторых конструктивных элементов.

3. Механические силы

За счет сил, вызываемых дисбалансом ротора, конструкции подшипников качения, трением щеток о контактные кольца и др..

Контроль уровня вибрации решает несколько задач:

- предупреждение повышенной вибрации и связанного с этим интенсивного вибрационного износа механизма

- диагностика опасных развивающихся дефектов, способных привести к серьезным повреждениям, а иногда к полному разрушению механизма.

- оценка уровня шума, с целью уменьшения воздействия уровня шума на человека

Для анализа вибрационного состояния электрической машины используются:

1. Интенсивность колебаний, показывающая суммарное значение скорости колебаний различных частей машины.

2. Частотная характеристика колебаний, определяющая амплитуду и соответствующую частоту виброскорости частей машины.

3. Гармонический спектр колебаний, являющийся частным случаем частотного анализа, проводимый для обнаружения связей между колебаниями.

Наибольший интерес для синхронного двигателя с постоянными магнитами и дробной зубцовой обмоткой представляет анализ влияния магнитных сил на вибрацию машины. Это связано с тем что обмотка с дробным числом пазов на полюс и фазу, значением меньшим единице, обладает высоким гармоническим составом магнитной индукции в воздушном зазоре, что приводит к усиленным вибрациям,

возбуждаемыми высшими гармониками и значительно ухудшает вибростояние машины.

Целью работы является: определение частотного и гармонического спектра колебаний, интенсивности колебаний синхронного двигателя с помощью вибродатчиков и виброизмерителей, выявление источников вибрации и описание способа их уменьшения, до значений, удовлетворяющих техническим условиям.

В работе решены следующие задачи:

- Анализ частотного и гармонического спектра колебаний
- Описание способа улучшения вибростояния и теоретическое установление уровня вибрации электрического двигателя, после внесения конструктивных изменений

Литература:

1. Шубов И. Г. Шум и вибрация электрических машин. Л., “Энергия”, 1973. – 206 с.: ил
2. Гольдин А.С. Вибрация роторных машин. М.: Машиностроение, 1999. – 344 с.: ил
3. Геллер Б., Гамата В. Высшие гармоники в асинхронных машинах / Пер. с англ. Под ред. З.Г. Каганова – М.: “Энергия”, 1981. – 352 с.: ил

КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ АППАРАТУРА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОПЫТНОГО ОБРАЗЦА ВОЛНОВОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

**Т.С. Ливанова, С.Н. Коновалов, В.Н. Белогусев
Марийский государственный университет,
г. Йошкар-Ола, traktor.2013@bk.ru**

Образец волнового электропривода состоит из: - синхронного электродвигателя MaxonMotors, отличающегося высоким КПД и компактным плоским исполнением; - драйвера Maxon, управляющего синхронным электродвигателем MaxonMotors; - волнового планетарного редуктора, с высоким передаточным отношением. Механическими характеристиками электропривода являются: крутящий момент на выходном звене электропривода и КПД редуктора. Для определения крутящего момента необходимо решить следующие технические задачи:

1. Провести анализ и выбрать адекватные метод и средство измерения крутящего момента на выходном звене электропривода.

2. Провести анализ и выбрать нагрузочное устройство для создания момента сопротивления на выходном звене электропривода.

3. Разработать и реализовать КИА на основе выбранных метода и средства измерения крутящего момента, а также нагрузочного устройства.

Сложность определения крутящего момента состоит в том, что скорость вращения выходного звена электропривода очень мала. И измерение нагрузки должно производиться в большом диапазоне, то есть нужны нагрузочные устройства, которые бы работали с малыми оборотами и большим диапазоном нагрузок.

The sample wave electric drive consists of: - synchronous motor Maxon Motors, characterized by high efficiency and compact flat design;-driver Maxon, controlling synchronous electric motor Maxon Motors; - wave planetary gearbox, with a high gear ratio. Mechanical characteristics of the electric drive are: torque at the output link of the electric drive and the efficiency of the gearbox. To determine the torque it is necessary to solve the following technical problems:

1. *To analyze and select an adequate method and means of torque measurement at the output link of the electric drive.*

2. *To analyze and select a load device to create a resistance torque at the output link of the electric drive.*

3. *Develop and implement KIA based on the selected method and means of torque measurement, as well as the load device. The complexity of determining the torque is that the speed of rotation of the output link of the electric drive is very small. And the load measurement should be made in a large range, that is, we need load devices that would work with low speed and a large range of loads.*

Цель работы. Разработать контрольно-измерительную аппаратуру (далее КИА) для определения механических характеристик опытного образца волнового электропривода.

Решение. Проведенный анализ существующих методов и средств определения крутящих моментов электроприводов показал, что наиболее часто для их определения применяется тензометрический метод [3]. Для обеспечения высокой точности необходимо выбирать тензометрические датчики, изготовленные в заводских условиях, с высоким качеством изготовления, например, М40-100 [2].

Из анализа существующих нагрузочных устройств, для создания момента сопротивления, следует отметить, что подходят только механические нагрузочные устройства, но они изготавливаются самостоятельно [1].

Для решения поставленных задач был разработан КИА (общий вид представлен на рисунке 1). КИА разработан вокруг высокоточного датчика крутящего момента М40-100, который измеряет в динамике крутящий момент на выходном звене электропривода, в режиме реального времени.

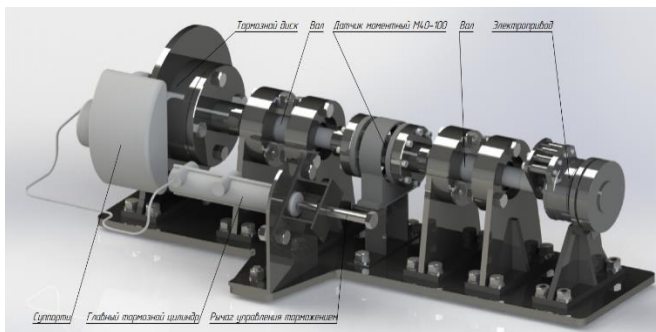


Рисунок 1 – Общий вид КИА

Момент сопротивления на выходном звене электропривода создается стандартными деталями от тормозной системы автомобиля ВАЗ. Закручивается болт (рычаг управления торможением), создается давление на поршень главного тормозного цилиндра (далее ГТЦ). Давление поршня создает давление в ГТЦ, которое по тормозной трубке передается поршню суппорта, поршень давит с помощью тормозных накладок на тормозной диск, который создает момент сопротивления на выходном звене электропривода, после установленного датчика крутящего момента.

Увеличиваем момент сопротивления (закручиванием рычаг управления торможением), увеличиваем ток электродвигателя, доводя его до номинального значения. Значение тока электродвигателя контролируется в программном обеспечении драйвера. При номинальном токе электродвигателя по паспортным значениям электродвигателя выдается номинальный крутящий момент электродвигателя – момент на входном звене редуктора. При номинальном токе электродвигателя, с помощью датчика крутящего момента определяется крутящий момент выходного звена электропривода, зная его и передаточное отношение редуктора можно рассчитать КПД редуктора. Умножив КПД редуктора на КПД электродвигателя, получим общий КПД опытного образца волнового электропривода.

Вывод. Разработанный КИА позволяет решать все поставленные технические задачи.

Литература:

1. Бережной, С.Б. Стендовые испытания механических передач / С.Б. Бережной, А.В. Пунтус, С.А. Метильков // Горная электромеханика и

автоматика: научн.-техн. сб. // Национальная горная академия Украины. – Днепропетровск, 1999. – С. 285-290.

2. Датчики крутящего момента М40 [Электронный ресурс] : портал ООО «ТИЛКОМ». – Электрон. дан. – Режим доступа : <http://www.tilkom.com/production/gauges/torque/m40>, свободный. – Загл. с экрана.

3. Драган, А.В. Диагностика зубчатых передач и механизмов по кинематическим параметрам / А.В. Драган // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2001. - №4. – С. 2-6.

ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЬ СИСТЕМЫ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ЭКИПАЖА КОСМИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ

У.Е. Куприянова, И.В. Шарпаев, В.С. Дмитриев
**Национальный исследовательский Томский политехнический
университет, г. Томск, uek1@tpu.ru**

В данной статье рассматривается проблема повышенного уровня вибрации и шума, исходящих от электродвигателя системы жизнеобеспечения на космических станциях, а также увеличенных массогабаритных характеристик. Была проанализирована динамика движения модели электродвигателя и для снижения виброактивности электродвигателя в конструкцию шарикоподшипниковых опор встроена промежуточная резиновая втулка. Значительное внимание уделяется разработке чертежа вентильного электродвигателя и его 3D модели, а также подбору материалов.

In this article problems of increased noise and vibration that emanate from electric motor and increased Physical Data are considered. Driving dynamics of electric motor model was analyzed, As a result, intermediate rubber hub is built into construction of ball bearings. Significant attention is paid to the design drawings of brushless DC electric motor, 3D model and selection of materials.

На космической станции в отсутствии земной гравитации потоки теплого и холодного воздуха самостоятельно не перемешиваются. Поэтому круглосуточно на ней работают мощные вентиляторы, принудительно смешивая эти потоки.

Известно, уровень шума, вырабатываемый вентиляторами, находится в зоне примерно 80 Дб, что соответствует весьма громкому разговору, и этот шум круглосуточно воздействует на членов экипажа космической станции.

Вентилятор состоит из двух основных узлов, которые генерируют вибрации, являющиеся источниками акустического шума (электродвигатель и лопастное колесо). В данной работе объектом

исследования является основной источник вибрации и шума – электродвигатель.

Целью данной работы является проектирование вентиляного электродвигателя постоянного тока с улучшенной акустической характеристикой, а также и лучшими массогабаритными характеристиками в сравнении с аналогами.

Для обеспечения поставленной цели решается задача разработки технических решений, позволяющих улучшить экологическую обстановку в помещениях космической станции.

Как известно, любая механическая система, содержащая элементы упругости и массы, при воздействии на нее постоянной периодической силы (момента) может быть введена в режим колебательного движения [1]. Электродвигатель представляет слабодемпфированную механическую систему, которую для нашего случая можно представить моделью, показанной на рисунке 1.

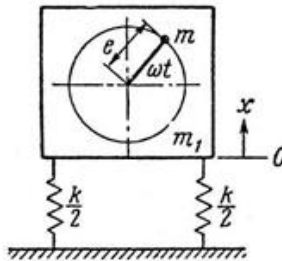


Рисунок 1 – Колебательная система

Для одной степени свободы (из 3х) динамику движения механической системы можно описать дифференциальным уравнением

$$m_1 \ddot{x} + kx = F_{\Sigma} \sin \omega t \quad (1)$$

где m_1 – масса электродвигателя; k – жесткость конструкции электродвигателя; ω - частота вынужденных колебаний; F_{Σ} - сумма всех возмущающих сил.

Из уравнения (1) следует, что электродвигатель является генератором вибрационного движения любой механической системы, частью которой он является.

Принимая начальные условия

$$x(0) = x_0; \dot{x}(0) = \dot{x}$$

решение линейного неоднородного дифференциального уравнения 2-го порядка будет иметь вид

$$x = x_0 \cos \omega_c t + \left(\frac{\dot{x}_0}{\omega_c} - \frac{F_\Sigma}{(1-r^2)k} r \right) \sin \omega_c t + \frac{F_\Sigma}{(1-r^2)k} \sin \omega t$$

где ω_c – собственная частота; $r = \frac{\omega}{\omega_0}$.

Первые два члена уравнения описывают переходный режим, а третий член описывает установившуюся реакцию от действия вынуждающей силы F_Σ .

Установившаяся реакция в безразмерных единицах может быть представлена как показано на рисунке 2.

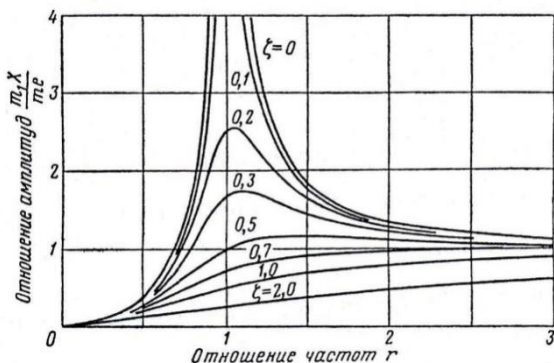


Рисунок 2 – Установившаяся реакция на возмущение системы

Согласно графикам, представленным на рисунке 2 и общеизвестно, что амплитуда колебаний механической системы зависит от отношения частот собственных и вынужденных колебаний и коэффициента демпфирования ξ . Поэтому при проектировании надо построить в конструкцию элемент с максимальным значением коэффициента ξ . Для этого в конструкцию двигателя в числе совокупности технических решений встроена в ш/п опоры промежуточная резиновая втулка. Для нее была выбрана резина марки АМС 2-го класса, вида Ф, средней степени твердости, I типа.

Исходя из вышеизложенного, была разработана 3D модель вентильного электродвигателя (условно рассеченная вдоль оси электродвигателя (рисунок 3).

Электродвигатель состоит из следующих основных элементов. Ротор с установленными в нем постоянными магнитами. В качестве материала постоянных магнитов был выбран порошок феррита-стронция марки 28ПФС250. Этот ротор штифтом зафиксирован на валу, на котором также установлены два шарикоподшипниковых узла. Эти ш/п узлы крепятся в корпусе электродвигателя. В пазах статора уложена двухфазная обмотка.

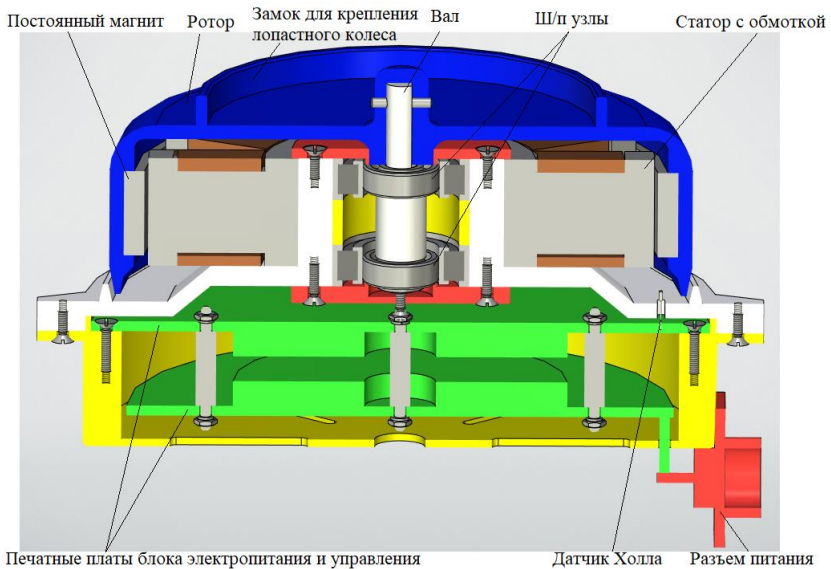


Рисунок 3 – Сечение 3D модели электродвигателя

В блоке управления располагаются печатные платы с электрорадиоэлементами (показаны условно). Функцию бесконтактного коммутатора в электродвигателе выполняет датчик Холла.

Исходя из главной цели разработки (обеспечение минимальной виброактивности и минимальной массы и габаритов), был проведен комплексный анализ конструкции, в результате чего подобраны соответствующие материалы: сталь, алюминиевый сплав, электротехнические материалы, ABS-пластик.

В результате проведенной НИР спроектирован вентильный электродвигатель постоянного тока, обладающий комплексом

технических характеристик (вращающий момент, потребляемая мощность, габариты, масса, виброактивность, уровень шумов) на уровне современных требований.

Литература:

1. Цзе Ф.С., Морзе И.Е., Хинкл Р.Т. Механические колебания. – М.: Изд-во «Машиностроение», 1966. – 508 с.
2. Клюкин И.И. Борьба с шумом и звуковой вибрацией на судах. – Л.: Судостроение, 1971. – 415 с.

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ДВИГАТЕЛЯ ДЛЯ ПРИВОДА ВИНТА БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

В.В. Масловец, А.Ф. Шевченко

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, vason96@yandex.ru**

В работе рассмотрен магнитоэлектрический двигатель для прямого привода винта беспилотного летательного аппарата. Рассмотрены преимущества данного двигателя перед двигателем внутреннего сгорания и другими электрическими двигателями.

The paper considers a magnetolectric motor for direct drive of the propeller of an unmanned aerial vehicle. The advantages of this engine over an internal combustion engine and other electric motors are considered.

В наше время остается актуальной проблема создания беспилотного летательного аппарата (БПЛА) без двигателя внутреннего сгорания, который обладал бы аналогичными техническими характеристиками, а также, превосходил свой аналог по некоторым ключевым параметрам. Данный аппарат должен соответствовать высоким требованиям надежности, маневренности, иметь высокие показатели скорости полета.

БПЛА с двигателем внутреннего сгорания имеет ряд следующих недостатков: низкая скорость полета; сложная система управления полетом; высота полета около 8-10 тысяч метров; небольшой вес полезной нагрузки, устанавливаемой на БПЛА.

В наши дни, благодаря активному развитию электротехники, приведенные выше проблемы можно решить, подобрав для БПЛА правильный электродвигатель.

Применение электродвигателей на БПЛА обусловлено рядом причин. Во-первых, у современных электродвигателей высокий коэффициент полезного действия (в случае применения двигателей с постоянными магнитами фактически может достигать 95%). Во-вторых, электродвигатели весят намного меньше чем двигатели внутреннего сгорания, имеющие аналогичные характеристики. Также к электродвигателю не нужно подводить топливо чтобы обеспечить его работу, поэтому не требуется предусматривать размещение топливопроводов, из-за чего можно существенно уменьшить вес конструкции. Стоит отметить, что электродвигатель и аккумуляторная батарея менее взрывоопасна, в сравнении с двигателем внутреннего сгорания. В-третьих, электродвигатели практически не испускают теплового излучения, в следствии чего БПЛА с электродвигателями труднее обнаружить тепловым радаром. Это расширяет возможности его применения в разведывательных целях.

На БПЛА широко распространение получили бесколлекторные электродвигатели (вентильные). Использование бесколлекторного электродвигателя на БПЛА имеет свои преимущества. В конструкции бесколлекторного электродвигателя отсутствует коллектор, за счет чего конструкция электродвигателя существенно упрощается, уменьшаются габаритные размеры, вес, увеличивается коэффициент полезного действия.

Также на множество БПЛА ставят асинхронные электродвигатели, пытаясь тем самым уменьшить себестоимость летательного аппарата. Это не удивительно, по сколько рынок переполнен данным типом электродвигателей и они довольно дешевые.

В данной работе в качестве привода винта БПЛА был выбран синхронный двигатель на постоянных магнитах, имеющий ряд следующих преимуществ в сравнении с асинхронными электродвигателями, бесколлекторными электродвигателями постоянного тока и электродвигателями в целом:

1) Отсутствие токов и обмоток в роторе снижает общий уровень потерь в машине, что позволяет повысить ее электромагнитные нагрузки, а тем самым увеличить коэффициент полезного действия, снизить габариты и вес машины в сравнении с асинхронными электродвигателями;

2) Существенное увеличение полюсности позволяет уменьшить высоту ярма статора и за счет этого увеличить диаметр расточки статора электродвигателя и повысить развиваемый момент без увеличения внешних габаритов машины;

3) Синхронные электродвигатели с постоянными магнитами в сравнении с другими электродвигателями обладают лучшими показателями: мощность/объем, момент/инерция и др.

4) Применяя в СДПМ однозубцовую обмотку с числом пазов на полюс и фазу $q < 1$, за счет уменьшения длины лобовой части можно уменьшить расход меди и, соответственно, электрические потери.

Минусом данного электродвигателя является его относительная дороговизна.

В настоящее время ведется разработка БПЛА, которые смогут выполнять определенные задачи, не представляя при этом опасности для жизни человека. На этих БПЛА разумна установка синхронных электродвигателей с постоянными магнитами потому что они во многом превосходят существующие двигатели внутреннего сгорания с аналогичными характеристиками, а также, электродвигатели в целом. Более того, сейчас, особенно в условиях относительно дешёвых внутренних цен на материалы необходимо создавать современные двигатели для привода винта беспилотного летательного аппарата, поскольку теория синхронных машин с постоянными магнитами в России находится на передовом уровне.

Литература:

1. Шевченко А.Ф., Приступ А.Г. Электрические машины с постоянными магнитами: учебное пособие. - Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2016.-64 с.

2. Бухгольц Ю.Г., Шевченко А.Ф. Многополюсные синхронные машины с дробными однозубцовыми обмотками. Часть 1. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 1995. – 38 с.

3. Бухгольц Ю.Г., Шевченко А.Ф. Многополюсные синхронные машины. Часть 2. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 1996. – 49 с.

4. Буль О.Б. Методы расчета магнитных систем электрических аппаратов: магнитные цепи, поля и программа FEMM: Учеб. Пособие для студ. высш. учеб. заведений. – М.: Издат. центр «Академия», 2005. – 336с.

РАЗРАБОТКА ПРОТОТИПА СТОПОХОДЯЩЕЙ МАШИНЫ

Н.В. Махов, Н.А. Чусовитин

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, mahov.nikolay@mail.ru**

В данной статье описывается разработка стопоходящей машины на двух совместно работающих лямбда механизмах разного типа. Рассмотрены проблемы, связанные с преимуществами и недостатками конструкций стопоходящих механизмов, устранение этих недостатков путём совмещения в один механизм, разработана конструкция стопоходящей машины, позволяющей преодолевать препятствия и передвигаться на спуске и подъёме. Так-же решена проблема рассинхронизации правой и левой части стопоходящей машины после прохождения поворота путём добавления пары к каждой ноге.

This article describes the development of a stopping machine on two different types of lambda mechanisms that work together. The problems associated with the advantages and disadvantages of types of stop-walking mechanisms, their elimination of these shortcomings by combining into one mechanism are considered, the design of the stopping machine is developed, which allows to overcome obstacles and move along the descent and ascent. The problem of out-of-sync of the right and left side of the stopping machine was also solved after passing the turn by adding a pair to each leg.

Существует большое количество моделей стопоходящих машин. Одну из самых известных моделей создал в 1878 году русский учёный Пафнутий Львович Чебышёв, которая по задумке учёного представляет собой модель лошади. В её основе лежит лямбда-механизм, который позволяет преобразовывать вращательное движение одного из звеньев в сложное движение другого звена. Завершающее звено, переступая, приводит в движение весь механизм, сохраняя неизменное расстояние основного корпуса механизма (тела) относительно земли, что позволяет сравнивать стопоходящую машину с машиной, с приводом на колесо. У механизма Чебышева имелся серьёзный недостаток, у передней ноги механизма отсутствовало в движении «зашагивание», т.е. «нога» всегда оставалась перпендикулярной земле, что заметно сокращало расстояние между поверхностью земли и ступнёй во время выполнения шага. Небольшое расстояние не позволяло механизму преодолевать заметные неровности дорожного покрытия и двигаться по крутым спускам и подъёмам. В связи с этим была разработана новая модель стопоходящей машины путём совмещения двух лямбда механизмов и добавления ползуна на «ногу» механизма.

Данная модель позволяет выполнять зашагивание ноги при движении вперёд и назад, что, в свою очередь, позволяет машине

преодолевать препятствия, а также передвигаться на спусках и подъёмах.

Большинство разработанных стопоходящих машин не имеют практического применения из-за отсутствия возможности осуществления поворотов во время передвижения. Проблема заключается в возникновении рассинхронизации правых и левых ног после выполнения поворота. Сам поворот осуществляется по принципу «танка», т.е. одна из частей ног замедляет движение относительно другой, за счёт чего выполняется поворот. После поворота в большинстве случаев углы вращения звеньев левой и правой половин машины не совпадают, машину перекашивает, теряется плавность хода. Решение было найдено за счёт добавления второго механизма к каждой ступне с углом рассинхронизации ведущего звена в 180 градусов, т.е. теперь в момент, когда каждая нога выполняет шаг (поднимается), её пара выполняет рабочий ход (движется по земле).

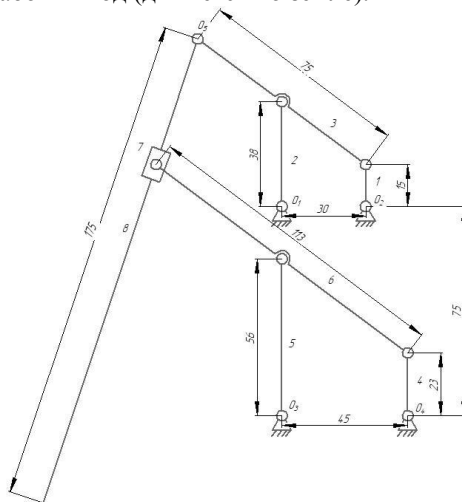


Рисунок 1 – Разработка модели стопоходящей машины с «зашагиванием»

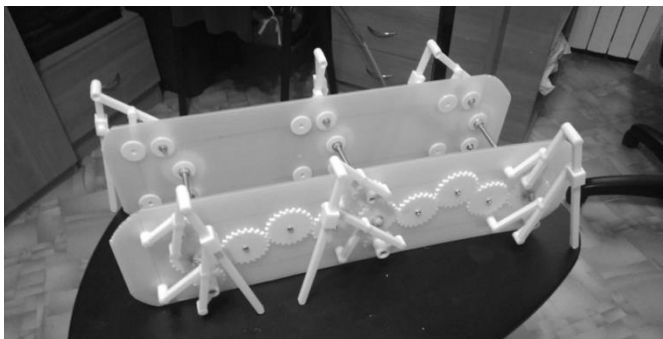


Рисунок 2 – Стопоходящая машина (первая модель)

Данное решение полностью исключает рассинхронизацию после прохождения поворота, машина обретает плавность хода при осуществлении манёвров.

В настоящий момент времени ведётся изготовления рабочего прототипа стопоходящей машины с дистанционным управлением с применением двух типов стопоходящих механизмов. В задней части установлен уже разработанный механизм, а в передней механизм Кланна, который при движении осуществляет зашагивание, но имеет меньшие габариты в сравнении с разработанным механизмом.

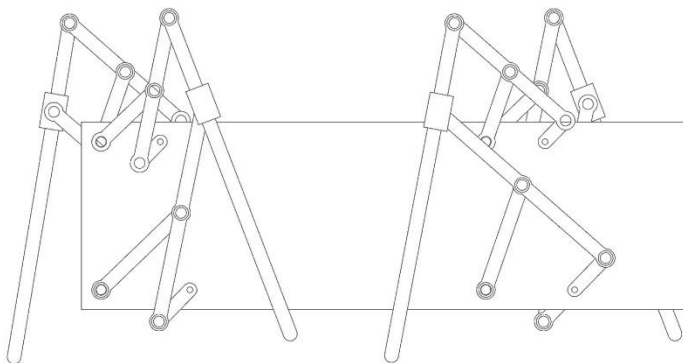


Рисунок 3 – Спаренные ноги механизма

Так же к преимуществам механизма Кланна следует отнести отсутствие скользящей пары, которая присутствует в разработанном механизме и более требовательна к условиям эксплуатации (скользящую пару сложнее защитить от попадания абразивных элементов). Но механизм клана имеет конструктивный недостаток: отсутствие зашагивания при движении задним ходом, чего не лишён разработанный механизм. Именно по этому было принято решение в

переднюю часть поставить механизм Кланна, а на заднюю установить разработанный механизм. Такое решение позволит минимизировать габариты всей машины и сохранить возможность преодолевать препятствия при движении как вперёд, так и назад.

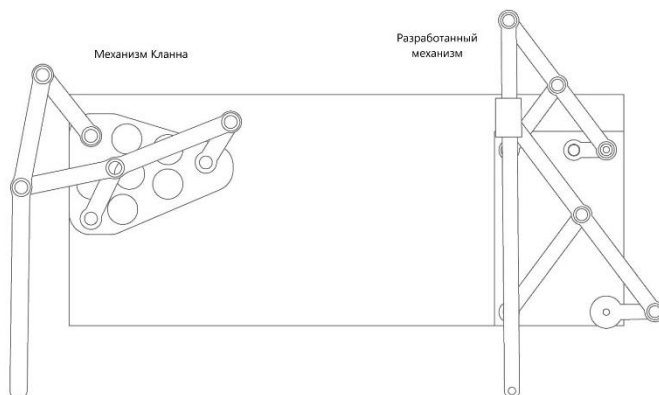


Рисунок 4 – Эскиз разрабатываемого прототипа

На данный момент времени ведётся решение проблемы совмещения двух разных стопоходящих механизмов для функционирования в одной машине – проблема разницы длины шага двух механизмов при схожих габаритах и клиренсах. Длина шага при схожем клиренсе у разработанного механизма и одинаковой частоты вращения ведущего звена больше в 1,65 раз, чем у механизма Кланна, что скажется в проскальзывании передних ног относительно задних. Решение данной проблемы может развиваться в двух направлениях: первое – это увеличение размеров переднего механизма Кланна, что позволит избежать проскальзывания, но увеличит массу всей машины, второй вариант состоит в увеличении частоты вращения ведущего звена механизма Кланна, что сохранит схожие габаритные размеры двух механизмов на передней и задней частях стопоходящей машины, но увеличит нагрузку на передний механизм Кланна за счёт увеличения частоты движений стопы.

Литература:

1. Гилета В.П., Ванаг Ю.В. Детали машин и основы конструирования. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2017. – 111 с.
2. Гилета В.П., Чусовитин Н.А., Юдин Б.В. Теория механизмов и машин. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2013. – 108 с.

РЕГУЛИРОВОЧНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДВУХПАКЕТНОГО СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА С КОМБИНИРОВАННЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ

И.Л. Попов, А.Н. Брынзова, Д.М. Топорков
Новосибирский государственный технический университет
г. Новосибирск, select12345@yandex.ru

Данная работа посвящена методам расчета индуктивности двухпакетного синхронного генератора с комбинированным возбуждением, а также построению его регулировочных характеристик.

The paper is devoted to the methods of calculating the inductance of a two-package synchronous generator with a combined excitation and construction its regulation performance.

Источники постоянного напряжения всегда были востребованы. В последнее время их актуальность только растет. Вырабатывать постоянное напряжение способны генераторы постоянного тока. Но из-за наличия в таких машинах щеточно-коллекторного узла их стоимость возрастает, а надежность снижается. В среднем 25% случаев выхода из строя машин постоянного тока связаны с неполадками в коллекторе.

Выступать в качестве источника постоянного тока способны и синхронные машины, работающие с выпрямителем. В случае работы на выпрямитель для уменьшения длины пульсаций выпрямленного напряжения необходимо, чтобы переменная ЭДС была повышенной частоты. Синхронные генераторы в классическом исполнении, имеющие частоту вырабатываемой ЭДС $f = np$, для этого случая не подходят. Увеличение скорости n ограничено условиями механической прочности, а увеличение числа полюсов $2p$ – минимально возможным значением полюсного деления по условиям размещения обмоток. Поэтому в этих случаях применяются генераторы особой конструкции, которые называются индукторными.

Объектом исследования является генератор, который по конструкции и принципу действия схож с двухпакетной аксиальной индукторной машиной, однако в данной машине применяется комбинированное возбуждение. Обмотка возбуждения располагается на статоре между двумя пакетами, а магниты – на роторе. Преимуществами перед синхронной машиной в классическом исполнении являются: отсутствие скользящего контакта, из-за чего надежность машины в большей мере определяется надежностью изоляции и подшипников; меньшая мощность обмотки возбуждения; при высоких частотах ЭДС более высокий КПД. Перечисленные преимущества делают данный генератор надежным и экономичным

источником постоянного тока, а также переменного тока повышенной частоты.

Для поддержания вырабатываемого напряжения на одном уровне в зависимости от изменения нагрузки необходимы регулировочные характеристики. Предполагается, что данный генератор будет работать на выпрямитель, поэтому его нагрузка должна быть чисто активной. Но в машине присутствует собственное индуктивное сопротивление, которое нужно учитывать. В данной работе представлены методы для расчета индуктивности и построения регулировочных характеристик данного генератора.

Литература:

1. Вольдек А. И. Электрические машины. Учебник для студентов высших технических учебных заведений. – 3-е издание, перераб. – Л.: Энергия, 1978. – 832 с., ил.
2. Домбур Л. Э. Аксиальные индукторные машины / Л. Э. Домбур; Академия наук Латвийской ССР, Физико-энергетический институт. – Рига: Зинатне, 1984. – 247 с.
3. Жежерин Р. П. Индукторные генераторы / Р. П. Жежерин – М. – Л., Госэнергоиздат, 1961 г., 319 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МАТЕРИАЛА ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ НА РАБОТУ СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

А.Б. Раднаев, Е.В. Бейерлейн

**Томский политехнический университет,
г. Томск, radnaev.andrei@gmail.com**

В данной работе был исследован синхронный двигатель с постоянными магнитами (СДПМ). Данный двигатель спроектирован для электропривода квадрокоптера. Рассмотрена проблема повышения момента двигателя при изменении магнитных материалов и сохранении габаритных размеров СДПМ. Для этого разработана имитационная модель в программной среде ANSYS, и проведено моделирование с различными материалами магнитов.

In this paper, a permanent magnet synchronous motor (PMSM) was investigated. This motor is designed for quadcopter electric drive. The problem of motor torque increasing when changing magnetic materials and maintaining the overall size of the PMSM is considered. For this purpose, a simulation model was developed in the ANSYS software, and modeling was carried out with different materials of the magnets.

В настоящее время мультикоптеры получили большое распространение во многих сферах. Основной частью мультироторных летательных аппаратов являются электродвигатели, без которых, наряду с аккумуляторными батареями, на данный момент невозможен полет мультикоптера. Поэтому для малых беспилотных летательных аппаратов наиболее актуально развитие высокоэффективных электродвигателей.

Широкое применение в приводах квадрокоптеров получили бесколлекторные электродвигатели. Наибольшее распространение среди бесконтактных машин получили асинхронные двигатели. Однако их применение в диапазоне низких мощностей менее эффективно. Поэтому для привода квадрокоптера наиболее приемлемо использование синхронных двигателей бесконтактного исполнения, а именно с использованием постоянных магнитов. Основное преимущество в использовании постоянных магнитов в цепи ротора это упрощение его конструкции и уменьшение в нем электрических потерь, так как в цепи ротора отсутствует ток. Кроме того, в СДПМ не требуется специального источника питания для создания магнитного поля.

В данной работе рассмотрена проблема низкого момента синхронных двигателей с постоянными магнитами. Для решения этой проблемы будет исследовано влияние материала постоянных магнитов на работу двигателя.

Оптимизация двигателя будет производиться путем изменения материала постоянных магнитов при сохранении габаритных размеров машины и конфигурации ротора.

Двигатель был спроектирован по следующим данным:

$P_{2H}=150$ Вт -выходная мощность, $I_H=10,5$ А - номинальный ток якоря

$M_H=0,217$ -номинальный момент, $\eta=87\%$ - КПД,

$\cos\varphi=0,78$ -коэффициент мощности

Ротор был выбран коллекторной конструкции, так как данная конструкция позволяет использовать магниты с высокой коэрцитивной силой и характеризуется высоким использованием объема магнита.

В качестве материала постоянного магнита при проектировании был выбран сплав Nd-Fe-B марки N33.

С помощью программы ANSYS Maxwell была разработана модель двигателя, представленная на рисунке 1.

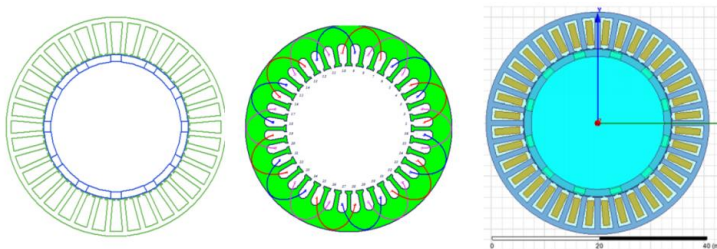


Рисунок 1 – Модель геометрии двигателя, схемы обмотки и двухмерная модель

С помощью имитационной модели были получены следующие характеристики:

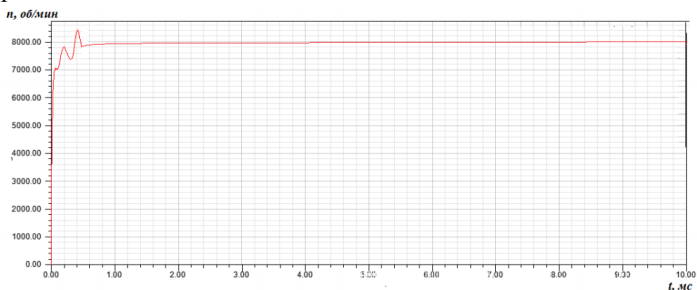


Рисунок 2 – График частоты вращения ротора

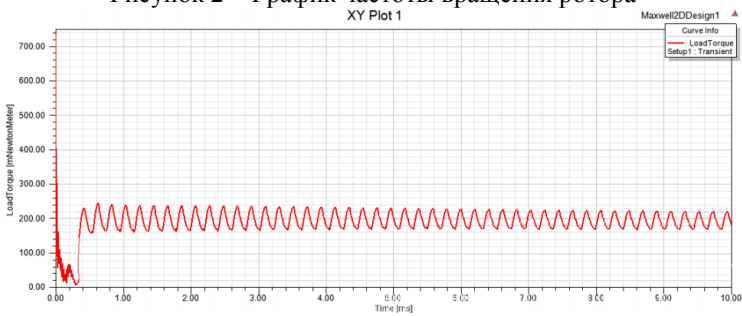


Рисунок 3 – График момента двигателя

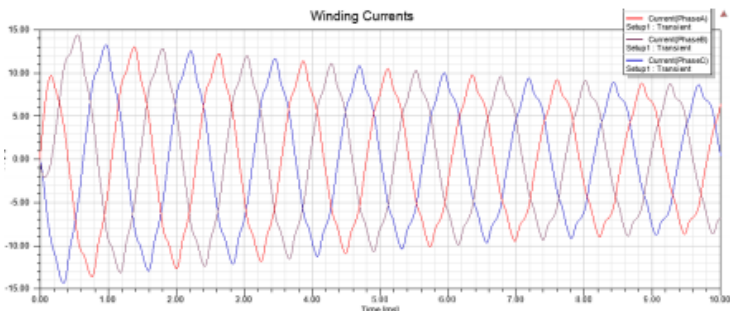


Рисунок 4 – Амплитуда токов в фазах

Результаты моделирования других материалов постоянных магнитов приведены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты моделирования

Параметры	Материал магнитов			
	Nd-Fe-B N33	Nd-Fe-B N35	Alnico o 7	SmC o24
М, Нм	0,217	0,215	0,057	0,24
Ток статора	10	8,5	11	9,8
Т, мс	6,5	11,5	12	6,5

Вывод: из таблицы №1 следует, что, изменяя лишь материал постоянного магнита, удалось добиться увеличения активного момента двигателя и увеличить его быстродействие. Однако такой способ неизбежно ведет к резкому увеличению стоимости электрической машины и не приносит значительных улучшений. Поэтому для большего усовершенствования и оптимизации, помимо материала постоянного магнита, необходимо изменять ряд других параметров двигателя, таких как габаритные размеры и материалы активных частей машины.

Литература:

1. И.Л. Осин, В.П. Колесников, Ф.М. Юферов. Синхронные микродвигатели с постоянными магнитами. – М.:Энергия, 1976. – 225 с.
2. В.А. Балагуров, Ф.Ф. Галтеев Электрические генераторы с постоянными магнитами.-М.: Энергоатомиздат, 1988.-280. ил.
3. Балагуров В.А. Проектирование специальных электрических машин переменного тока. М.:Высшая школа,1982.-272 с.
4. В.А. Балагуров, В.М. Гридин, В.К. Лозенко. Бесколлекторные двигатели постоянного тока с постоянными магнитами. – М.:Энергия, 1975. – 128 с. с ил.

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ УСИЛИТЕЛЕЙ РУЛЕВОГО УПРАВЛЕНИЯ

К.С. Тишиннов, С.М. Удалых, А.Д. Зимогляд, О.И. Новокрещенов
Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, tishininov_2011@mail.ru

В работе рассмотрены тенденции развития усилителя руля. Приводятся преимущества использования безредукторного усилителя руля относительно электрического усилителя руля с механическим редуктором.

The paper considers the development trends of the power steering. The advantages using direct-drive power steering about to electric power steering with a mechanical gear reducer are given.

В современном автомобилестроении основной задачей является изменение основных узлов и агрегатов транспортного средства. При этом основной задачей стоит повышение удобства, эксплуатации и управление автомобиля. В настоящее время большую значимость имеет проблема, связанная с обеспечением надежности управления и устойчивости движения. Для эффективного и комфортного управления транспортным средством необходимо обеспечить такие эксплуатационные свойства, как управляемость, устойчивость, маневренность, безопасность и эргономичность.

Конструкция современного автомобиля предполагает наличие усилителя рулевого управления. С целью уменьшения энергозатрат водителя, повышения маневренности и обеспечения безопасности движения в систему рулевого управления включается усилитель руля.

В настоящее время существуют следующие виды усилителей рулевого управления: пневматические, гидравлические и электрические.

Пневматические усилители на данном этапе автомобилестроения уже не применяются, так как не удовлетворяют требованиям по массогабаритным показателям, эффективности, быстродействию, демфирующим свойствам, уровню шума, трудоемкости обслуживания и надежности, особенно при эксплуатации при низких температурах. Однако, не так давно они широко применялись, так как имели простую конструкцию и невысокую стоимость.

Гидроусилители – самый распространенный тип усилителей рулевого управления. Это объясняется тем, что они имеют хорошие массогабаритные и мощностные показатели при рабочих давлениях до 15МПа, высоким быстродействием, малой трудоемкостью обслуживания.

Гидравлический усилитель не только облегчает управление транспортным средством, но и позволяет сохранять направление движения при ударах колес о неровности дороги, которые не передаются к рукам водителя, или проколе шины. Эти качества уменьшают утомляемость водителя и повышают безопасность движения. В связи с этим, гидравлические усилители, в настоящее время, получили широко применение.

Однако, гидравлические усилители имеет ряд недостатков: сложность компоновки; сравнительно большие массогабаритные показатели системы в целом; недостаточное быстродействие; сложность конструктивных решений для передачи команд водителя на управляемые колеса; зависимость от двигателя внутреннего сгорания; снижение коэффициента полезного действия при низких температурах окружающей среды; повышает расход топлива.

Эти проблемы практически решаются при переходе к электромеханическим системам рулевого управления. Быстродействующий следящий электропривод поворота колес позволяет удовлетворить практически любые требования, предъявляемые к системам рулевого управления.

Электромеханические усилители хорошо сочетаются с электронными системами управления, включающими микропроцессоры. Такие системы управления режимом имеют большие возможности логической обработки исходной информации – сигналов различных датчиков при выработке управляющего воздействия, могут выполняться многорежимными или программируемыми для учета особенностей конкретного транспортного средства и условий работы двигателей.

За последние годы в мировой и в отечественной автомобильной промышленности наметилась тенденция к использованию в системе

рулевого управления автомобилей электромеханических усилителей. По сравнению с гидравлическими усилителями они обладают рядом преимуществ, основными из которых являются следующие: лучшие массогабаритные показатели, гибкость управления и экономичность.

Среди многочисленных типов электромеханических усилителей рулевого управления (ЭМУР) для автомобилей наиболее широкое распространение получили усилители «колончатого» типа, которые встраиваются непосредственно в рулевую колонку автомобиля. Как правило, усилители данного типа изготавливаются на базе высокоскоростного двигателя и редуктора. Исследование ЭМУР данного типа ведется с начала 90-х годов, что находит свое отражение в большом количестве патентов на конструкцию ЭМУР и способ управления. К числу инновационных можно отнести разработки японских исследователей Yasuo Shimizu, Atsuhiko Yoneda, Hitoshi Shiobara, Takashi Kuribayashi, Hirofumi Matsuoka. Серийное производство автомобилей с ЭМУР этого типа ведется уже более 20 лет следующими автопроизводителями: Renault, Citroen, Opel, Fiat, Toyota, Honda. В РФ исследованием и разработкой редукторных ЭМУР «колончатого» типа совместно с ОАО «АВТОВАЗ» занимаются с конца 90-х НПП «Эметрон» и «Авиаагрегат» г. Новочеркасск, и НПК «Энергия» г. Воронеж.

Главной проблемой при производстве электрического усилителя руля является создание и освоение в серийном производстве механического редуктора. Поэтому сейчас создаются новые конструкции электрических усилителей руля без механического редуктора.

Это возможно благодаря применению высокомоментных синхронных двигателей, которые в габаритах современных электрических усилителей руля способны создать такой же вращающий момент, что и быстроходные двигатели с механическим редуктором. Данные технические решения значительно упрощают конструкцию электроусилителя руля и повышают его надежность.

Разработкой безредукторного ЭМУР занималась группа ученых Новосибирского государственного технического университета. Отсутствие редуктора позволяет исключить необходимость компенсации сухого и вязкого трения в редукторе, необходимость реализовывать активный самовозврат в алгоритме управления ЭМУР, а также повышает безопасность системы рулевого управления, так как по сравнению с редукторным вариантом, в случае выхода из строя ЭМУР, на рулевой колонке не возникает дополнительного момента сопротивления. Безредукторный ЭМУР представляет собой

мехатронный модуль, выполненный на базе синхронного двигателя магнитоэлектрического возбуждения с интегрированным в корпус двигателя датчиком момента. Безредукторный ЭМУР впервые разрабатывается в России и не имеет аналогов в мире. Опытный образец вышел в 2000 г., а серийное производство началось только в 2007. Исходя из этого, можно сделать вывод что проблема использования электропривода в системе рулевого управления, в настоящее время, является относительно новой, и практически не освещенной в специальной технической литературе. Но, безусловно, электрическое рулевое управление получит преимущественное распространение в будущем.

Литература:

1. Чайковский И.П., Саломатин П.А. Рулевые управления автомобилей. – М.: Энергия, 1987. – 300 с.
2. Шевченко А.Ф., Комаров А.В., Новокрещенов О.И., Мизевич В.В. Безредукторный электромеханический усилитель рулевого управления легковых автомобилей // Электротехника, 2007. - №9. – С 32-35.
3. Тюрин М.А. Повышение эффективности безредукторного электромеханического усилителя рулевого управления автомобиля: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.09.03. – Новосибирск, 2009. – 21 с.

ВЕРИФИКАЦИЯ 4Т-ОБРАЗНЫХ СХЕМ ЗАМЕЩЕНИЯ М.А.ШАКИРОВА НА ОСНОВЕ ЧИСЛЕННЫХ РАСЧЕТОВ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ В БРОНЕВОМ ТРАНСФОРМАТОРЕ

А.А. Ткачук

**Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I,
г. Санкт-Петербург, a.a.tkachuk@mail.ru**

Подтверждается достоверность физико-математических идей, лежащих в основе 4Т-образной схемы замещения двухобмоточного трансформатора, наиболее полно отображающей электромагнитные процессы в нем и его состояние в любом режиме работы. Схема позволяет теоретически предсказать наличие в первичной обмотке трансформатора Ф-квазиинвариантной поверхности, т.е. такой поверхности, которая охватывает магнитный поток, почти не изменяющийся при вариации нагрузки.

Удалось показать фактичность ее существования внутри обмоток реального, т.е. имеющего конечную магнитную проницаемость стали, трансформатора на основе численного расчета его магнитных полей с помощью отечественной программы ELCUT и построения на основе этих расчетов научнообразного семейства кривых распределения векторного потенциала в нем в режимах х.х., к.з. и произвольных значений нагрузок.

The reliability of physical and mathematical ideas, based on the 4T-shaped equivalent circuit of a two-winding transformer, is confirmed. This model reflects the electromagnetic processes in the transformer and its state in any mode of operation. The scheme makes it possible to theoretically predict the existence of F-quasi-invariant surface in the primary winding. This surface covers the magnetic flux, which almost does not change with variations in load. The factuality of the existence of a F-quasi-invariant surface inside a real transformer, which has finite magnetic permeability of steel, was proved on the basis of a numerical calculation of the transformer's magnetic fields in the ELCUT program and on the basis of calculation of the spider-like group of graphs of vector potential distribution in the transformer in idle mode, in short circuit mode and at different values of loads.

Существующие положения традиционной теории трансформаторов имеют явные противоречия. Так, если относительная магнитная проницаемость материала сердечника трансформатора $\mu_{\text{сталь}} = \infty$, тогда намагничивающий ток должен быть равен нулю, магнитный поток Φ_0 также будет отсутствовать, и получается, что согласно традиционной теории трансформатор с наилучшей сталью работать не сможет.

В отличие от традиционного новый подход [1] основан на идее передачи энергии в окне трансформатора посредством вектора Пойнтинга Π_{δ} , направленного от обмотки к обмотке в промежутке δ между ними. Работа трансформатора при $\mu_{\text{сталь}} = \infty$ протекает в наилучших условиях. Используются понятия о реальных потоках в стержне (Φ_1) и в боковом яре (Φ_2). При этом формула передачи активной мощности для случая тонких обмоток получает вид:

$$P \equiv \Phi_1 \Phi_2 \sin \theta,$$

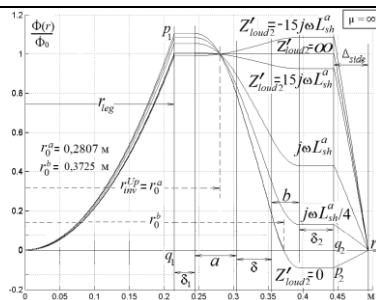
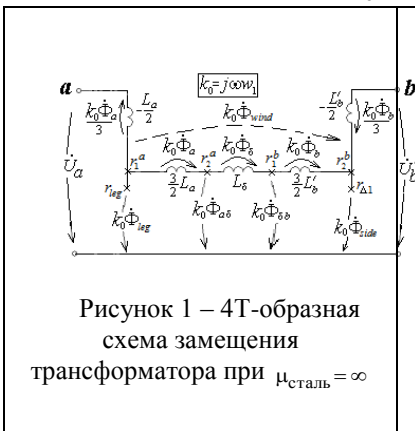
где θ - угол между потоками Φ_1 и Φ_2 .

Отображением новой парадигмы является 4Т-образная схема замещения двухобмоточного трансформатора (рисунок 1). В результате анализа этой схемы были открыты Φ -инвариантные поверхности. Внутри таких поверхностей магнитный поток не зависит от нагрузки, а значит, совпадает с потоком холостого хода [2-3].

В данной работе проведена проверка существования Φ -инвариантных поверхностей при $\mu_{\text{сталь}} = \text{const} \neq \infty$ и осмысление их роли в понимании динамической стойкости трансформаторов при к.з., что связано с оценкой возникающих в этом режиме *сверх-* и

антипотоков в сравнении с потоком х.х. $\dot{\Phi}_0$. Использовался пример с габаритами двухобмоточного трансформатора, приведенными в [2]. Число витков первичной обмотки составляет $w_a = 130$. Коэффициент трансформации $w_a/w_b = 11/12$. На рисунке 1 $\dot{\Phi}_{leg}$, $\dot{\Phi}_{a\delta}$, $\dot{\Phi}_{\delta b}$ и $\dot{\Phi}_{side}$ – потоки в стержне, стыковом и боковом ярмах; $\dot{\Phi}_a$, $\dot{\Phi}_b$, $\dot{\Phi}_\delta$ – потоки в толще первичной (толщиной a), вторичной (толщиной b) обмоток и между ними. Согласно [2] при $\mu_{сталь} = \infty$, в случае, когда первичной является внутренняя a -обмотка, значение радиуса Φ -инвариантной поверхности определяется как $r_0^a \approx r_1^a + a/\sqrt{3}$, где r_1^a – внутренний радиус a -обмотки. Если первичной является внешняя b -обмотка, то радиус этот равен $r_0^b \approx r_2^b - b/\sqrt{3}$, где r_2^b – внешний радиус b -обмотки. Для рассматриваемого трансформатора при $\mu_{сталь} = \infty$ имеем: $r_0^a \approx 278$ мм, $r_0^b = 371,3$ мм. Значения этих радиусов подтверждаются расчетом паукообразного семейства распределения магнитных потоков (рисунке 2) непосредственно по схеме на рисунке 1.

Для случая с $\mu_{сталь} = const \neq \infty$ 4Т-образная схема замещения двухобмоточного трансформатора при наличии охватывающего его цилиндрического бака представлена на рисунке 3 [2]. Часть потоков из стали вытесняется в пространство между ней и баком ($\dot{\Phi}_a^o, \dot{\Phi}_b^o, \dot{\Phi}_\Delta$), другая часть – в зоны окна ($\dot{\Phi}_{\delta 1}, \dot{\Phi}_{\delta 2}$), прилегающих к стали.



Для их учета в схеме замещения к четырем поперечным ветвям намагничивания L_{leg} , $L_{a\delta}$, $L'_{\delta b}$, L'_{side} подключены четыре индуктивности рассеяния $L_{\delta 1}^o$, L_a^o , L_b^o и $(L'_\Delta + L'_{\delta 2})$.

Из физических соображений с учетом симметрии трансформатора относительно средней поперечной плоскости ($z = 0$) вытекает, что в ней должны существовать Φ -инвариантные окружности. На рисунке 4 представлены кривые $\Phi(r)$ в средней плоскости ($z = 0$) трансформатора при $\mu_{сталь} = 100\mu_0$ для реактивных нагрузок, построенные в пакете программы *ELCUT*.

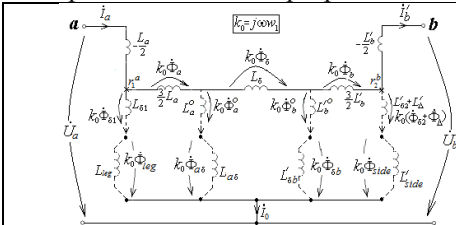


Рисунок 3 - 4Т-образные схемы замещения трансформатора при $\mu_{сталь} \neq \infty$

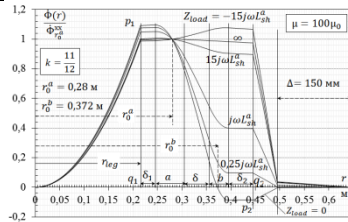


Рисунок 4 - Кривые $\Phi(r)$ в средней плоскости ($z=0$) трансформатора при $\mu_{сталь} = 100\mu_0$ для реактивных нагрузок

Кривые на рисунке 4 для случая $Z_{load} = 0$ наглядно демонстрируют сверх- и антипоток в режиме к.з. внешней b -обмотки. Отрезок p_1q_1 характеризует сверхпоток к.з. в стержне, а отрезок p_2q_2 – антипоток к.з. в боковом яме, обусловленные к потоку х.х. При $\mu_{сталь} = 100\mu_0$ $p_1q_1 = 1,0955$, $p_2q_2 = -0,08787$. Эти численные расчеты магнитных полей в трансформаторе при $\mu_{сталь} = 100\mu_0$ согласуются с результатами расчетов по формулам из [3] для случая $\mu_{сталь} = \infty$:

$$p_1q_1 = 1 + \frac{L_a}{2L_{sh}^a} = 1 + \frac{0,2135}{2} = 1,1067,$$

$$p_2q_2 = -\frac{L'_b}{2L_{sh}^a} = -\frac{0,1791}{2} = -0,0895$$

и отличаются от них не более, чем на 1%. Формулы для p_1q_1 и p_2q_2 показывают, что кривые распределения потоков (рисунок 3) носят *универсальный характер*. Это означает, что их форма зависит от геометрии и взаимного положения обмоток в окне трансформатора, а также от величины нагрузки, и не зависит от числа витков обмоток и, следовательно, от коэффициента трансформации.

Выводы. Выполненные исследования подтверждают достоверность теоретических положений, использованных при выводе 4Т-образной схемы замещения, как модели, наиболее полно отображающей свойства трансформатора, включая явление возникновения сверх- и антипотоков в различных частях магнитопровода в короткозамкнутом трансформаторе. Универсальность этих семейств проявляется в независимости кривых от числа витков обмоток и их взаимоподобной форме для трансформатора с первичной внутренней и того же трансформатора с первичной внешней обмотками. Полученные результаты необходимы как для правильного понимания работы трансформатора, так и для его проектирования и эксплуатации, что в целом отвечает задачам и целям, регулярно обсуждаемым на международных сессиях СИГРЕ и МОК.

Литература:

1. Шакиров М.А. Вектор Пойнтинга и новая теория трансформаторов. Часть 1: Трансформатор с тонкими обмотками / М.А. Шакиров // Электричество. – 2014. - № 9. – С. 52–59.

2. Шакиров М.А. Вектор Пойнтинга и новая теория трансформаторов. Часть 4: Анатомия трансформатора / М.А. Шакиров // Электричество. – 2017.- № 3. – С. 37-49.

3. Шакиров М.А. Начала теории силовых автотрансформаторов. / М.А. Шакиров // Известия НТЦ единой энергетической системы. № 1(78), 2018. – С. 109-128.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ БОРЬБЫ С ПУЛЬСАЦИЯМИ МОМЕНТА В МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ДВИГАТЕЛЕ ДЛЯ ПРИВОДА ЭМУР

С.М. Удалых, К.С. Тишинин, В.С. Морозов, Д.М. Топорков,
Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, 89237069189@mail.ru

В работе рассмотрены методы избавления с нежелательными пульсациями момента в синхронном двигателе с возбуждением от постоянных магнитов для привода электромеханического усилителя руля легкового автомобиля.

The paper deals with methods of disposal with undesirable torque pulsations in a synchronous motor with excitation from permanent magnets to drive a car's electromechanical power steering.

Автомобильная промышленность является одной из ведущих отраслей машиностроения отечественных автомобилей. Одним из направлений повышения конкурентоспособности отечественных автомобилей с точки зрения используемых компонентов на ряду с элементами интерьера/экстерьера, бамперов, топливных систем, двигателем является и система рулевого управления.

Рулевое управление предназначено для обеспечения движения автомобиля в заданном водителем направлении для уменьшения усилий, необходимых для поворота рулевого колеса применяется усилители рулевого управления. Применение усилителя обеспечит точность и быстродействие, снизит физическую нагрузку на водителя, а также позволяет устанавливать рулевые механизмы с меньшим передаточным числом.

В последние годы на автомобилях все шире применяется электромеханический усилитель руля (ЭМУР), так как он имеет ряд преимуществ:

- экономия топлива;
- надежность;
- адаптивность

В роли привода ЭМУР все чаще можно встретить синхронный двигатель с возбуждением от постоянных магнитов (СДПМ). Усилитель с таким типом привода выполняется на базе как высокоскоростного двигателя с редуктором, так и низкоскоростного безредукторного электродвигателя.

Конструктивной особенностью синхронного двигателя с постоянными магнитами используемого в качестве привода ЭМУР двигателя является дробная зубцовая обмотка, каждая катушка которой охватывает один зубец статора. Такие обмотки позволяют в габаритах

обычных классических машин малой и средней мощности выполнить электрические машины с числом полюсов, достигающим 50, следствием чего является отказ от применения редуктора, удешевление и уменьшение веса электропривода. Так как число полюсов ротора в подобных машинах незначительно отличается от числа зубцов статора, то их максимальная полюсность определяется в основном технологическими возможностями изготовления многополюсного ротора

Одним из недостатком СДПМ с дробными зубцовыми обмотками является высокое значение пульсаций момента, обусловленных взаимным притяжением магнитных полюсов ротора и зубцов статора [1]. Эти пульсации могут ощущаться на рулевом колесе, увеличивая физическое напряжение водителя. В технических требованиях ОАО «АвтоВАЗ» регламентируется величина пульсаций момента при обесточенной обмотке статора не более 1 % от величины максимального развиваемого момента. Кроме того, зубцовые пульсации момента особенно в низкоскоростных малоинерционных машинах приводят к высокому уровню шумов и вибраций и негативно сказываются на точности привода. Поэтому исследование пульсаций момента является важной задачей при разработке новых электродвигателей для ЭМУР.

Исследование зубцовых пульсаций момента в машинах с постоянными магнитами началось в середине восьмидесятых годов прошлого столетия. Уже в то время для уменьшения зубцовых пульсаций момента в бесколлекторных двигателях постоянного тока (БДПТ) Kazutsugu Kobayashi предлагает в своей работе [2] такие конструктивные решения как дополнительные зубцы и дополнительные пазы на коронках основных зубцов.

На сегодняшний день известны следующие пути уменьшения зубцовых пульсаций момента:

1) Выбор оптимального соотношения чисел пазов и зубцов машины [3].

2) Оптимизация таких конструктивных параметров как ширина магнитов (в конструкциях с радиальными магнитами), открытие пазов статора, величина воздушного зазора [4]. При этом отсутствуют какие-либо рекомендации по выбору этих величин.

3) Скос пазов статора или сдвиг пакетов ротора. Также существует аналогичное решение, при котором магнит ротора выполнен из цельного куска магнитопласта, и намагничен со скосом полюсов. Кроме того

известны конструкции, в которых за счет специального штампа осуществляется скос не всех зубцов, а лишь их коронок, что так же уменьшает пульсации момента [5].

4) Дополнительные зубцы на статоре. Здесь используются как обычные машины с однослойными дробными зубцовыми обмотками, в которых толщина всех зубцов одинакова, так и добавление более тонких зубцов.

5) Дополнительные пазы на коронках зубцов статора. Используя этот путь уменьшения пульсаций момента необходимо определить число дополнительных пазов и оптимальные их размеры [6].

6) Оптимизация формы полюсов (неравномерный воздушный зазор) [7].

7) Сегментировка магнитов, т.е. использование нескольких магнитов одинаковой полусности в качестве одного полюса [8] и [9].

8) Несимметричное расположение полюсов на роторе [10].

Также в последние несколько лет исследуются проблемы влияния технологических погрешностей при изготовлении электрических машин на пульсации момента. Как правило, к появлению дополнительных гармонических составляющих пульсаций момента приводят такие свойственные массовому производству технологические погрешности, которые вызывают асимметрию поля возбуждения. К этим погрешностям относятся: несимметричное расположение магнитов на роторе, различия в размерах магнитов, их коэрцитивной силе или остаточной индукции и направлении намагничивания, эллипсность статора/ротора.

В заключении можно сказать, что проблема, связанная с появлением нежелательных пульсаций момента в синхронном двигателе с возбуждением от постоянных магнитов, остается актуальной так как почти все вышеперечисленные методы достаточно сложны конструктивно и требуют большего внимания в процессе проектирования. А ЭМУРы с каждым годом становятся все популярнее в автомобильной промышленности.

Литература:

1. *Топорков Д.М.* Зубцовые пульсации момента в машинах с дробными обмотками и возбуждением от постоянных магнитов: дис. канд. техн. наук: 05.09.01. – Новосибирск, 2016. – 139 с.

2. *Zhu, Z.Q., Howe, D.* Influence of design parameters on cogging torque in permanent magnet machines / IEEE Transactions on energy conversion. – 2000.– Vol. 15, № 4, December. – P.407-412

3. Zhu, L. (et al.). Optimal slot opening in permanent magnet machines for minimum cogging torque // *Przegląd Elektrotechniczny (Electrical Review)*. – 2011. – № 3. – P. 315-319.
4. Saied, S. A., Abbaszadeh, K. Cogging torque reduction in brushless DC motors using slot-opening shift // *Advances in electrical and computer engineering*. – 2009 – Vol. 9, № 1. – P. 28-33.
5. Kobayashi, K., Goto, M., A brushless DC motor of a new structure with reduced torque fluctuation // *Electrical Engineering in Japan*. –1985. – Vol. 105, № 3. – P.104-112.
6. Jabbari, A., Shakeri, M. Pole shape optimization of permanent magnet synchronous motors using the reduced basis technique // *Iranian Journal of Electrical & Electronic Engineering*. – 2010. – Vol. 6, № 1, March. – P. 48-55.
7. Lateb, R., Takorabet, N. Design Technique for reducing the cogging torque in large surface-mounted magnet motors // *Recent Developments of Electrical Drives, 2006*, – P. 59-72.
8. Saied, S. A., Abbaszadeh, K., Hemmati, S., Fadaie, M. A new approach to cogging torque reduction in surface-mounted permanent-magnet motors // *European Journal of Scientific Research*. – 2009. – Vol. 26, February. – 499 p.
9. Dosiek, L. Cogging torque reduction in permanent magnet machines // *IEEE Transactions on Industry Applications*. – 2007.– Vol. 43, Nov.-dec., – P. 1565-1571.
10. Li, T., Slemon, G. Reduction of cogging torque in permanent magnet motors // *IEEE Transactions On Magnetics*. – 1988. – Vol. 24, № 6. – P. 2901-2903.

Секция ЭЛЕКТРОПРИВОД И АВТОМАТИКА
ПРОМЫШЛЕННЫХ УСТАНОВОК И
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

**ПРОБЛЕМА ПОДАВЛЕНИЯ ТОРСИОННЫХ КОЛЕБАНИЙ
В СИСТЕМАХ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ
ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ**

Д.Н. Белкова, В.М. Кавешников

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, belkova34diana@gmail.com**

Анализируются причины возникновения торсионных колебаний в автономных системах распределенной генерации (СРГ) и текущее состояние исследований этих явлений, определяются возможные пути их подавления. Разработан план ближайших исследований, результаты которых приведут к определению структуры и параметров активного фильтра субгармоник тока (АФСТ) для надежного подавления виброактивности газотурбинных установок (ГТУ) в СРГ. В работе использованы результаты натурных экспериментов, проведенных с участием сотрудников кафедры ЭАПУ НГТУ в рамках хозяйственных работ.

The causes of torsional vibrations in autonomous systems of distributed generation (SDG) and the current state of research of these phenomena are analyzed, possible ways of their suppression are determined. The plan of the coming researches was developed, the results of which will lead to the determination of the structure and parameters of the active filter of sub-harmonics of current (AFSC) for the reliable suppression of the vibroactivity of gas turbine units (GTU) in SDG. The work uses the results of field experiments conducted with the participation of the staff of the Electric drive and automation of industrial installations department of NSTU in the framework of contractual works.

На некоторых месторождениях в России и мире, электроснабжение которых осуществляется от автономных электростанций, работающих на попутном газе, наблюдались отключения генераторов по причине возникновения виброактивности ГТУ. В работах [2, 3, 4, 5 и др.] подчеркивается, что одним из проблемных вопросов обеспечения надежного электроснабжения потребителей является отключение генераторных установок защитой от повышения вибрации из-за возникновения крутильных субсинхронных колебаний при сбросе нагрузки мощными электродвигателями с частотным управлением (ЧРП) при автономном режиме работы электростанции. Эти отключения представляют собой аварийные события, приводящие к серьезным экономическим и технологическим потерям. Поэтому тема

данной работы, до настоящего времени не полностью раскрытой в научно-технической литературе, является весьма актуальной.

Данные, полученные в ходе текущего мониторинга технологических нарушений на месторождении, а также материалы ограниченных натуральных экспериментов, проведенных с участием специалистов кафедры ЭАПУ НГТУ, показывают, что причиной виброактивности является взаимный резонанс элементов ГТУ и нелинейных нагрузок сети, основная часть которых – мощные ЧРП. Результат взаимодействия ГТУ и нагрузок может быть наглядно продемонстрирован осциллограммами тока нагрузки с наличием низкочастотной гармоник с частотой около 12 Гц (Рисунок 1).

Анализ публикаций, касающихся крутильных (торсионных) субсинхронных колебаний (ССК), показывает, что системные научные исследования причин возникновения ССК не проводились. Большинство работ рассматривает конкретные случаи (например, [1, 6]) и сфокусированы на устранении ССК воздействием на параметры ЧРП. Это оказывается возможным в некоторых конкретных случаях, при небольшом количестве ЧРП и допустимости вмешательства в их конструкцию и параметры. При большом количестве мощных ЧРП и невозможности вмешательства в них единственной альтернативой, как показывают результаты работ кафедры ЭАПУ, оказывается применение специальных устройств – активных фильтров субгармоник тока (АФСТ), разработка и систематические исследования которых ранее никем не проводились. Широко известны активные фильтры высших гармоник напряжения [7], имеющие другое назначение и систему управления.

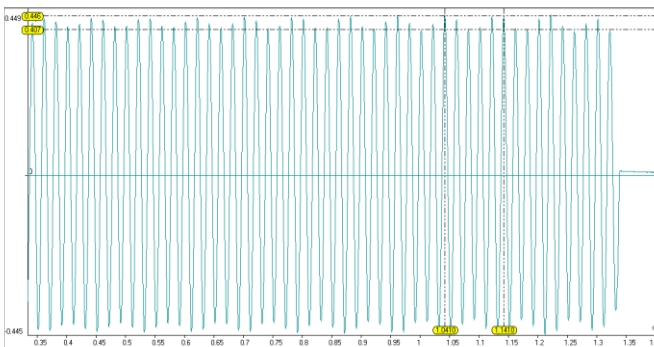


Рисунок 1 – Осциллограмма тока нагрузки с наличием низкочастотной гармоник с частотой около 12 Гц

Цель настоящей работы – на основе анализа имеющихся материалов разработать план научных исследований, необходимых для создания эффективных активных фильтров для успешного подавления ССК.

Назначение АФСТ - демпфирование субсинхронного резонанса в автономной электроэнергетической системе.

Основные моменты плана научных исследований:

- исследование процесса возникновения и развития крутильных колебаний ГТУ;
- разработка общей концепции подавления резонанса в сети без вмешательства в ее элементы, включая нагрузку;
- разработка и исследование возможных вариантов структуры АФСТ в рамках полученной выше общей концепции;
- выбор наиболее эффективной структуры по критериям затрат на внедрение и степени подавления субгармоник.

В результате реализации разработанного плана будет проведена разработка и исследование перспективных АФСТ, позволяющих решить проблему устранения ССК.

Литература

1. Comparison between electrical drives in LNG plant for subsynchronous torsional interactions/ Hiroyuki Masuda, Yoshihiro Ogashi, Masahiko Tsukakoshi, Makoto Yoshimura [Electronic resource]. – URL: <https://pdfs.semanticscholar.org/3be8/6ccea49daffecb0ab6e93ce23aca8f70f584.pdf>.

2. *Илюшин П.В.* Анализ опыта применения объектов распределенной генерации для обеспечения надежного электроснабжения потребителей [Электронный ресурс]. – URL: http://www.cigre.ru/research_commitets/ik_rus/c6_rus/base/04-05-2015/2.%20IlyshinPV.pdf.

3. *Илюшин П.В.* Проблемные технические вопросы работы объектов распределенной генерации в составе энергосистемы и подходы к их решению [Электронный ресурс]. // ЭнергоЭксперт – № 1 – 2015.– URL: http://www.cigre.ru/research_commitets/ik_rus/c6_rus/publications/Ilyshin.PowExp.%E2%84%961_2015.pdf.

4. *Мукатов Б.Б., Карджаубаев Н.А., Фишов А.Г.* Особенности обеспечения надежности электроснабжения в изолированно работающих энергосистемах с малой генерацией [Электронный ресурс]. // Доклады Академии наук высшей школы Российской Федерации: электрон. науч.-техн. журн. - № 4. - 2015.–URL: https://journals.nstu.ru/files/numbers/doklady_4_29_1456050864.pdf .
<http://www.kvar.nt-rt.ru/images/manuals/af.pdf>

5. Investigation of SSTI on LNG power plants /Piergiovanni La Seta, Edwin Lerch, Rainer Zurowski [Electronic resource]. – URL: http://m.energy.siemens.com/US/pool/hq/energy-topics/pdfs/en/oil-gas/LNG16_Paper_Lerch_SAG.pdf

6. Крутильные колебания на ГТУ и возможность распада изолированной энергосистемы/ Е.С. Трунин, В.М. Тараканов, С.П. Бойкин, С.И. Смирнов, Д.С. Генварев // Электрические станции. - 2017. - № 1. - С. 20-24.

7. М. Пронин. Активные фильтры высших гармоник. Направления развития // Новости Электротехники. - 2006. - № 2 (38). - С. 11-16.

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАСЧЁТ ПАРАМЕТРОВ ВИБРАЦИОННОГО ГРОХОТА

Д.А. Беляев, Д.А. Котин

Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, sobles@yandex.ru

В работе приводится пример выбора и расчёта параметров вибрационного грохота, полученные расчёты сравниваются с эталонными. Были найдены наиболее рациональные конструктивные и динамические параметры грохота.

The paper presents an example of selecting and calculating the parameters of the vibrating screen, the obtained calculations are compared with the reference ones. The most rational design and dynamic parameters of the screen were found.

В горной промышленности разделение на фракции производится недостаточно качественно. Одной из причин данного обстоятельства является несовершенство конструкции виброгрохотов.

Одним из способов решения проблемы являются повышение значения вынуждающей силы, действующая на грохотимый материал. Это позволяет повысить импульс силы при соударении материала с поверхностью сита, что повышает эффективность разделения на фракции.

Одна из основных задач, которые приходится решать при проектировании вибрационного грохота - выбор характера и параметров колебаний рабочего органа. В общем случае под характером колебаний понимается прежде всего наличие или отсутствие пиковых значений ускорений при работе вибрационной машины (ударно-вибрационный или безударный вибрационный

режим), спектральный состав периодических колебаний (простые гармонические, бигармонические, полигармонические), а также форма колебаний рабочего органа (круговые, прямолинейные, эллиптические, винтовые, различные комбинированные колебания). К параметрам относят частоты и амплитуды колебаний рабочего органа.

В процессе проектирования вибрационного грохота необходимо решить не только задачу синтеза колебаний его рабочего органа - корба, но и тем или иным способом обеспечить, чтобы этот закон существенно не искажался. Поэтому для вибрационных грохотов особое значение имеет свойство стабильности рабочего режима (или режима колебаний рабочих органов), на которое влияют частота и амплитуда колебаний.

Общий вид вибрационного грохота представлен на рис. 1.

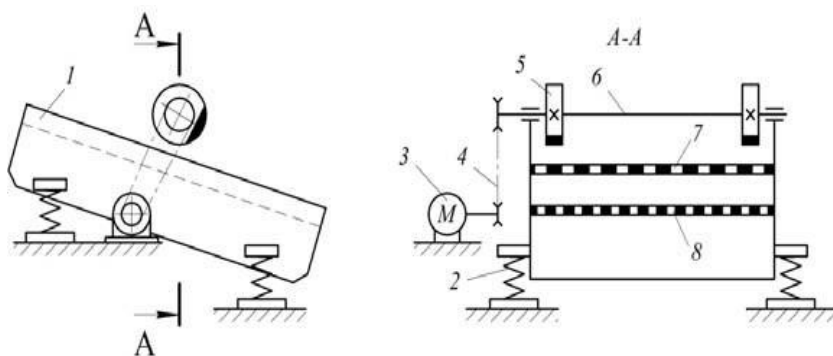


Рис. 1. Принципиальная схема грохота: 1 – корба; 2 – пружина; 3 – электродвигатель; 4–клиноременная передача; 5–дебаланс; 6–вал; 7, 8–сито.

Необходимым условием стабильности рабочего режима грохота является работа его в зарезонансной области амплитудно-частотной характеристики. [1]

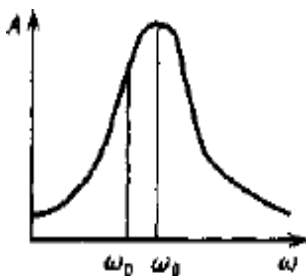


Рис.2. Амплитудно-частотные характеристики рабочего органа вибрационного двухмассового грохота ω_r - рабочая частота; ω_0 - собственная частота системы.

Для расчёта технологических параметров надо учитывать их зависимость от динамических характеристик грохота; от состава сортируемой смеси и способа сортировки (сухой или мокрый процесс).

Учеными доказано, что при росте производительности до определенного момента рост эффективности остается неизменным, а дальше происходит резким падением эффективности грохочения при увеличении производительности.

$E, \%$

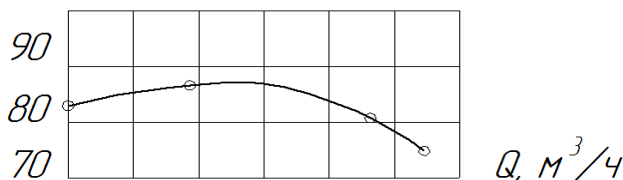


Рис.3. Зависимость эффективности грохочения от производительности: содержание нижнего класса 40%.

Это явление объясняется характером процесса грохочения, который, по определению В. А. Баумана, состоит из двух стадий, происходящих одновременно и непрерывно. На первой стадии мелкие зерна, подлежащие просеву, должны пройти сквозь толщу материала и войти в соприкосновение с поверхностью сита. На второй стадии мелкие зерна должны пройти сквозь ячейки сита.

1. Производительность грохочения.

Производительность грохота определяется с учетом физико-механических свойств материала по формуле В.А. Бауману и П.С. Ермолаеву: [3]

$$Q = g \cdot F \cdot m \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3,$$

где g - удельная производительность сита, $\text{м}^3 / \text{ч}$. Выбираем $g = 46 \text{ м}^3 / \text{ч} \cdot \text{м}^2$ [1]; F - площадь просеивающей поверхности, м^2 ; $F = B1 \cdot L1 = 7,5 \cdot 3 = 22,5 \text{ м}^2$; m - коэффициент, учитывающий неравномерность питания, форму зерен и тип грохота. Принимает $m=0,8$; k_1 - коэффициент, учитывающий угол наклона грохота. Принимает $k_1 = 1$; k_2 - коэффициент, учитывающий содержание зерен нижнего класса в исходном материале $C_H = 40 \%$. Принимаем $k_2 = 0,84$; k_3 - коэффициент, учитывающий содержание в нижнем классе зерен, размер которых меньше половины размера отверстий $C_0 = 60\%$. Принимаем $k_3 = 1,09$;

$$Q = g \cdot F \cdot m \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 = 46 \cdot 22,5 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 0,84 \cdot 1,09 = 759 \text{ м}^3 / \text{ч}.$$

По расчету производительности грохота делаем вывод, что расчетная производительность не превышает требуемой.

2. Эффективность грохочения - отношение массы материала, прошедшего сквозь отверстия сита к массе материала данной крупности, содержащейся в исходном продукте. [3]

Эффективность грохочения является качественную критерием процесса грохочения и определяется по формуле:

$$E = e \cdot k_1' \cdot k_2' \cdot k_3',$$

где e - эталонная эффективность грохочения. $e = 91\%$; k_1' - коэффициент, учитывающий угол наклона грохота.

Принимает $k_1' = 1$; k_2' - коэффициент, учитывающий содержание зерен нижнего класса в исходном материале $C_H = 40 \%$. Принимаем $k_2' = 0,95$; k_3' - коэффициент, учитывающий содержание в нижнем классе зерен, размер которых меньше половины размера отверстий $C_0 = 60\%$. Принимаем $k_3' = 1,01$;

$$E = e \cdot k_1' \cdot k_2' \cdot k_3' = 91 \cdot 1 \cdot 0,95 \cdot 1,01 = 87\%.$$

Таким образом полученная эффективность грохочения близка к эталонной, а значит выбранные данные могут быть использованы при проектировании грохота.

Литература:

1. Вайсберг Л.А. Проектирование и расчет вибрационных грохотов. - М.: Недра, 1986. 144 с.

2. В.Б.Кусков, М.В.Никитин: Учеб. пособие. Обогащение и переработка полезных ископаемых, СПб горный ин-т, СПб, 2002. 84с.

3. Сергеев, В.П.Строительные машины и оборудование: Учеб.для вузов по спец. «Строит, машины и оборудование» / В.П. Сергеев. - М.: Высш. шк., 1987. - 376с.

4. Дамдинова, Д.Р. Расчет параметров грохотов с плоскими ситами: Методическое указание по дисциплине механическое оборудование предприятий строительной индустрии. -2002. -40с.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ДЕТСКАЯ КОЛЯСКА

Н.А. Васильев, Д.В. Шломина, И.С. Дымов

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, n-vasilev@mail.ru**

В статье была рассмотрена проблема затруднения передвижения колясок в городских условиях. Разработано устройство позволяющее снижать физические нагрузки при перемещении. Предложена функциональная схема системы управления.

The article addressed the problem of the difficulty of movement of wheelchairs in urban environments. A device has been developed that allows to reduce physical loads during movement. A functional diagram of the control system is proposed.

В настоящее время города число городов-миллионников увеличивается. Вместе с этим увеличивается процент неконтролируемой точечной застройки, которая не может обеспечить комфортную городскую среду. От этого возникают трудности в передвижении у маломобильного населения, в особенности тяжело семьям с маленькими детьми до трех лет. Сложные погодные условия и отсутствие инфраструктуры только увеличивают физическую нагрузку на родителя во время прогулки с ребенком.

Для определения существующих товаров, которые предназначены решения вышеперечисленных проблем, было проведено исследование рынка детских товаров для транспортировки. Выявлены товары-заменители и проведена сравнительная характеристика устройств и решаемых с их помощью задач потребителей.

Для комплексного решения представленных проблем было предложено использование мехатронного модуля который выходит в состав детской коляски и позволяет снизить большие физические нагрузки за счет использования электрической тяги. Функциональная схема разработанного устройства представлена на рисунке 1.

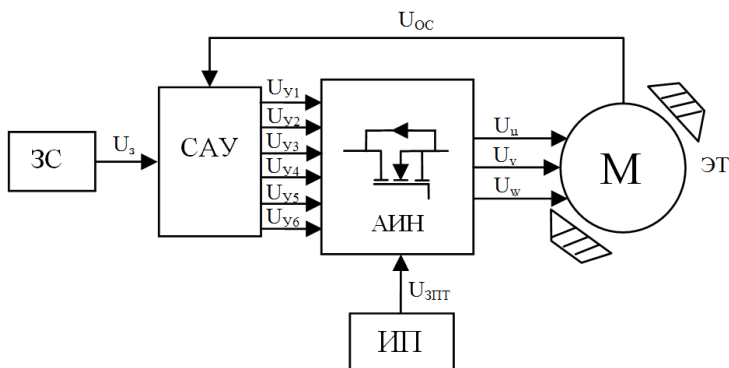


Рисунок 1 – Функциональная схема автоматизированной детской коляски

На рисунке 1 используются следующие обозначения:

ИП – источник питания;

М – мотор-колесо;

АСУ – автоматизированная система управления;

ЗС – датчик сигнала;

ЭТ – электромеханический тормоз;

$U_з$ – сигнал задания;

$U_{y1}-U_{y6}$ – сигналы управления;

U_{oc} – сигнал обратной связи;

$U_{u,v,w}$ – напряжения на двигатель;

$U_{зпт}$ – напряжение аккумулятора;

В качестве ИП используется аккумуляторы. Рекомендуется использование следующих типов:

1. Литий-железо-фосфатные аккумуляторы ($LiFePO_4$) основным преимуществом, которых является высокий пиковый ток (до 25000 мАч).

2. Литий-ионный (Li-ion) основным преимуществом является высокое номинальное значение напряжение (ок. 3.7 В).

Мотор-колесо необходимо для создания электрической тяги. Предлагается использование двигателя расчетной мощностью 250Вт. [1,2]

САУ представляет собой одноканальную трехконтурную систему управления, которая синтезирована методом подчиненного регулирования. Оперируя сигналами обратной связи с датчиков тока, скорости и положения происходит автоматическое регулирование скоростью передвижения коляски.

Задатчиком сигнала выступает потенциометр с возвратным механизмом. Необходимость использования подобного устройства продиктовано тем, что при снятии с него механического воздействия, ручка потенциометра должна возвратиться в исходное положение, т.е. самостоятельно подать нулевой сигнал на САУ за минимальное время.

Этот необходим для механической блокировки двигателя, обеспечивает дополнительную безопасность и осуществляет фиксацию коляски на наклонных поверхностях.

Разработанная функциональная схема, установленная на детскую коляску позволяет перевозить детей от 0 до 3 лет с учетом дополнительного груза в виде сумок и принадлежностей для детей, значительно уменьшая физические нагрузки родителя.

Используя приведенные выше технические характеристики была рассчитана себестоимость производства автоматической детской коляски. Был определен ценовой сегмент товара и составлен список сопутствующих маркетинговых мероприятий для последующего вывода товара на рынок.

Литература:

1. Wael, A. S. – Dahaman, I. – Khaleel, J. H.: PWM switching strategy for torque ripple minimization in BLDC motor, Journal of Electrical Engineering, Vol 62, 3 (2011), 141-146.
2. Rajagopalan, S. – Habetler, T.G. – Harley, R.G. – Aller, J.M. – Restrepo, J.A.: Diagnosis of rotor faults in brushless DC (BLDC) motors operating under non-stationary conditions using windowed Fourier ridges, Industry Applications Conference, 2005. Fourtieth IAS Annual Meeting. Conference Record of the 2005 (Volume:1), 2-6 Oct. 2005, 26 – 33.

КИНЕМАТИКА ОРБИТАЛЬНОГО ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ЦИФРОВОГО РЕНТГЕНОГРАФИЧЕСКОГО СКАНЕРА КОЛЬЦЕВЫХ ТРУБНЫХ ШВОВ

Р.А. Васильченко, Ф.А. Симанкин

**Национальный исследовательский Томский политехнический
университет, г. Томск, rav5@tpu.ru**

Рассматриваются особенности кинематики устройств, совершающих орбитальные перемещения. Сравниваются различные варианты компоновки механизмов для орбитального перемещения цифрового рентгенографического

сканера. Оценивается нагрузочная способность опорной гибкой связи механизма.

Abstract – The features of the kinematics of devices making orbital movements are considered. Various options for assembling the mechanisms for orbital movement of a digital radiographic scanner are compared. The load capacity of the supporting flexible coupling mechanism is evaluated.

В обеспечении безопасности эксплуатации трубопроводных систем, находящихся под давлением и транспортирующих агрессивные жидкие среды значительную роль играют мероприятия по неразрушающему контролю качества сварных соединений элементов трубопровода. В основе существующих методов неразрушающего контроля лежит исследование внутренней структуры материалов и веществ при воздействии на них рентгеновских, инфракрасных и гамма-лучей, ультразвуковых колебаний, радиоволн, магнитных и электрических полей, проникающих веществ и др. Применительно к трубопроводам в основном используются рентгенографический, ультразвуковой и визуально-измерительный методы контроля.

Известно решение, позволяющее реализовать орбитальное перемещение сканера вокруг объекта контроля. Подвижная платформа механизма перемещения сканера опирается непосредственно на трубу, при этом, платформа прижимается к трубе гибкой связью (ремень, цепь и т.п.). На платформу может устанавливаться любая полезная нагрузка, например рентгенографическая панель, аккумуляторные батареи, электронные блоки управления и т.п.

В целом, для организации орбитального перемещения цифрового рентгенографического сканера такая компоновка выглядит более перспективно. Опорные элементы не испытывают повышенных нагрузок, конструкция такого механизма более проста. Механизм не нуждается в дополнительных настройках при установке на объект контроля, кроме регулировки усилия прижатия гибкой связью

Для оценки усилий приходящихся на гибкую связь была разработана расчетная схема (рис. 1). Для численной оценки нагрузки гибкой связью использовалась программа, созданная в среде MathCAD.

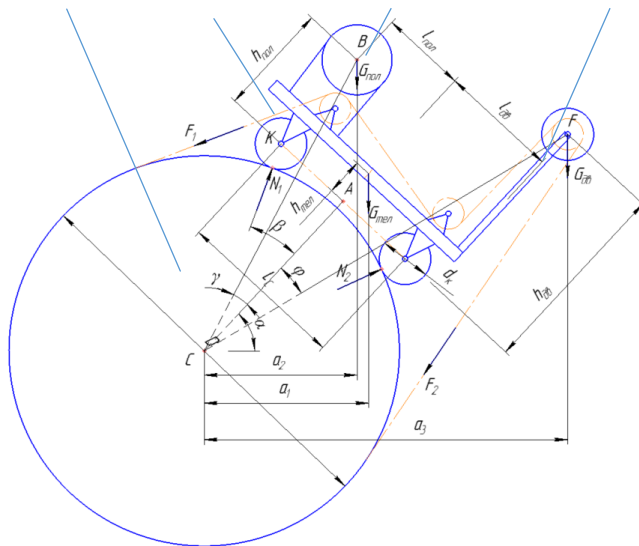


Рисунок 1 – Расчетная схема компоновки механизма движения сканера трубных швов: 1 – объект контроля (труба с кольцевым сварным швом), 2 – платформа с опорными колесами и приводом сканера, 3 – полезная нагрузка (сканер), 4 – гибкая связь

Результаты расчетов (рис. 2) показывают, что максимальные усилия, растягивающие гибкую связь, возникают на участке круговой траектории, соответствующей положениям часовой стрелки в диапазоне от 5 до 2 часов при движении по часовой стрелке. Так например, при величине полезной нагрузки в 40 кг максимальные усилия не превышают 4000 Н, а крутящий момент, который необходимо развить приводу сканера для движения в указанном участке траектории – 230 Н*м. Такие величины усилий могут восприниматься без разрушения гибкой связью, выполненной из металлических либо из композитных материалов. Для обеспечения гибкости такая связь должна состоять из отдельных элементов, имеющих подвижность друг относительно друга.

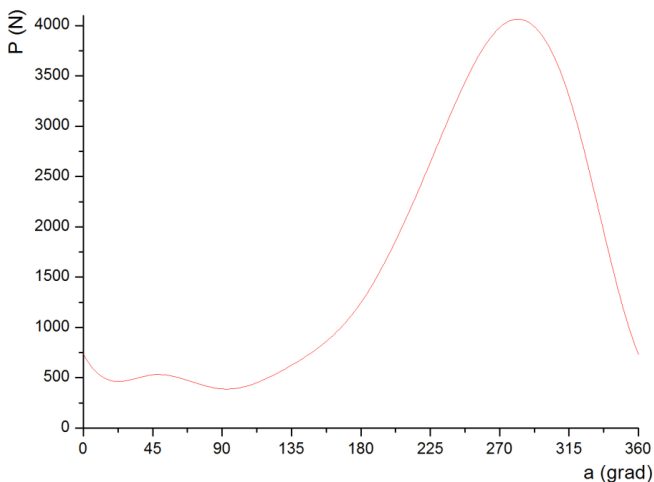


Рисунок 2 – Величина растягивающего усилия приложенного к гибкой связи в зависимости от угла поворота механизма вокруг трубы

ВЫБОР ТИПА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ДВИГАТЕЛЕЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ПРОМЫШЛЕННОГО МАНИПУЛЯТОРА

А.А. Водолазских, Е.С. Кучер

**Новосибирский Государственный Технический Университет
kucher@corp.nstu.ru**

В данной работе рассмотрены проблемы выбора оптимального типа электрических двигателей для современных манипулирующих устройств, предложено оптимальное и экономичное решение.

Перемещение различных объектов в пространстве – одна из сложнейших технологических задач. Для решения такого рода задач в промышленности применяются специальные устройства – манипуляторы.

Основу манипуляторов [1] составляют пространственные механизмы со многими степенями свободы. Манипуляторы выполняют работы в средах, недоступных или опасных для человека (подводные глубины, вакуум, радиоактивная среда и другие агрессивные среды), вспомогательные работы в промышленном производстве.

Манипулирующее устройство представляет собой электромеханическую систему. Наиболее востребованными и интересными для изучения являются манипуляторы с числом степеней свободы равным, как минимум, шести.

Естественно, встает вопрос о правильном выборе электродвигателей для исполнительных органов (подвижных звенья), основные требования, предъявляемые к электродвигателям и системе управления в манипулирующих устройствах - обеспечить высокую точность регулирования, плавность хода. В данном случае, необходимо применение позиционного электропривода. Наиболее широко применяется два варианта решение вопроса подвижности узлов манипулятора.

Сервопривод — общее название привода, синхронного, асинхронного либо любого другого, с отрицательной обратной связью по положению, моменту и др. параметрам, позволяющего точно управлять параметрами движения. Сервопривод – это комплекс технических средств. Состав сервопривода: привод – например, электромотор, датчик обратной связи – например, датчик угла поворота выходного вала редуктора (энкодер), блок питания и управления.

Основным достоинством сервоприводов является наличие обратной связи, благодаря которой такая система может поддерживать точность позиционирования на высоких скоростях и высоких моментах. Также систему отличает низкоинерционность и высокие динамические характеристики.

Шаговые двигатели — это электромеханические устройства, преобразующие сигнал управления в угловое (или линейное) перемещение ротора с фиксацией его в заданном положении без устройств обратной связи.

Таким образом, применение сервоприводов позволит реализовать точное регулирование угла поворота каждого звена манипулятора, однако такое решение очень дорогое, применение шаговых двигателей - наоборот, является относительно дешевым решением, но оно не позволяет реализовать необходимую для данной задачи точность угла поворота.

Однако если предусмотреть в САУ режим программного дробления шага (микрошаг)[1], это позволит решить данную проблему и добиться необходимой точности. Он реализуется при независимом управлении током обмоток шагового электродвигателя. Управляя соотношением токов в обмотках можно зафиксировать ротор в промежуточном

положении между шагами. Так, повышается плавность вращения ротора и наблюдается высокая точность позиционирования.

Таким образом, Данное решение позволяет реализовать высокоточную систему управления позицией подвижных звеньев манипулятора, с применением недорогих шаговых двигатели.

Литература:

1. Шаговые двигатели: учеб. пособие/ А. В. Емельянов, А. Н. Шилин/ ВолгГТУ. – Волгоград, 2005. – 48 с.

АВТОНОМНАЯ ФОТОВСПЫШКА

Е.С. Евдокимова, Д.Г. Цамалаидзе, И.С. Дымов
Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, ElenaPhotographer1@mail.ru

Работа посвящена решению проблемы большинства фотографов, связанной с недостаточным освещением на месте съёмки и невозможностью использовать проводные фотовспышки. Представлены основные требования к объекту проектирования. Предложена блок-схема алгоритма работы разрабатываемого устройства.

The work is devoted to solving the problem of most photographers, due to the lack of lighting at the location of the shooting and the inability to use wired flashlights. Presents the basic requirements for the design object. A flowchart of the developed device is proposed.

Существует множество красивых и атмосферных мест, освещение которых не позволяет сделать качественные снимки без дополнительного автономного оборудования. Существующее оборудование делится на студийные моноблоки и генераторы (необходимо питание от сети) и накамерные вспышки, обладающие малой мощностью, что не решает данную проблему [1].

Для решения данной проблемы предлагается использование автономной фотовспышки, которая представляет собой автономный

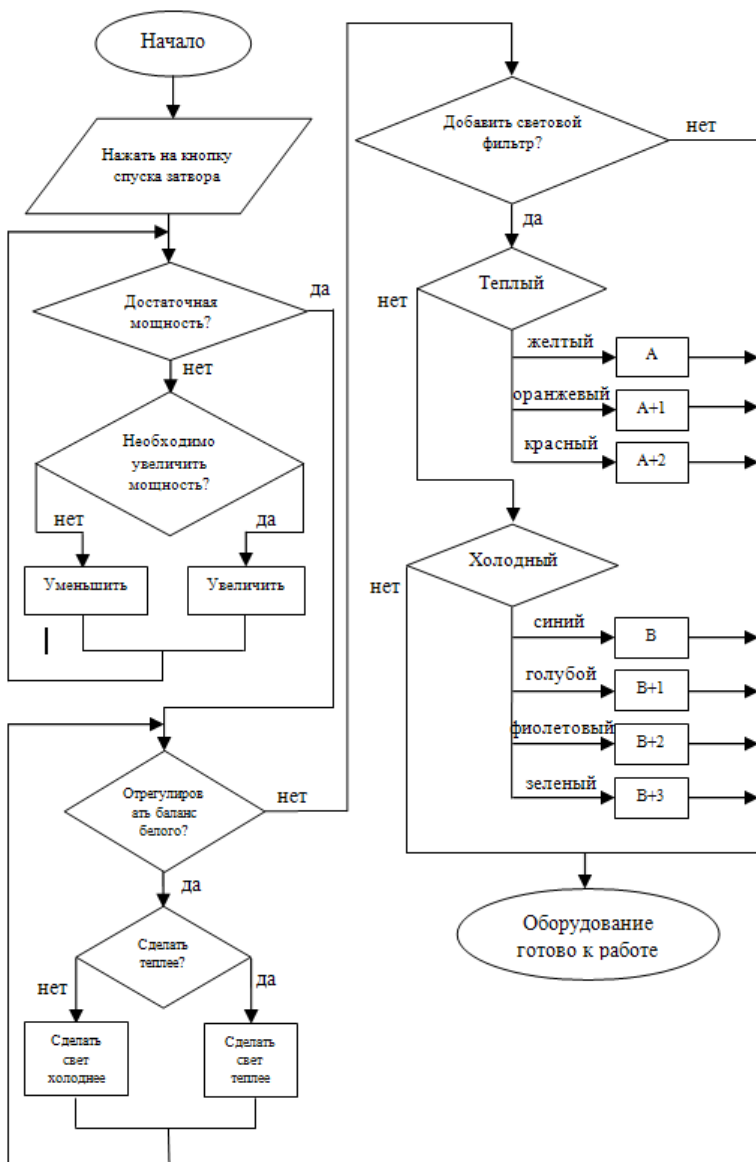


Рисунок 1 – Блок-схема работы автономной фотовспышки

источник дополнительного освещения возможностью самонастройки. Основные требования к техническим параметрам следующие:

1. До 5 часов автономной работы (около 1 часа непрерывного излучения в повторно-кратковременном режиме).
2. Небольшие массо-габаритные показатели.
3. Возможность изменения теплоты и оттенка излучаемого света.
4. Возможность изменения интенсивности излучаемого света.
5. Дистанционное управление.

На рисунке 1 представлен алгоритм работы автономной фотовспышки.

На текущий момент проект находится на стадии выбора источника света и источника питания. Рекомендуются использование светодиодных элементов, по ряду причин:

1. Светодиодные лампы, по сравнению с люминесцентными лампами, более корректно передают световой спектр.
2. Светодиодные лампы служат в 5 раз дольше, чем люминесцентные, и в 50 раз дольше ламп накаливания.
3. Светодиодная лампа потребляет малое количество электроэнергии.

Данная разработка будет востребована среди фотографов, т.к. решает ряд немаловажных проблем.

Литература:

1. М. Я. Шульман. Фотоаппараты / Т. Г. Филатова. — Л.: «Машиностроение», 1984. — 142 с.
2. Волков В. Светодиодные фотовспышки для фотосъемки. Полупроводниковая светотехника. 2016. Т. 2. № 40. С. 72-78.

ШАГОВЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД С ВЫСОКИМИ ДИНАМИЧЕСКИМИ ПОКАЗАТЕЛЯМИ

В.А.Елاناкова, Д.А. Котин

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, veraelanakova@gmail.com**

В работе описана актуальность применения шаговых двигателей в системах точного позиционирования. Рассмотрена конструкция и принцип работы основных типов шаговых двигателей, а также проанализированы преимущества и недостатки каждого из них. Приведены типовые схемы

подключения обмоток шагового двигателя. Описаны три варианта режимов работы шагового электродвигателя. Представлено описание математической модели шагового электродвигателя, на примере двухфазного гибридного шагового двигателя.

The article describes the relevance of stepper motors in precision positioning systems. The design and the operating principle of the main types of stepper motors are considered, as well as the advantages and disadvantages of each of these motors are analyzed. The standard connection schemes of the windings of the stepper motor are given. Three variants of the stepper motor operation modes are described. The mathematical model of the stepper motor on the example of a two-phase hybrid stepper motor is presented.

Шаговые двигатели применяются как исполнительные элементы в различных электромеханических системах.

Особенно широко применение эти двигатели получили с развитием цифровой электроники. Везде, где требуется точное позиционирование датчиков, исполнительных элементов, инструмента и т.д. (станки с точной подачей резца, например, фрезерные, управление манипуляторами в робототехнике, различных автоматах), наиболее приемлемым представляется использование именно шаговых двигателей. В системах автоматического регулирования шаговый электродвигатель можно использовать без обратной связи, причем они обеспечивают высокую точность угла поворота ротора, обладают высокой надежностью, могут работать на низких скоростях вращения без использования редуктора [1].

Для обеспечения различных параметров работы важна величина шага, на который будет смещаться вал. Изменение этого параметра достигается за счет конструкции ротора двигателя, способа подключения и конструкции обмоток.

В докладе рассматривается конструкция и принцип работы трех основных типов шаговых двигателей:

- двигатели с переменным магнитным сопротивлением (реактивные);
- двигатели с постоянными магнитами;
- гибридные двигатели.

Кроме конструктивных особенностей, связанных с исполнением ротора, шаговые двигатели отличаются исполнением обмоток статора. В докладе описаны два типа двигателя: униполярный и биполярный, различающиеся конфигурацией обмоток [3].

Биполярный двигатель имеет более высокую удельную мощность. При одних и тех же размерах биполярные двигатели обеспечивают больший момент [2].

В работе приведены основные схемы подключения обмоток шагового двигателя:

- униполярное последовательное подключение обмоток двигателя;
- униполярное параллельное подключение обмоток двигателя;
- биполярное последовательное подключение обмоток двигателя;
- биполярное параллельное подключение обмоток двигателя.

Существует несколько вариантов управления шаговым двигателем [1]. Наиболее простой – волновой режим, представляющий собой попеременную коммутацию фаз, при этом в каждый момент времени в работе находится одна фаза. Вторым вариантом носит название полношагового режима, при таком виде управления происходит перекрытие фаз и в один и тот же момент времени в работе находятся обе обмотки. Третий способ – это полушаговый режим управления, являющийся некой комбинацией двух предыдущих. В докладе рассматриваются все варианты управления шаговым двигателем, отмечаются недостатки и достоинства, присущие каждому из способов, приведены основные рекомендации по применению того или иного варианта управления шаговым электродвигателем.

В докладе приводится математическая модель двухфазного гибридного шагового двигателя. Уравнения электрического равновесия напряжений и ЭДС обмоток статора получены по законам Кирхгофа для схемы замещения шагового двигателя. Математическая модель шагового двигателя - нелинейная, также в математической модели принимается во внимание вязкое трение.

Литература:

1. Кенио, Т., Шаговые двигатели и их микропроцессорные системы управления –М.: Энергоатомиздат, 1987.–200с.
2. Емельянов, А.В., Шаговые двигатели: учебное пособие ВолгГТУ. - Волгоград 2005.- 48 с.
3. Кацман М.М., Электрические машины: учебник - М.: Высшая школа 2003 г. -463с.

СИНТЕЗ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ АСИНХРОННЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ МЕТОДОМ БОЛЬШОГО КОЭФФИЦИЕНТА

К.Е. Закржевская, Д.А. Котин
Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, d.kotin@corp.nstu.ru

В работе к обсуждению предлагается две методики синтеза замкнутых систем автоматического управления электроприводом переменного тока: метод систем подчиненного регулирования и метод больших коэффициентов. Объект исследования – асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором. Математическое описание асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором как объекта векторного управления приведено к канонической форме записи. Выполнен сравнительный анализ двух методик синтеза, исследовано влияние параметрических возмущений на систему векторного управления асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором, а также, представлены результаты работы системы. Сделаны соответствующие выводы и приведены рекомендации к практическому применению рассмотренных методик синтеза.

Известно, что на сегодняшний день большинство электроприводов общепромышленных механизмов построено на базе асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором (АДКЗР). АДКЗР прост в конструкции, обладает высокой надежностью и низкой стоимостью, но при этом, имеет довольно сложные в реализации способы регулирования. Для быстродействующих приводов с широким диапазоном регулирования скорости требуется разработка систем векторного управления [1].

Основные принципы векторного управления АДКЗР предполагают приведение соответствующего математического описания электрической машины к математической модели двигателя постоянного тока с независимым возбуждением (ДПТ НВ), что дает возможность применения всех тех принципов управления, которые допустимы по отношению к ДПТ НВ.

Исследуя систему автоматического регулирования, необходимо удовлетворить требованию по обеспечению неизменности качества управления электроприводом. Для этого нужно применять такие способы регулирования, которые обладают свойствами нечувствительности к изменению параметров объекта управления.

Метод систем подчиненного регулирования имеет огромное значение в теории и практике электропривода. Системы подчиненного регулирования широко распространены благодаря ряду существенных

преимуществ. Но, применение данной методики не может в полной мере обеспечить полной информацией о рабочем органе технологической установки и учесть все его особенности, осложняющие процесс настройки комплектного электропривода.

Для этой задачи подходит метод больших коэффициентов, предназначенный для синтеза нелинейных нестационарных систем. Метод предполагает в своей структуре наличие наблюдателя возмущений, который парирует все внутренние и внешние изменения режимов и характера работы объекта [2].

В докладе к обсуждению будет представлена методика структурно-параметрического синтеза контуров регулирования системы векторного управления АДКЗР на основе метода большого коэффициента. Приведены результаты цифрового моделирования и их сравнительный анализ с классическими методами синтеза систем управления асинхронными электроприводами. Будут представлены результаты исследования разработанной системы управления при действии на объект внешних и внутренних параметрических возмущений.

Литература:

1. Панкратов В.В., Котин Д.А. Адаптивные алгоритмы бездатчикового векторного управления асинхронными электроприводами подъемно-транспортных механизмов: учеб. пособие. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2012. – 143 с.
2. Панкратов В.В., Нос О.В., Зима Е.А. Избранные разделы теории автоматического управления. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2011. – 223 с. (Серия «Учебники НГТУ»).

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ БЕЗВАЛЬНОГО УСИЛИТЕЛЯ РУЛЕВОГО УПРАВЛЕНИЯ

С.А. Козлов, Б.М. Боченков

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, serega007-95@mail.ru, bochenkov@corp.nstu.ru**

Данная работа посвящена разработке безвального усилителя рулевого управления, с учетом требований, предъявляемых к усилителям рулевого управления. Показана целесообразная область применения данной системы. Представлен обзор существующих усилителей рулевого управления

применяемых в автомобилестроении. Функциональная схема включает в себя два взаимосвязанных электропривода — электропривод рулевого механизма и электропривод рулевого колеса. Первый электропривод является следящим. Он отслеживает положение рулевого колеса и поворачивает управляемые колеса. Второй электропривод является моментным. Он воспроизводит крутящий момент на рулевом колесе, пропорциональный моменту, действующему со стороны дороги на рулевой механизм. Оба электропривода строятся по системе подчинённого регулирования.

This work is devoted to the development of a boosterless steering amplifier, taking into account the requirements for power steering amplifiers. The most suitable area of application of this system is shown. The review of groups of the amplifiers of a steering on a principle of action is presented. The functional scheme includes two interconnected electric drives - the electric drive of the steering mechanism and the electric drive of the steering wheel. The first electric drive is servo. It tracks the status of the steering wheel and turns the steerable wheels. The second electric drive is instantaneous. It reproduces the torque on the steering wheel, proportional to the moment, acting from the side of the road to the steering gear. Both electric drives are built according to the system of subordinate regulation. Theoretical calculations of the parameters were carried out using the following method.

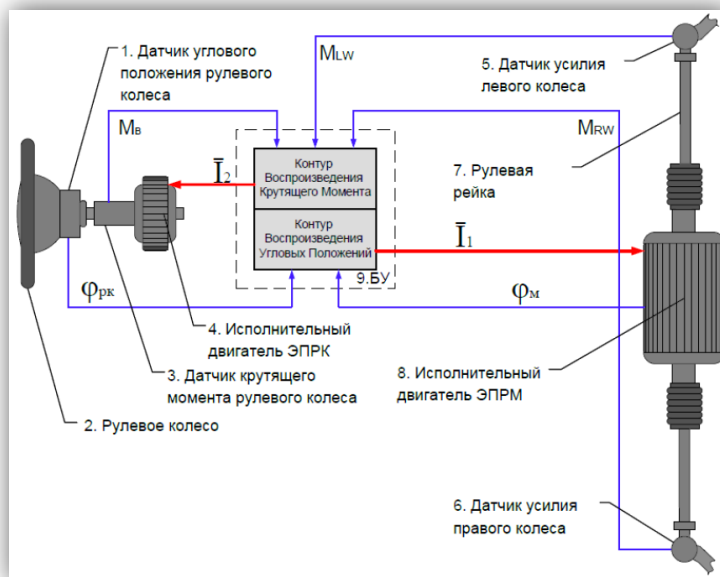


Рисунок 1 – Функциональная схема ПЭСУР

В настоящее время для обеспечения комфортных и безопасных условий управления транспортными средствами используют различные усилители рулевого управления. Эти усилители позволяют, помимо всего прочего, снизить усилие прилагаемое к рулевому колесу, сохранить управление над автомобилем в критической ситуации (разрыв управляемого колеса или повреждение подвески), обеспечивают различную чувствительность рулевого механизма к изменению углового положения рулевого колеса, также обеспечивают самовозврат рулевого колеса при снятии момента на рулевом колесе.

Усилители по принципу действия делят на:

1. Гидроусилители
2. Электроусилители
3. Электрогидроусилители

В настоящее время большинство автомобилестроительных фирм работают над безвальными усилителями рулевого управления. Под термином «безвальный» понимается такая система, которая не имеет механической связи между рулевым колесом и рулевым механизмом, так называемое «управление по проводам».

Преимущества такой системы очевидны:

1. При использовании данной системы руль может находиться в кабине где угодно, да и кабина может находиться где угодно.
2. Данная система может управляться не только непосредственно водителем, но и совместно с другими электронными системами автомобиля, в том числе бортовым компьютером.
3. Безвальное рулевое управление более компактное и занимает меньше пространства, чем традиционный вальный усилитель со всеми валами и шарнирами.
4. Так как в данной системе меньше механических деталей, следовательно, ремонт и обслуживание проще и дешевле.

Разработки проводных систем рулевого управления ведутся многими отечественными и зарубежными фирмами, работающими в области автотроники. Однако серийно выпускаемых образцов в настоящее время не существует, также отсутствуют и публикации, раскрывающие принцип построения и состав разрабатываемых систем. Основными требованиями, предъявляемыми к усилителям рулевого управления, являются обеспечение высокой надежности и пропорциональности вращающих моментов на рулевом колесе и рулевом механизме. Учитывая эти требования, разработана функциональная схема системы безвального усилителя рулевого управления (СБУ-РУ), представленная на рис. 1. Система включает в себя два взаимосвязанных электропривода —

электропривод рулевого механизма (ЭПРМ) и электропривод рулевого колеса (ЭПРК). Первый электропривод является следящим.

Он отслеживает изменение положения рулевого колеса и поворачивает управляемые колеса. То есть входным сигналом для него является сигнал с датчика положения рулевого колеса, а в качестве сигнала обратной связи используется сигнал с датчика положения рулевого механизма. В процессе эксплуатации возникает сигнал рассогласования, который обрабатывается исполнительным электродвигателем, до тех пор пока не станет равным нулю. Второй электропривод является моментным. Он воспроизводит крутящий момент на рулевом колесе, пропорциональный моменту, действующему со стороны дороги на рулевой механизм. Таким образом, обеспечивается обратная связь для водителя — так называемое «чувство дороги». Входным сигналом для ЭПРК является сигнал с датчика момента рулевого механизма, а сигнал обратной связи формируется датчиком момента рулевого колеса. Принцип работы аналогичен ЭПРМ. В качестве исполнительных электродвигателей используются синхронные электродвигатели магнитоэлектрического возбуждения, которые управляются системой векторного управления. Таким образом система состоит из двух контуров, это контур регулирования положения (КРП) и контур регулирования момента (КРМ).

Наиболее целесообразной областью применения данных усилителей рулевого управления является военная техника, многоосевая спецтехника, сельскохозяйственная техника и большегрузные карьерные самосвалы. В заключение необходимо отметить, что именно мехатронный подход в решении данного вопроса может удовлетворить те жесткие требования, которые предъявляются к усилителям рулевого управления.

Литература

1. Антонов И. П. Разработка системы управления безвального усилителя рулевого управления / науч. рук. Б. М. Боченков // Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2014. — Ч. 6. — С. 24–25. — 70 экз. — ISBN 978-5-7782-2556-5.
2. Боченков Б.М. Бесконтактные двухзонные электроприводы с синхронными двигателями магнитоэлектрического возбуждения для металлорежущих станков: дис. ... канд. техн. наук. — Новосибирск, 1998.— 174с.

АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ

В.Ю. Лобанов, А.С. Нечаев

**Самарский государственный технический университет,
г. Самара, lobanov.vl.u@gmail.com**

Цель работы заключается в создании системы автоматического регулирования температуры для индивидуальных средств защиты, а так же для применения этой системы среди гражданского населения, в качестве специальной термо-накидки. Рассмотрены вопросы, касающиеся особенностей разработки системы регулирования температуры индивидуальных средств защиты как автономной системы. Произведен анализ основных исполнительных элементов предлагаемой системы регулирования температуры.

The aim of the work is to create an automatic temperature control system for personal protective equipment, as well as for the application of this system among the civilian population, in the form of a special thermal cap. The questions concerning the features of the development of the temperature control system for personal protective equipment as an autonomous system are considered. The analysis of the main units of the proposed regulatory system.

Для военнослужащих и других представителей силовых структур ношение бронежилета является необходимым условием в их профессиональной деятельности. Бронепластины средств защиты не пропускают водяных паров и как следствие препятствуют естественному охлаждению организма. У носителя бронежилета снижается реакция от перегрева, а так же повышается вероятность получения теплового удара. Данная проблема так же актуальна среди гражданского населения, например, при работе длительное время при высокой температуры окружающей среды в сферах, где правилами безопасности обосновано ношение верхней одежды.

Решением поставленной проблемы является разработка автоматической системы регулирования температуры, способной снизить или увеличить температуру с внутренней стороны бронежилета и поддерживать её в постоянном значении. Данная система способна как поглощать лишнее тепло, так и генерировать его, что применимо в жаркие периоды, для применения в зимних условиях и районах крайнего севера. Исполнительными элементами выступают термоэлектрические преобразователи, принцип действия которых базируется на эффекте Пельтье – возникновении разности температур при протекании электрического тока. В основе работы данных модулей лежит контакт двух полупроводниковых материалов с разными уровнями энергии электронов в зоне проводимости. При поглощении

этой энергии происходит охлаждение места контакта полупроводников, дополнительно к обычному тепловому эффекту (рис. 1).

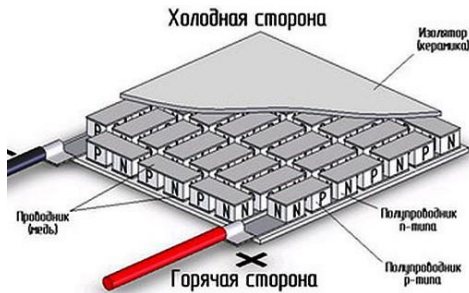


Рисунок 1 – Устройство элемента Пельтье

В данной системе регулирования температуры, термоэлектрические преобразователи охлаждают или нагревают водоблок, после чего жидкость поступает в теплоносителя находящиеся с внутренней стороны бронежилета.

Эффект Пельтье был взят за основу благодаря преимуществам перед аналогами. Данный модуль позволяет совмещать в одной системе функцию нагрева и охлаждения и легко осуществлять переход температурного режима. Так же данные элементы имеют среднее время наработки на отказ не менее 200 000 часов, что составляет примерно 10-12 лет эксплуатации, имеется возможность плавного и точного регулирования холодопроизводительности и температурного режима. У данных элементов отсутствуют движущиеся и подлежащие износу части. Благодаря небольшому размеру и весу возможен монтаж в любом пространственном положении [1].

Для питания элементов в системе регулирования температуры используется аккумуляторный блок имеющий стандартное напряжение 12 В. Для управления напряжением питания применяется регулятор, включающее панель управления, на которой можно выбрать один из трёх рабочих режимов:

1. Активный режим – благодаря встроенному датчику система автоматически выбирает мощность охлаждения или нагрева для поддержания комфортной температуры;
2. Экстренный режим – система на максимальной мощности осуществляет охлаждение или нагрев до полной разрядки аккумуляторов.
3. Ручной режим – система осуществляет нагрев и охлаждение с такой интенсивностью, который задает носитель.

Система имеет адаптивный регулятор, изменяющий параметры управляющего устройства в зависимости от изменения температуры действующей на датчик, располагающийся между носителем и средством защиты [2]. Данный регулятор позволяет синтезировать систему управления температурного потока. Датчик температуры выбран на основе терморпары, обладающий большой чувствительностью к изменению температуры, а также простотой монтажа.

Благодаря простоте конструкции и соответствующей защите исполнительных элементов, система является устойчивой к механическим воздействиям и условиям внешней среды.

Готовая система сможет обеспечивать требуемые комфортные температуры в различных условиях окружающей среды. Важной характеристикой бронезилета выступает его вес, благодаря минимизации габаритов элементов системы, существенно не увеличивается. Предполагаемое увеличение веса бронезилета от предлагаемой системы составит 1 кг.

Имеется возможность в разработанную схему системы вместо термоэлектрических преобразователей внедрить систему, работающую по компрессионному принципу. Миниатюрный компрессор под давлением закачивает хладагент в радиатор, который охлаждается, снижая при этом температуру тела. При достижении определенной температуры, терморегулятор останавливает работу компрессора, и процесс охлаждения прекращается. После повышения температуры выше определенного уровня, датчик термоконтроля приводит в действие компрессор, и процесс охлаждения возобновляется. Весь цикл повторяется, пока температура не понизится до нужного значения. Достоинствами этой системы является более высокий коэффициент полезного действия (КПД), что позволит добиться меньших рабочих температур при тех же энергетических затратах. Автономность работы системы регулирования температуры, позволяет без дополнительных вмешательств настроить температурный режим. Недостатком такого подхода является наличие жидкого хладагента, что не всегда удобно и допустимо.

Инженеры швейцарской компании «Emra» разработали бронезилет с системой охлаждения работающий следующим образом – внутрь бронезилета встраивались подушки наполненные жидкостью, которая при испарении уносила часть тепловой энергии от человеческого тела. Данная система имеет ряд недостатков. Во время ношения жидкость во встроенных подушках имеет возможность протечки в результате воздействия внешнего бронированного слоя, требуется постоянная доливка жидкости в процессе эксплуатации. Так же данная система не

имеет функции нагрева. Последние упоминая данной разработки относятся на 2012 год, так что есть основания полагать, что система не получила должного внимания из-за ее не эффективности [3]. Данная разработка является единственным аналогом предлагаемой автоматической системы регулирования температуры.

В настоящее время разработана структурная схема системы, проведен анализ существующих аналогов, разрабатывается наиболее подходящая геометрическая форма радиатора, конструкция рабочей области системы и осуществляется подбор элементной базы системы.

Данный проект открывает целый ряд перспективных исследований по созданию самой разнообразной спецодежды с системой регулирования температуры.

Литература:

1. Устройство и способы подключения элементов Пельтье [Электронный ресурс] // Школа электрика – URL: <http://electricalschool.info/spravochnik/poleznoe/1977-jelement-pelte-kak-ustroen-i-rabotaet.html> (дата обращения: 18.10.2018).

2. Адаптивный регулятор тока с эталонной моделью [Электронный ресурс] // Большая энциклопедия - URL: <http://www.ngpedia.ru/id390661p1.html> (дата обращения: 18.10.2018)

3. Бронежилеты с системой охлаждения от ЕМРА [Электронный ресурс] // Научно-техническая статья – URL: <https://www.gearshout.net/bronezhiletyi-s-sistemoy-ohlazhdeniya-dlya-leta-ot-empa/> (Дата обращения 18.10.2018).

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОМОБИЛЯ ПОВЫШЕННОЙ ПРОХОДИМОСТИ

Р.Е. Лопатин, Д.А. Котин

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, lopatin_r@inbox.ru**

При проектировании электромобиля возникает вопрос о выборе системы силовой установки, а также конструктивных параметров привода. Представленная методика позволяет выбрать рациональные значения конструктивных параметров тягового привода электромобиля, без проведения экспериментального исследования разряда батарей, с учётом полномасштабной модели движения транспортного средства.

Конструктивные параметры определяются на основании анализа нагрузочных диаграмм электропривода, энергетических показателей эксплуатационных свойств электромобиля.

When designing an electromobile a question about the choice of the drive design parameters is raised. The presented procedure allows you to choose the rational values of the design parameters of the electromobile traction drive without carrying out an experimental study of the battery discharge, taking into account the full-scale model of the vehicle traffic. The design parameters are determined on the basis of drive load diagrams, energy indicators of the service characteristics of electromobile.

Для автомобиля повышенной проходимости ключевыми свойствами являются запас хода и способность преодолевать такие препятствия, как броды, уклоны, грязь, снег, неровности дороги. Работа такого транспортного средства в тяжелых условиях только на аккумуляторных батареях невозможна из-за малого запаса хода и неразвитой инфраструктуры для подзарядки. Для решения данной задачи предлагается использовать гибридный электромобиль, с, как минимум двумя различными преобразователями энергии. Наиболее подходящий для электромобиля повышенной проходимости является схема последовательный гибрида. В последовательных гибридах на трансмиссию воздействует только электродвигатель. ДВС приводит в действие электрический генератор, который заряжает батарею. При полностью заряженной батарее последовательный гибрид работает только на электричестве, поэтому он очень близок к электромобилю и его еще называют электромобилем с увеличенным запасом хода. Современные последовательные гибриды обладают запасом хода 700-1000 км при полностью заряженных батареях и полном баке топлива для ДВС [2].

Первым этапом проектирования такого электромобиля является выбор и обоснование мощности тягового двигателя, затем по рассчитанной мощности – выбор типа двигателя исходя из стоимости, характеристик, массо-габаритных показателей. компоновки двигателя и трансмиссии.

Для того, чтобы первоначально рассчитать мощность тягового двигателя, необходимо воспользоваться методом построения нагрузочной диаграммы рабочего цикла, затем методом эквивалентных моментов определить параметры двигателя и уточнить полученные результаты методом эквивалентных потерь [1].

Рабочий цикл для автомобиля повышенной проходимости состоит из следующих этапов: разгон до средней скорости движения по грунтовой дороге (40 км/ч) → движение по относительно прямолинейному участку(500 м) → движение в уклон (17°, 120 м), прямолинейное движение (100 м) → движение с уклона (17°, 50 м), торможение до

маневровой скоростью (15 м), режим «дотягивания» до полной остановки (10 м).

В рамках тезиса отсутствует возможность привести полный расчёт из-за большого объема последнего. Однако ниже будут приведены основные формулы и результат построения нагрузочной диаграммы механизма.

Определение статической силы сопротивления по формуле (1)

$$F_c = F_{\text{кач}} + F_{\text{ск}} + F_{\text{укл}} + F_{\text{сопрветра}} \quad (1)$$

где $F_{\text{кач}}$ - сила трения качения; $F_{\text{ск}}$ - сила трения скольжения в подшипниках; $F_{\text{укл}}$ - сила сопротивления при движении в уклон; $F_{\text{сопрветра}}$ - сила сопротивления ветра.

Расчёт составляющих статической силы сопротивления достаточно прост, выполняется исходя из природы данных сил по известным формулам физики, из-за громоздкости расчётов здесь приведен не будет, итоговый результат сведен в таблицу 1.

Коэффициенты трения в подшипниках, сопротивления качению взяты усреднено, для дорожного покрытия грунт.

$$M_{\text{мех.дв}}^{\uparrow} = \frac{F_c \cdot R_K}{\eta} \quad (2)$$

Формула (2) – при движении вверх по уклону, двигательный режим.

$$M_{\text{мех.торм}}^{\uparrow} = F_c \cdot R_K \cdot \eta \quad (3)$$

Формула (3) – при движении вверх по уклону, тормозной режим.

В формулах (2) и (3) R_K - радиус колеса = 0,225 м; η – КПД трансмиссии = 0,9.

Таблица 1 – Данные для нагрузочной диаграммы

Режим	$M, H \cdot m$	t, c
1. Разгон до 40 км/ч \approx 10 м/с	360	4
2. Движение по ровному участку	280	50
3. Подъем в уклон	390	12
4. Движение по ровному участку	280	10
5. Спуск с уклона	-180	5
6. Торможение до маневровой скорости	-320	3
7. Полная остановка	-270	1,5

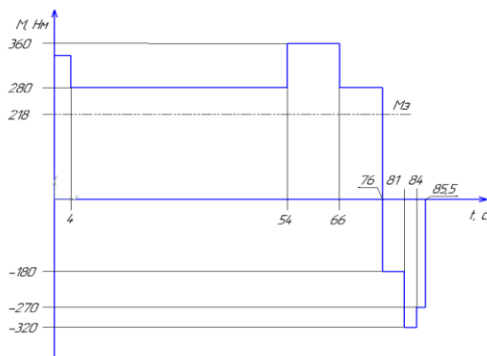


Рисунок 1 – Нагрузочная диаграмма для цикла работы

Статический эквивалентный момент определяется, как для двигателя, работающего в длительном циклическом режиме с переменной нагрузкой (4).

$$M_{сэ} = \sqrt{\frac{1}{t_y} \sum_{i=1}^n M_{ci}^2 t_i} \quad (4)$$

где M_{ci} – статический момент на i -м интервале нагрузочной диаграммы механизма;

$$M_{сэ} = 218 \text{ Нм}$$

$$P_{расч} = k \cdot M_{сэ} \cdot \omega_{расч} = 2 \cdot 218 \cdot 44,4 = 19,4 \text{ кВт} \quad (5)$$

$k = 2$ - коэффициент запаса по мощности;

$$\omega_{расч} = 44,4 \text{ рад / с}$$

Полученная расчётная мощность для одного мотора, при использовании технологии «мотор-колесо» необходимо выбрать четыре одинаковых двигателя приблизительноной полученной мощности [3].

Таблица 2 – Сравнение тяговых двигателей различного типа

Параметры	Тип тягового электропривода с двигателем		
	постоянного тока	асинхронным	вентильным с возбуждением от постоянных магнитов
Максимальная мощность, кВт	40	40	40
Максимальный ток, А	410	500	192
Частота вращения, об/мин •номинальная; •максимальная	2200 6700	3000 8000	5000 13000
Масса тягового двигателя, кг	92	70	26,4
Масса вентильного преобразователя, кг	8	22	22
Масса тягового электропривода, кг	109	92	48,4
КПД, %	75	85	94
Стоимость тягового электропривода, у. е.	2500	5000	5400

ТЭП с СДПМ имеет значительное преимущество по массогабаритным показателям и КПД. В ходе дальнейшего исследования будет сделан выбор ТЭД из производящихся на данный момент российской или зарубежной промышленностью.

Литература:

1. Ключев В.И. Теория электропривода. Учебное пособие для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1985-560с., ил.
2. Гурьянов Д.И. Концепция гибридного микроавтобуса с индивидуальным электроприводом колес // Приоритеты развития отечественного автотракторостроения: Тезисы докл. XXXIX Междунар. научно-техн. конф. – М.: Изд-во МГТУ «МАМИ», 2002. – С. 12–15.
3. Козлова Т.А. Анализ методик расчета конструктивных параметров электромобиля // Международное научное периодическое издание по итогам Международной научно-практической конференции (04 сентября 2016 г., г. Ижевск) «Новая наука: теоретический и практический взгляд» – Стерлитамак: АМИ, 2016 – 249.

АДАПТИВНЫЕ АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ БЕЗДАТЧИКОВЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ

Е.С. Матюхова, Е.С. Кучер

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, E.Avalanche@mail.ru**

В докладе рассматриваются вопросы оптимизации точности регулирования в бездатчиковых системах управления электроприводами. Большое внимание уделено проблеме идентификации значений параметров схемы замещения в ходе работы электропривода.

The report discusses the issues of optimization of control accuracy in sensorless electric drive control system. Much attention is paid to the problem of identifying the value of the parameters of the equivalent circuit during the operation of the electric drive.

На практике, широко распространение получили так называемые «бездатчиковые» (от англ. sensorless) автоматизированные электроприводы, не требующие установки на вал двигателя датчика скорости или положения ротора и, соответственно, его информационного соединения с системой управления электропривода (ЭП). [1]

При ряде недостатков, включающих в себя заведомо худшее быстродействие и меньший диапазон регулирования, такие системы имеют и ряд существенных плюсов, таких как меньшая стоимость, меньшие массогабаритные показатели, большая надежность системы, удобность модернизации систем, ранее имевших релейно-контакторную систему управления.

В бездатчиковых системах управления, ввиду отсутствия некоторых датчиков, применяются специальные алгоритмы наблюдения и идентификации, которые представляют собой динамические подсистемы, позволяющие вычислить оценку искомым неизмеряемых сигналов на основе тех сигналов, что подлежат прямому измерению с помощью датчиков, а также параметров схемы замещения. Такие вычислительные алгоритмы обобщенно называются наблюдателями и идентификаторами.

Возможность полных измерений совершенно не типична для реальных приложений. Как правило, по различным причинам не подлежат прямым измерениям магнитные потоки и индукции магнитных полей в задачах автоматического управления электрическими машинами, усилия в элементах кинематических передач электроприводов, ускорения, рывки и т.д. [2]

Цель работы заключается в построении такого алгоритма, который в некотором виде скомпенсирует недостатки бездатчикового управления, сохранив при этом указанные преимущества.

В данной работе проведена апробация алгоритма управления бездатчиковым ЭП на базе двигателя постоянного тока. Адаптивная система управления бездатчиковым ЭП постоянного тока включает себя такие блоки как, объект управления (ОУ), двухконтурную систему автоматического управления (САУ), построенную по законам подчиненного регулирования, наблюдателя пониженного порядка (НПНП), вычисляющий оценку частоты вращения вала двигателя, а также идентификатора (ИД) активного сопротивления якоря, который позволяет учитывать изменение активного сопротивления якоря в ходе работы ЭП. Структурная схема приведена на рисунке 1.

Как видно из рисунка 1, подобная система позволяет учитывать изменения активного сопротивления якоря в наблюдателе, что в свою очередь дает более корректную оценку скорости, в ходе работы было определено, что подобная система имеет лучшее быстродействие, по сравнению даже с датчиковой системой управления ЭП, имеющей датчик скорости, однако в системе появилось небольшое перерегулирование в пределах 1,2-1,5% по графику переходного процесса частоты вращения якоря двигателя, что видно из рисунка 2, на которой приведены переходные процессы.

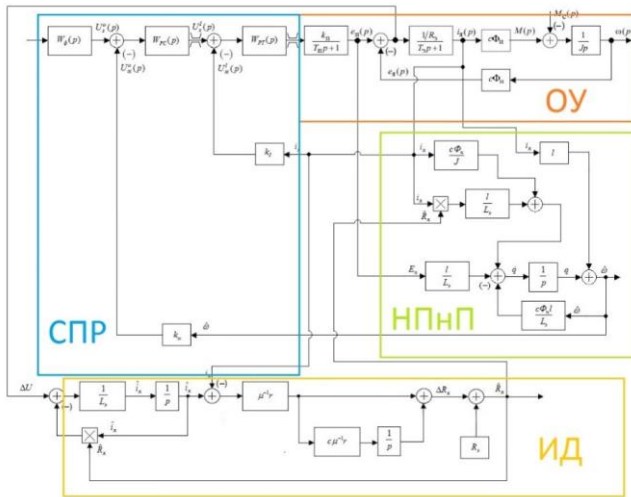


Рисунок 1 – структурная схема системы СПР-НПНП-ИД

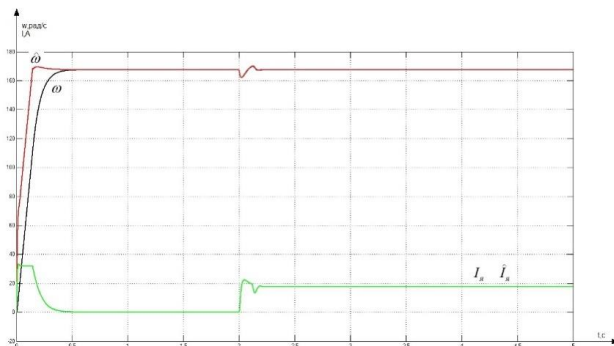


Рисунок 2 – Переходные процессы по току и скорости в системе СПР-НПНП-ИД

Области практического приложения бездатчиковых ЭП как постоянного, так и переменного тока, обширны и применяются традиционно в турбомеханизмах (насосы, вентиляторы, компрессоры), грузоподъемных и транспортных машинах, поскольку такие системы в должной мере удовлетворяют требованиям технологического процесса. В дальнейшем предполагается модернизация данного алгоритма под нужды векторного управления двигателем переменного тока. Например, потокосцепление в двигателях переменного тока в любых координатах не подлежит прямому измерению, также возможно отсутствие прямого измерения угла положения ротора и скорости вращения вала двигателя.

Необходимость уточнения математических моделей бездатчикового ЭП обусловлена существенными изменениями параметров схемы замещения в ходе работы машины, так активное сопротивление изменяется в ходе нагрева обмоток двигателя, а индуктивности схемы замещения меняются, при смещении рабочей точки на кривой намагничивания. Подобные вычисления требуют некоторой вычислительной мощности, однако современные вычислительные устройства обладают ей в полной мере.

Литература

1. Панкратов В. В. Автоматическое управление электроприводами: учеб. пособие / В. В. Панкратов. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2013. – Часть I. Регулирование координат электроприводов постоянного тока. – 200 с.

2. Панкратов В.В. Избранные разделы теории автоматического управления: учеб. пособие / В.В. Панкратов, О.В. Нос, Е.А. Зима. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2011 – 223 с.

АВТОМАТИЗАЦИЯ АППАРАТА ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ГАЗА НА КОМПРЕССОРНОЙ СТАНЦИИ

М.С. Межинских , С.В. Мятеж

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, axkiss@yandex.ru**

В статье рассмотрены способы управления аппаратом воздушного охлаждения(АВО). Предложена схема питания асинхронных короткозамкнутых двигателей с использованием одного преобразователя частоты. Разработан алгоритм программы управления двигателями АВО и регулирования температуры газа.

The ways of controlling the air-cooling unit (ACU) are considered in this article. There is also presented a feed network for squirrel-cage motor with the use of one frequency converter. The algorithm of the program for controlling the engines of ACU was developed.

В следствии подготовки газа на компрессорной станции, для дальнейшей транспортировки по магистральному трубопроводу, происходит его нагрев при компримировании. Объем газа при неизменном давлении по закону Гей-Люссака прямо пропорционален его температуре. Газ, имеющий минимальный объем, испытывает минимальное гидравлическое сопротивление при транспортировке по магистральному трубопроводу, соответственно затрачивается минимальное количество энергии на его перекачку. Для энергосбережения газ необходимо охлаждать при помощи аппарата воздушного охлаждения(АВО) газа.

На большинстве газовых промыслов применяется способ управления АВО газа, заключающийся в ручном или дистанционном включении-отключении вентиляторов, число которых определяется оператором. При таком регулировании мощность[1], потребляемая на охлаждение, изменяется пропорционально числу включенных вентиляторов, и, при прочих равных условиях, аналогично изменяется температурный перепад на установке охлаждения газа. Недостатками такого способа регулирования является, обусловленная дискретностью, низкая точность регулирования и большие длительные пусковые токи асинхронных короткозамкнутых двигателей

вентиляторов, вызванные переходным процессом пуска механизма с большим моментом инерции.

Для решения проблемы энергосбережения и поддержания требуемой температуры газа на выходе АВО целесообразно использовать автоматическую систему управление АВО с использованием частотного преобразователя(ПЧ)[2].

При таком способе регулирования температурный перепад изменяется пропорционально частоте вращения вентиляторов, как и для других механизмов с «вентиляторным» моментом, а мощность на валу, зависит от частоты вращения в третьей степени. Благодаря этому при работе АВО с неполной нагрузкой и, соответственно, снижении частоты вращения вентилятора достигается значительное уменьшение расхода электроэнергии на нужды охлаждения.

На рисунке 1 приведена схема питания двигателей АВО в упрощенном виде. Которая позволяет использовать всего один ЧП малой мощности рассчитанный на один двигатель, реализовать плавный пуск и частотное регулирования в широком диапазоне каждым двигателем. Всем этим управляет промышленный контроллер по авторскому алгоритму.

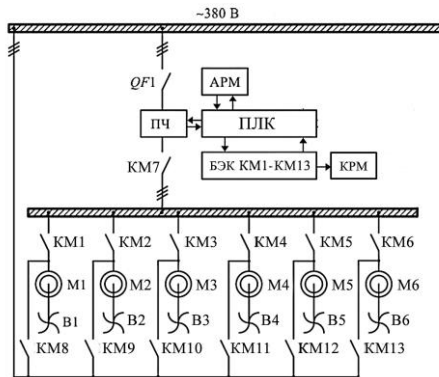


Рисунок 1 - Схема питания двигателей АВО в упрощенном виде

Принцип действия системы АВО состоит в следующем. Измеряется температура газа, окружающего воздуха и на основе этой информации системой определяется число вентиляторов, которые необходимы для первоначального запуска. Программируемый логический контроллер(ПЛК) для пуска вентилятора подключает электродвигатель выбранного вентилятора к сети через

преобразователь частоты(ПЧ). Осуществляется плавный пуск, достигается номинальная частота вращения и ПЛК при помощи блока электромагнитных контакторов(БЭК) переводит электродвигатель на сеть и переключает ПЧ на другой электродвигатель. Таким образом происходит плавный пуск выбранного количества вентиляторов при помощи одного ПЧ.

При поступление сигнала с датчика температуры на выходе, происходит сравнение с допустимым диапазоном. Если температура газа на выходе превышает верхний предел допустимого диапазона, то ПЛК с помощью БЭК подключает к сети через ПЧ еще электродвигатель следующего вентилятора, плавно увеличивая частоту до тех пор пока температура не войдет в допустимые диапазон. Если температура газа на выходе оказывается меньше допустимого нижнего значения диапазона, то ПЛК уменьшает частоту. При достижении минимальной частоты происходит отключение двигателя и ПЧ переключается на предыдущий двигатель и осуществляет его регулирование.

Алгоритм для реализации программы управления представлен на рисунке 2. Левая часть алгоритма отвечает за первоначальное последовательное включение N вентиляторов с помощью ПЧ, осуществляя тем самым плавный пуск. Правая часть управляет частотой вращения последнего подключённого вентилятора или осуществляет отключение-подключение дополнительных вентиляторов в зависимости от изменения температуры газа на выходе.

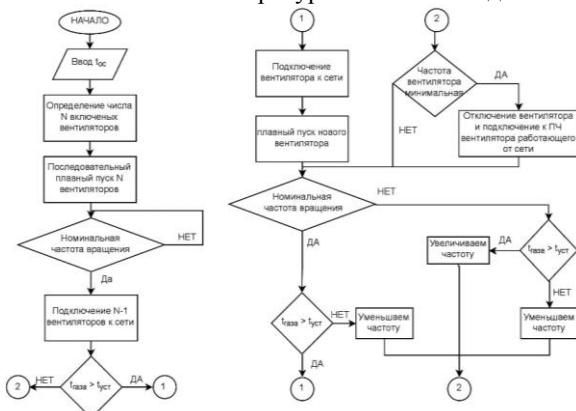


Рисунок 2 – Алгоритм работы автоматического управления АВО

При работе АВО по данному алгоритму управления обеспечивается точное регулирование температуры газа на выходе из аппарата, так же обеспечивается экономия электроэнергии на нужды охлаждения газа.

Постоянное использование частотного управления для одного вентилятора, т.е. в ходе регулирования всегда какой-нибудь привод вентилятора подключен через ПЧ, обеспечивает экономию приблизительно 40% от мощность одного асинхронного двигателя вентилятора.

Литература:

1. Артюхов, И.И. Ресурсосберегающая технология охлаждения газа на компрессорных станциях / И.И. Артюхов, И.И. Аршакян, Р.Ш. Тарисов, А.А. Тримбач, Е.В. Устинов // Вестник Саратовского Гос. технического ун-та. – 2011. – № 1 (54) вып. 3. – С.25 – 32.
2. Аршакян И.И. Повышение эффективности работы установок охлаждения газа / И.И. Аршакян, А.А. Тримбач // Газовая промышленность. 2006. № 12. С. 52 – 55.
3. Коршак А.Л. Компрессорные станции магистральных газопроводов: учебное пособие / А.А. Коршак. – Ростов н/Д: Феникс, 2016. – 157с.
4. Крюков Н.П. Аппараты воздушного охлаждения / Н.П. Крюков. – М.: Химия, 1983. – 165с.

ОСНОВНЫЕ ПОТЕРИ ВНУТРИ ИМПУЛЬСНОГО ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ С ШИМ

**И.Р. Миназетдинов, Ю.В. Панкрац
Новосибирский государственный технический университет
г. Новосибирск, gsclocking@gmail.com**

В работе выполнен анализ внутренних потерь импульсного источника питания, а также их влияние на работоспособность и эффективность работы импульсного источника питания.

The paper analyzes the loss state of a switch-mode power supply, as well as their impact on the performance and efficiency of a switch-mode power supply.

Для увеличения КПД импульсного источника питания, необходимо идентифицировать и измерить различные потери. Потери импульсного источника питания можно разделить на три категории[3]:

1. Потери переключения (динамические).
2. Потери на электропроводность.

3. Статические и резистивные потери.

Все эти потери обычно возникают в комбинации друг с другом.

Силовой ключ является одним из самых наиболее значимых источником потерь внутри импульсного источника питания.

Увеличение частоты переключения импульсного источника привело к проблеме, называемой *потери переключения*. Эти потери связаны с переходом ключа из одного состояния в другое. Соответственно, чем выше частота переключения, тем чаще ключ изменяет свое положение. Поэтому, эти потери пропорциональны частоте переключения.

Потери переключения происходят, когда ключ переходит в новое рабочее состояние.

При нахождении ключа в замкнутом состоянии после стабилизации колебаний управления и переключения, возникают *потери на электропроводность*. Мощность потерь вычисляются как произведение напряжения на контактах ключа и протекающего через него тока.

Для управления этими потерями чаще всего пытаются минимизировать падение напряжения на ключе в период его времени замыкания.

Потери переключения во время переходных процессов ключа более сложны как по своей природе, так и по своему вкладу. Колебания, демонстрирующие потери, можно увидеть только с помощью осциллографа с зондом напряжения, подключенным к контактам стока и истока (коллектора и эмиттера) и токовым зондом, измеряющим ток через сток. Метод определения величины потери в период всех переходных процессов при переключении должен быть тщательно исследован с помощью зондов с экранированными кабелями и короткими соединительными проводами.

Статические потери связаны со всеми функциями, необходимыми для работы схем питания. Сюда входят все цепи, связанные с микросхемой контроллера и любыми цепями обратной связи где-либо в источнике питания. Статические потери обычно невелики по сравнению с другими потерями, но их также можно проанализировать, чтобы внести какие-нибудь улучшения.

Резистивные потери связаны с сопротивлением обмоток трансформатора или индуктора. Существует две формы резистивных потерь:

- по постоянному току;
- скин-эффект.

Потери по постоянному току представляют собой произведение сопротивления некоторого отрезка провода в обмотке и квадрата значения RMS формы волны тока[3].

Скин-эффект – это эффективное увеличение сопротивления провода из-за «выталкивания» тока от центра провода к его поверхности под действием сильных магнитных полей переменного тока. Ток протекает по меньшей площади поперечного сечения, что выглядит как уменьшение диаметра провода.

У импульсного источника питания с ШИМ, разработанного без применения каких-либо мер по уменьшению потерь, КПД находится на уровне 70-75%. Для увеличения общего КПД устройства, можно использовать следующие методы.

Как было отмечено основные потери – это потери на электропроводность и потери переключения. Вопрос с потерями на электропроводность решается выбором лучшего ключа или выпрямителя с более низким напряжением проводимости. Используя синхронный выпрямитель можно снизить потери на электропроводность, но в только в прямоходовых топологиях. Синхронный выпрямитель увеличивает КПД на 1-6%, в зависимости от среднего рабочего цикла источника[3].

Литература:

1. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники: Пер. с англ. – Изд. шестое. М.:Мир, 2001. – 704 с., ил.
2. Маниктала С. Импульсные источники питания от А до Z: Пер.с англ – К.:«МК-Пресс», СПб.: «КОРОНА-ВЕК», 2014. – 256с.,ил.
3. Браун М. Источники питания. Расчет и конструирование.: Пер. с англ. – К.: «МК-Пресс», 2007. – 288 с., ил.

РАЗРАБОТКА ЦИФРОВОЙ СИСТЕМЫ СБОРА И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ С АНАЛОГОВЫХ ДАТЧИКОВ

А.Ю. Павлов, Д.А. Котин

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, tolikcorp95@gmail.com**

Предложен один из вариантов решения проблемы сбора и обработки данных с аналоговых датчиков и последующей записью на энергонезависимую карту памяти. Представлены графические результаты работы системы, выявлены достоинства и недостатки, а так же даны рекомендации по их устранению.

One of the solutions to the problem of data collection from analog sensors and the subsequent recording on a non-volatile memory card is proposed. The graphic results

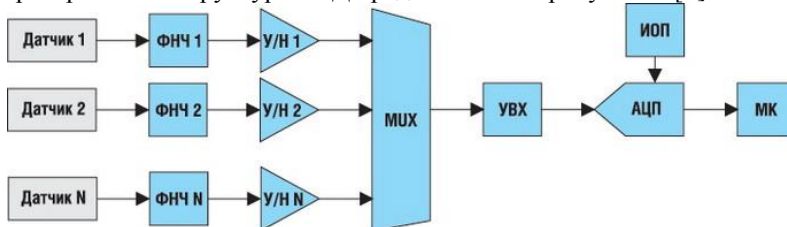
of the system are presented, the advantages and disadvantages are identified, and recommendations are given on how to correct them.

Постановка задачи исследования

Введение в системы сбора данных. В настоящее время наиболее распространены измерения электрических величин: силы тока, напряжения, электрического сопротивления, частоты тока и др. Даже те физические величины, которые сами по себе являются неэлектрическими (например, температура, давление, виброускорение и т.д.), очень часто преобразуются в измеряемые электрические величины.

Система сбора данных (ССД) — это набор аппаратных средств, осуществляющий выборку, преобразование, хранение и первоначальную обработку различных входных аналоговых сигналов. ССД является основным элементом многоканальных средств измерений, определяющим его технические характеристики.

В состав ССД могут входить фильтры нижних частот (ФНЧ), нормирующие усилители (НУ), аналоговый мультиплексор (MUX), устройство выборки и хранения (УВХ), аналого-цифровой преобразователь (АЦП) и микроконтроллер (МК). Некоторые типы ССД содержат программируемый усилитель после мультиплексора, что позволяет перестраивать диапазон измерений. Наиболее распространенная структура ССД представлена на рисунке 1. [1]



ФНЧ – фильтр нижних частот; У/Н – устройство усиления/нормирования сигнала; MUX – аналоговый мультиплексор; УВХ – устройство выборки/хранения; ИОН – источник опорного напряжения; АЦП – аналого-цифровой преобразователь; МК – микроконтроллер

Рисунок 1 – Структурная схема ССД

Важность и необходимость создания системы сбора данных.

При проведении испытаний и исследований в различных областях промышленности часто возникает задача сбора данных с различных видов аналоговых и цифровых датчиков. Это необходимо для того, чтобы быть уверенным в работоспособности исследуемого оборудования, либо для своевременного обнаружения неисправности при проведении стресс-тестов.

Цель создания ССД – современное и наглядное представление о характеристиках испытываемого оборудования.

Основная часть научно-исследовательской работы

Организация системы. Необходимые минимальные функции для получения качественной ССД:

- простота использования;
- гибкость и расширяемость;
- мобильность и прочность;
- долговременное хранение данных.

В качестве дополнения для получения универсального устройства необходимо учесть:

- программное обеспечение для просмотра получаемых данных в виде графиков «на лету»;
- программное обеспечение для составления отчетов.

Для решения поставленной задачи разработки системы сбора данных взята платформа Arduino. Это микропроцессорный конструктор для быстрой разработки электронных устройств. [2]

Программы для Arduino пишутся на языке C++, дополненным функциями для управления вводом/выводом на контактах.

DataAcquisitionSystemArduino (DASA) нацелена на создание простого в использовании устройства сбора данных для аналоговых датчиков с последующей записью показаний на карту памяти.

Комплект устройства DASA состоит из:

1. ArduinoNano – программируемый контроллер на базе ATMEGA328P;
2. Модуль SD карты;
3. Карта памяти microSD, объемом 4Гб.

В качестве источника питания будет выступать USB-интерфейс или блок питания 12В.

В проекте используется карта памяти. Кроме самих показаний датчиков, рационально записывать время съема этих показаний – этот процесс называется журналированием.

Перед микроконтроллером стоит задача считывания показаний на аналоговых входах и занесение их в файл-таблицу для дальнейшей обработки. Файл-таблица хранится на карте памяти, объема 4Гб достаточно для непрерывной записи данных в течение нескольких часов.

Модуль подключается к Arduino по SPI шине, это значит, что нужно соединить контакты в стандартном порядке:

Таблица 1 – Подключение модуля карт памяти к Arduino

Модуль MICRO-SD карт	GN D	VC C	CS	MO SI	MI SO	SC K
Arduino Nano	GN D	+5 V	4	11	12	13

Подключим тестовые датчики к аналоговым входам А0–А3. Датчики представляют из себя переменные сопротивления различных номиналов от 1 кОм до 220 кОм.

Включаем устройство, вращаем ручки потенциометров для моделирования поведения реальных датчиков. Через несколько секунд отключаем устройство, переносим данные на персональный компьютер для дальнейшей обработки данных.

На карте памяти хранятся файлы по шаблону «FILE_*.CSV», где * – порядковый номер запуска измерений. Например, если уже есть 6 файлов с измерениями – при следующем запуске устройства файл журналирования будет называться «FILE_7.CSV»

Несколько строк данных, снятых с датчиков:

675, 967, 284, 418, 797, 537, 423, 336, 266;

755, 1007, 284, 418, 798, 689, 583, 489, 403;

825, 1023, 284, 418, 798, 744, 671, 594, 516;

Обработка данных. Первый столбец данных – время, когда был произведен замер показаний датчиков. Последующие столбцы – данные с аналоговых входов А0-А7. Построим по файлу журналирования график. Обработка данных производится через программу MathCad. Заранее подготовленный файл MathCad необходимо запустить в одной папке с файлом журналирования. По оси абсцисс расположено время, в данном примере от 15 до 20 секунд, по оси ординат – напряжение от 0 до 5В, преобразованное АЦП в шаги 0–1023.

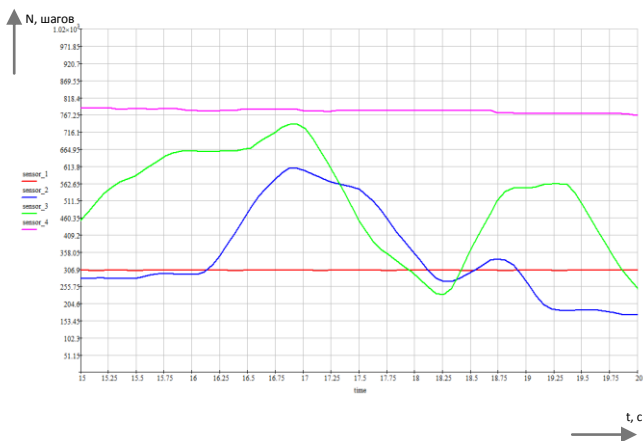


Рисунок 2 – График показаний датчиков 1–4

Этапы для улучшения ССД и устранения недостатков:

- увеличение частоты опроса датчиков (на данный момент максимальная частота опроса – 58Гц) посредством накопления данных во внутренней памяти микроконтроллера и периодической отправки их на карту памяти;

- программное обеспечение, позволяющее «на лету» наблюдать за показаниями с датчиков.

Заключение. Для решения поставленной задачи была разработана система сбора данных на платформе Arduino. Выявлены недостатки и определены направления для дальнейших работ по усовершенствованию устройства.

Литература:

1. Компэл [Электронный ресурс] / Компэл. – Режим доступа: <https://www.compel.ru/>. – Загл. с экрана.

2. Arduino, контроллер, электроника, плата, конструктор, электротехника, программирование [Электронный ресурс] / Arduino. – Режим доступа: <http://arduino.ru>. – Загл. с экрана.

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ БИОЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПРОТЕЗОМ КИСТИ РУКИ

С.С. Холдин, Д.А. Котин

Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, lol-tru@mail.ru

В докладе рассмотрен вопрос исследования системы управления биоэлектрическим протезом кисти руки. Описывается актуальность данной тематики, как с технической точки зрения, так и с точки зрения импортозамещения. Обсуждаются несколько способов реализации системы управления биоэлектрическим протезом кисти руки. Также проводится анализ предложенных способов, выявляются достоинства и недостатки. Описываются трудности, которые препятствуют широкой практической реализации предложенных подходов. Приведено обоснование выбора одного из методов реализации системы управления биоэлектрическим протезом. Представлены пути для непосредственной реализации самого метода. Сделаны выводы, подтверждающие практическую значимость и перспективность принятых решений.

The report addressed the issue of research management system of bioelectric prosthesis of the hand. The relevance of this subject is described, both from a technical point of view and from the point of view of import substitution. Several methods for implementing the management system of a bioelectric prosthetic hand are discussed. It also analyzes the proposed methods, identifies the advantages and disadvantages. It describes the difficulties that hinder the broad practical implementation of the proposed approaches. The rationale for choosing one of the methods for implementing a bioelectric prosthesis control system is presented. Presents ways for the direct implementation of the method itself. Conclusions are made confirming the practical significance and perspective of the decisions made.

На сегодняшний день, биоэлектроника в России развита достаточно слабо, в отличие от робототехники. Различие между биоэлектроникой и робототехникой заключается в том, что робототехника рассматривает практически полную автоматизацию технологического процесса или же дистанционное управление им при помощи дополнительных устройств. В то время как биоэлектроника является отраслью науки и техники, которая изучает принципы и методы обработки информации живыми организмами с целью создания высокопроизводительных, надежных и интеллектуализированных средств [1].

Так, например, биоэлектрический протез руки должен играть непосредственно роль руки человека. Он должен являться продолжением конечности. Это означает, что человек имеет полный контроль над процессом не дистанционно и не по заранее заданному алгоритму. За рубежом обозначенная тематика является более

популярной, в связи с этим в Россию производится импорт данного продукта. Все это приводит к тому, что подобный протез мало кто может себе позволить приобрести. Актуальность данной тематики подтверждается, как ростом научных публикаций в этой области, так и ростом травм за последние годы.

В докладе рассматривается несколько способов реализации системы управления биоэлектрическим протезом кисти руки, такие как:

- вживление медных контактов в нервные окончания;
- управление при помощи отслеживания активности коры головного мозга;
- прикрепление контактов устройства, измеряющего разность потенциалов, к не атрофированным мышцам руки.

В состоянии покоя между наружной и внутренней поверхностями мембраны клетки существует разность потенциалов, которая называется мембранным потенциалом (МП), или, если это клетка возбудимой ткани, – потенциалом покоя. Так как внутренняя сторона мембраны заряжена отрицательно по отношению к наружной, то, принимая потенциал наружного раствора за нуль, МП оказывается отрицательным. Его величина у разных клеток колеблется от -30 до -100 мВ[2]. В докладе будет рассмотрен каждый способ реализации системы управления биоэлектрическим протезом кисти руки, сделаны выводы о том, какой метод является наиболее целесообразным.

Литература:

1. Сент-Дьердьи, А. Биоэлектроника: исследование в области клеточной регуляции, защитных механизмов и рака, 1971. – 80с.
2. Netter F.H. Atlas of Human Anatomy, 2003. - 627s.

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ СКОРОСТНОГО ПАССАЖИРСКОГО ЛИФТА

М.Ю. Черненко, Е.С. Кучер
Новосибирский Государственный Технический Университет,
г. Новосибирск, chernenko_maria95@mail.ru

Статья посвящена актуальной на сегодняшний день проблемой, связанной с заменой лифтового оборудования и использованием в новом строительстве.

Значительная часть работы направлена на синтез системы управления электроприводом переменного тока для грузоподъемных механизмов с учетом требований. В данной работе представлена линеаризованная имитационная модель лебедки лифта, разработанная с учетом массы, кабины и противовеса. Особое внимание уделено выбору способа управления асинхронным двигателем.

The paper discusses the topical issue related to the lift equipment replacing and its wide using in a new housing development. The paper focuses on the synthesis of an induction motor drive control system for load-lifting mechanisms taking into account the specified requirements. The mathematical model of a passenger lift unit has been developed based on the weight of ropes, a lift car and a counterweight. The method for the induction motor control has been described in detail.

Темпы экономического роста в России, в последние десять лет, приводят к активному развитию жилищного строительства, росту этажности возводимых построек. В следствие с этим увеличивается востребованность скоростных лифтов, которые обеспечивают минимальное количество времени для поездки на последний этаж. Очень важными становятся максимальные комфортабельные условия для жильцов, а именно, низкий шум работы электродвигателя, ограничение рывков в момент движения кабины, минимальное время позиционирования кабины, надежность в работе, обеспечение безопасности, удобство и простота в эксплуатации и обслуживании.

Основной проблемой является уменьшение затрат на модернизацию, самокупаемость приобретённого оборудования за короткое время за счет использования технологий энергосбережения.

За последние десять лет наметилась отчетливая тенденция к оснащению скоростных лифтов и подъемников высотных зданий регулируемые электроприводами переменного тока.

Преимущества приводов переменного тока являются:

- работа на низкой скорости в режиме холостого хода;
- максимальная скорость работы с плавным разгоном и торможением;
- длительный срок службы.[1]

В настоящее время получил широкое распространение векторный способ управления электродвигателями переменного тока, который обеспечивает с помощью преобразователя частоты раздельное регулирование частоты вращения ротора и момента двигателя путем изменения амплитуды и фазы напряжения на зажимах обмотки статора двигателя. [2]

Целью работы является разработка имитационной модели лифтовой лебедки на базе асинхронного безредукторного двигателя.

Для выполнения работы нужно решить определенные задачи:

- построение математической модели электропривода (ЭП);

-добиться максимальной адекватности математической модели электропривода к реальному, заданному объекту, и функциональной схемы к оптимизированной математической модели.

В данной статье разработана математическая одномассовая модель скоростного лифта на базе асинхронного двигателя 4А160S6.

Опробация структурного синтеза имитационной модели лифтового оборудования проводится в программе MATLAB.

На рисунке 1 изображена структурная схема лифтовой установки, где учтена масса канатов, кабины и пассажиров. Выбран лифтовой механизм с параметрами: грузоподъемностью – 600 кг, массой кабины – 500кг, массой канатов - 200кг, для высоты подъёма – 75 метров, обслуживающий 30 этажей, $\eta = 0.85$, с максимально-допустимым ускорением 2 м/с^2 и с установившейся скоростью 2.5 м/с.

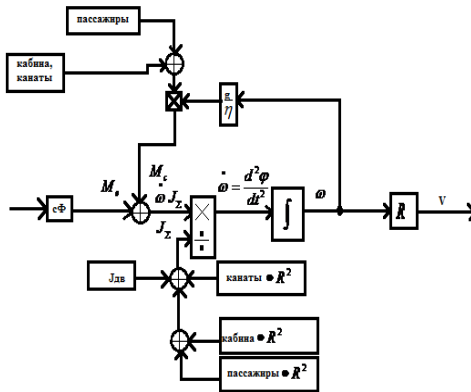


Рисунок 1 – Структурная схема лифтовой установки

В математической модели асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором, пренебрегаем влиянием нелинейности кривой намагничивания на характер электромагнитных переходных процессов, полагая что коэффициент L_m является постоянным или меняющимся достаточно медленно.

Полученная система уравнений представлена в следующей форме:

$$\begin{cases} L_{\sigma e} \dot{I}_s = -R_s I_s - \frac{L_m}{L_r} \dot{\psi}_r - \omega_k D(L_{\sigma e} I_s + \frac{L_m}{L_r} \psi_r) + U_s, \\ \dot{\psi}_r = \frac{L_m R_r}{L_r} I_s - (\omega_k - \omega_e) D \psi_r - \frac{R_1 94}{L_r} \psi_r \end{cases} \quad (1)$$

По системе управления (1) построена модель пассажирского лифта на базе асинхронного двигателя.

Полученный график переходного процесса скорости движения кабина лифта изображен на рисунке 2.

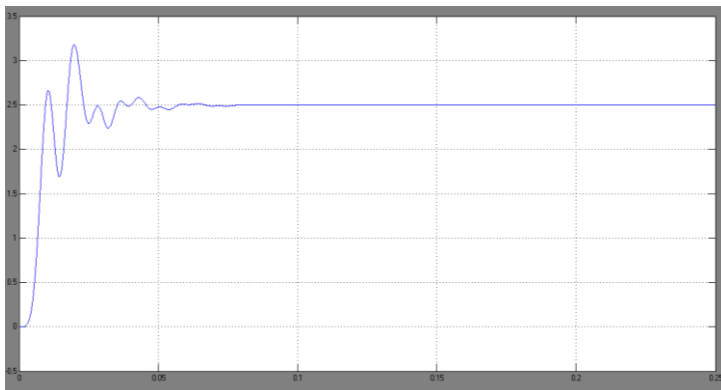


Рисунок 2 – График переходного процесса скорости движения кабины

Полученный график подтверждает работоспособность данной математической модели, с учетом массы кабины лифта, пассажиров и канатов. Для максимальной адекватности переходных процессов в дальнейшем целесообразно использовать систему управления для более плавного пуска и ограничения рывка.

С помощью разработанной математической модели можно оценить правильность измерений, как в структурном, так и в параметрическом синтезе, благодаря которым можно в дальнейшем применять в будущих механизмах.

Литература:

1. Башарин А.В., Новиков В.А., Соколовский Г.Г. Управление электроприводами: Учебное пособие для вузов. – Л.: Энергоиздат. Ленингр. отд-ние, 1982. – 392 с.
2. Панкратов В.В. Векторное управление асинхронными электроприводами: Учебное пособие. - Новосибирск, 1999 – 65 с.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ЛИНИЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ПЛАСТЫРЕЙ

**И. В. Чернов, И.С. Дымов, В.Н. Бутенко, М. Е. Мосин,
Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, mosinmisha1997@yandex.ru**

В последнее время в обществе распространяются тенденции к ведению здорового образа жизни, в частности, все больше и больше людей стремятся похудеть, привести свое тело в стройную, подтянутую форму. Современная фармакология разработала специальные пластыри, которые благодаря своим свойствам помогают людям похудеть. Для увеличения количества и качества производимой продукции нами ведется разработка автоматизированной линии производства пластырей для похудения. Данная установка позволит увеличить производительность труда рабочих, а также снизить человеческий фактор производства.

Recently in society tendencies to maintaining a healthy lifestyle extend, in particular, more and more people seek to lose weight, to bring the body to the harmonious, tightened form. Modern pharmacology has developed special patches that due to their properties help people lose weight. For increase in quantity and quality of the made production we develop the automated line of production of plasters for weight loss. This installation will increase the productivity of workers, as well as reduce the human factor of production.

Разрабатываемая установка состоит из нескольких функциональных узлов: резервуар с веществом, который представляет собой вязкую жидкость; система подачи жидкости на пленку; первичный охладитель; узел нанесения тканевой основы; вторичный охладитель; узел нарезки на отдельные пластыри.

Готовое изделие представляет собой пластырь на тканевой основе, защищенный от грязи и пыли со второй стороны пленкой, которая при использовании пластыря отклеивается.

На первом этапе производства специальное вещество, нагретое до температуры 38 °С, заливается в резервуар с помощью насоса. За регулирование уровня заполнения резервуара отвечает датчик, расположенный немного выше максимально допустимого уровня так, чтобы при приближении уровня жидкости к максимально допустимому датчик срабатывал, тем самым останавливая поступление вещества в резервуар. Датчик срабатывает в такое время, чтобы по окончании подачи вещества уровень заполнения был близок к максимальному, но не превышал его.

На втором этапе жидкость из резервуара через специальные каналы поступает на пленку. Каналы распределены таким образом, чтобы обеспечить максимально ровное распределение жидкости по

поверхности. Для того чтобы контролировать равномерность растекания жидкости, под пленкой устанавливаются фотоэлектрические датчики, которые будут сигнализировать о том, что есть участки, на которых недостаточно вещества, и нужно подать еще жидкости на пленку [1].

Далее пленка с нанесенным на нее веществом отправляется в охладитель. В качестве охладителя выступает вентиляционная установка, которая обдувает заготовку воздухом комнатной температуры, тем самым охлаждая ее. Охлаждение ведется до температуры 34 °С. О том, что нужно остановить нагрев сигнализируют датчики температуры.

На следующем этапе заготовка соединяется с тканевой основой. Устройство для соединения выполнено по принципу работы волков прокатных стана: два вращающихся волка установлены на таком расстоянии друг от друга, чтобы ткань плотно прижималась к пленке с веществом, но чтобы вещество не выдавливалось из заготовки [2]. На выходе получаем трехслойное изделие, состоящий из слоев пленки, вещества и ткани.

После склеивания заготовка отправляется на второй этап охлаждения, где охлаждается уже до температуры 25 °С с помощью вентиляторной установки. Контроль охлаждения осуществляет датчик температуры. При достижении температуры 25 °С датчик сигнализирует о том, что нужно отключить вентиляторы.

На последнем этапе происходит разрезание заготовки сначала на продольные полосы, потом эти полосы с помощью гильотины разрезаются поперечно, в итоге получаем готовый продукт.

Предполагается автоматизировать каждый отдельный участок установки, чтобы оператор мог контролировать выполнение каждого отдельного этапа производства. Для более удобной наладки, обслуживания и ремонта установки планируется сделать ее модульной.

На данный момент проект находится на стадии выбора привода вращающихся элементов, выбора наиболее подходящих датчиков для работы с вязкой жидкостью и разработки электрической схемы.

Так как человеческий фактор сильно влияет на показатели качества и количества продукции, установку планируется сделать полностью автоматизированной. Осуществить это можно путем сбора информации с датчиков поступающих в микроконтроллер. За счёт применения автоматизации в установке увеличится количество выпускаемой продукции в единицу времени, повысится качество за счёт чётко отлаженной системы, а также уменьшаться финансовые расходы на содержание персонала.

Литература:

1. Пушинов А.С., Харитонов А.А. Особенности растекания струи жидкости в слое решетчатой насадки. Энергосбережение и водоподготовка. 2011. № 6 (64). С. 50-53.
2. Целиков, А.И. Машины и агрегаты металлургических заводов. В 3-х томах. Т.3 Машины и агрегаты для производства и отделки проката: Учебник для вузов. 2-е изд., перераб. и доп./ А.И. Целиков, П.И. Полухин, В.М. Гребеник. – М.: Металлургия, 1988.

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО УСИЛИТЕЛЯ РУЛЯ С ЗАМКНУТЫМ КОНТУРОМ РЕГУЛИРОВАНИЯ МОМЕНТА

С.В.Щербаков, Б.М. Боченков
**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, sergey-shherbakov-1995@mail.ru**

В данной работе был предложен алгоритм формирования сигнала на выработку выходного момента редукторного ЭМУР, обеспечивающий высокую статическую и динамическую точность управления системой ЭМУР, а также приведены результаты моделирования и анализ динамических и статических свойств ЭМУР.

In this thesis was proposed the algorithm of formation of a signal for generation of output torque gear EPS that provides high static and dynamic accuracy of the control system EPS, as well as the results of modeling and analysis of dynamic and static properties of EPS.

Одним из основных устройств автомобиля, помогающих водителю в управлении и отвечающих за безопасность движения в целом является усилитель рулевого управления. В последнее время выбор производителей автомобилей чаще падает на электромеханический усилитель рулевого управления (ЭМУР), нежели на гидроусилитель. Многие производители уже выпускают редукторные ЭМУР, однако систему управления выполняют без обратной связи, т.е. момент на выходном валу не измеряется и не контролируется. Из-за этого возникает ряд проблем таких как:

- возникновение статических ошибок;
- возникновение низкочастотных пульсаций момента, обусловленных особенностями электрического двигателя;
- отсутствие «чувства дороги» у водителя из-за наличия сил трения редукторного механизма;

Для решения данных проблем была разработана система векторного управления ЭМУР. На рисунке 1 представлена обобщенная функциональная схема системы ЭП с векторным управлением.

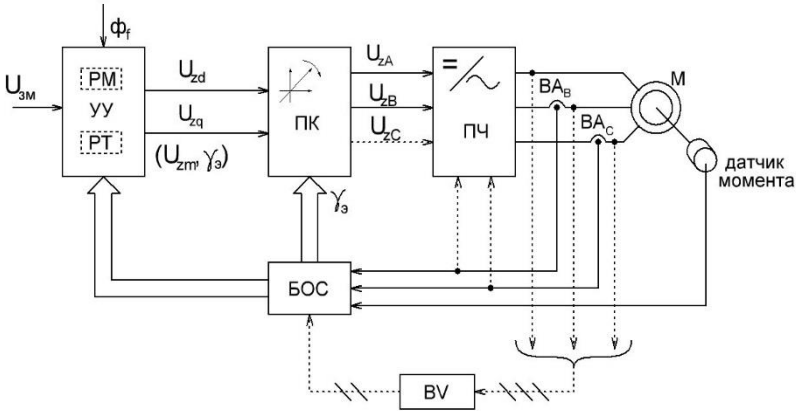


Рисунок 1 - Обобщенная функциональная схема системы ЭП с векторным управлением [1,2]

Анализ математической модели системы рулевого управления автомобилем с электромеханическим усилителем показал, что для обеспечения высокой динамической точности управления необходим алгоритм управления, позволяющий формировать момент на выходном валу ЭМУРа пропорциональный моменту, прилагаемому водителем к рулевому колесу во всем диапазоне рабочих частот, как при управляющем, так и при возмущающем воздействиях. На рисунке 2 представлена упрощенная структурная схема алгоритма.

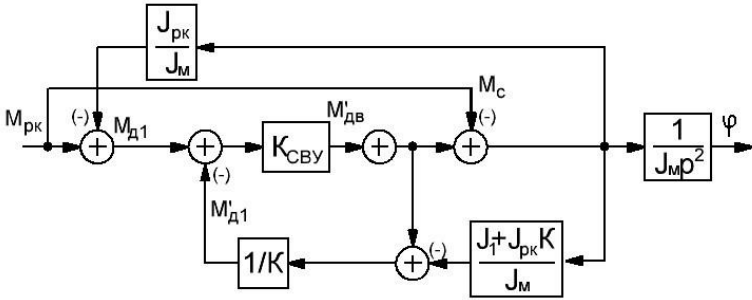


Рисунок 2 - Упрощенная структурная схема рулевого управления с редукторным ЭМУРОм [3]

На рисунке 3 представлены результаты моделирования в программе MATLAB.

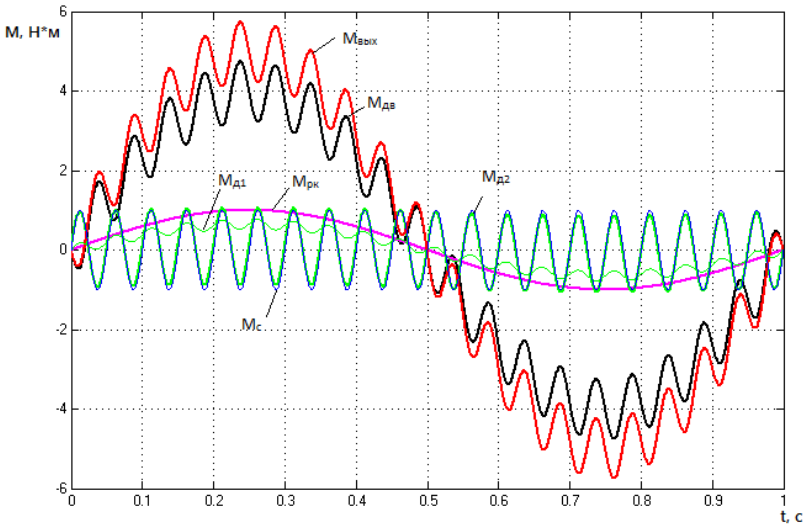


Рисунок 3 - Переходные процессы в системе при управляющем воздействии с частотой 1 Гц и при возмущающем воздействии с частотой 20 Гц.

Проанализировав рисунок 3 видно, что момент двигателя пропорционален разности двух гармонических сигналов управляющего и возмущающего. Данный режим наглядно показывает, что фактически пульсации со стороны дороги водитель будет ощущать руками, что приводит к улучшению контроля над дорожными ситуациями и повышению безопасности управления в целом.

Испытания алгоритма управления показали, что ЭМУР отвечает всем предъявленным к нему требованиям: во всем диапазоне регулирования обеспечивается статическая и динамическая точность как при управляющем так и при возмущающем воздействиях, выходной момент пропорционален во всем рабочем диапазоне частоты пропускания, режим «активного самовозврата» обеспечивается синтезированным алгоритмом без использования дополнительных датчиков положения рулевого колеса и скорости.

Литература:

1. Виноградов А.Б. Векторное управление электроприводами переменного тока / ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина».- Иваново, 2008.- 298 с.
2. Боченков Б.М. Бесконтактные двухзонные электроприводы с синхронными двигателями магнитоэлектрического возбуждения для металлорежущих станков: Диссертация канд. техн. наук: 05.09.03 / Боченков Борис Михайлович - Новосибирск, 1988 г. -177 с.
3. Динамика системы дорога – дорога – шина – автомобиль – водитель. Под ред. А.А. Хачатурова. М.: Машиностроение, 1976. – 535 с.

Секция ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ
И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТРАНСПОРТ

**ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ДЛЯ ПИТАНИЯ ДВИГАТЕЛЯ
ПОСТОЯННОГО ТОКА ЭЛЕКТРОБУСА**

В.И. Анибров, А.Д. Зимогляд, В.В. Бирюков
Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, anibrov.v@yandex.ru

В настоящее время остро стоит проблема загрязнения окружающей среды автотранспортом. Именно поэтому происходит активный переход от двигателей внутреннего сгорания к электродвигателям. Для исследования взят электробус с двигателем постоянного тока. Электрические автобусы - совсем молодая категория автотранспорта, которая только начинает свое развитие. Их появление вполне может изменить отрасль пассажирских перевозок. Прежде всего, это коснется скорости передвижения, поскольку уже существующие прототипы в несколько раз быстрее и мощнее любого из дизельных аналогов. Также, этот городской вид транспорта позволит существенно улучшить качество жизни в крупных мегаполисах, заменив старые и вредные автобусы прошлого.

Currently, there is an acute problem of environmental pollution by motor transport. That is why there is an active transition from internal combustion engines to electric motors. An electric bus with a DC motor was used for the study. Electric buses are a very young category of motor transport, which is just beginning its development. Their appearance may well change the passenger transportation industry. First of all, it will affect the speed of movement, since the already existing prototypes are several times faster and more powerful than any of the diesel analogues. Also, this urban mode of transport will significantly improve the quality of life in large metropolitan areas, replacing the old and harmful buses of the past.

Эксплуатация электрического транспорта в городских условиях характеризуется чередованием режимов разгона, выбега и торможения, преодоления спусков и подъемов, кратковременных стоянок (заторы, светофоры). В этих условиях он работает практически при постоянном изменении управляющего воздействия.

Для тягового привода электрического транспорта критерием оптимальности могут быть минимальные потери, так как таким образом увеличивается пробег подвижного состава в течение одного цикла разряда аккумуляторной батареи. Решающим критерием при выборе типа электропривода является наиболее полное использование энергии аккумуляторной батареи. Электрическое торможение с рекуперацией энергии в аккумуляторную батарею наиболее просто и эффективно

достигается в двигателях постоянного тока с независимым возбуждением.

Эффективность процесса рекуперативного торможения зависит от многих факторов: типа транспортного средства, электрического двигателя, аккумуляторных батарей (АБ). Общеизвестно, сложностью для электрического торможения на автономном транспорте по-прежнему остается ограничение по току зарядки АБ. Она просто не может быстро принять в себя всю ту энергию, которую способны произвести электродвигатели. Токи заряда и разряда определяются емкостью АБ. Принимается, что ток заряда не должен превышать 20-30% от емкости АБ. Если зарядный ток становится больше данного значения, это может привести к снижению срока службы аккумулятора. Схемное решение цепи питания тягового двигателя постоянного тока приведено на рис. 1. Оно включает в себя двигатель постоянного тока с независимым возбуждением, конденсатор, обратный диод и транзисторный ключ.

Наиболее простой метод регулирования скорости вращения двигателя постоянного тока основан на использовании широтно-импульсной модуляции (ШИМ). Суть этого метода заключается в том, что напряжение питания подается на двигатель в виде импульсов. При этом частота следования импульсов остается постоянной, а их длительность может меняться.

Основной частью широтно-импульсного преобразователя (ШИП) является полупроводниковый ключ. В современных преобразователях чаще применяют транзисторные ключи (Т). Принцип действия ШИП показан на рис. 2. Благодаря периодическому замыканию ключа Т на якорь двигателя подаются импульсы напряжения, и ток в якоре колеблется. Из сети потребляется импульсный ток.

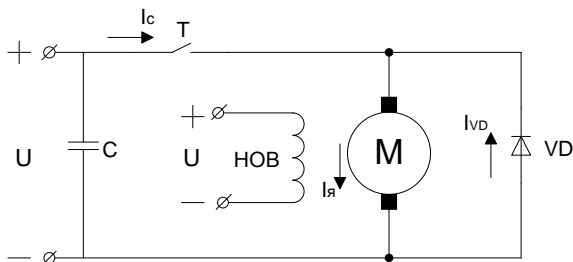


Рисунок 1 – Схема импульсного управления

М - двигатель постоянного тока;
НОВ - независимая обмотка возбуждения;

U- напряжение;
VD- обратный диод;
C - конденсатор;
T - транзисторный ключ.

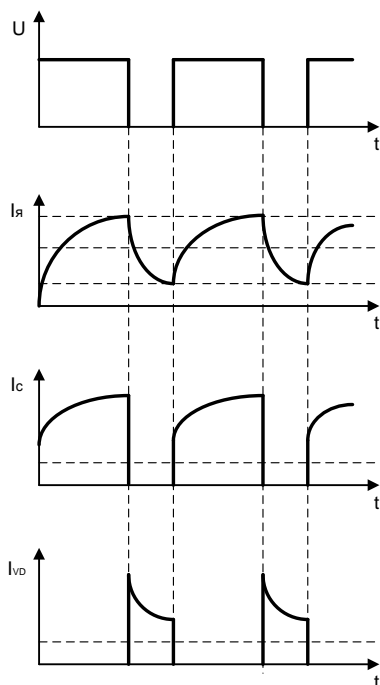


Рисунок 2 – Временные диаграммы напряжения и токов

В период, когда электронный ключ открыт, питающее напряжение полностью подается на двигатель, ток якоря увеличивается, двигатель развивает крутящий момент, частота вращения якоря двигателя при этом возрастает; когда электронный ключ закрыт, ток вследствие запаса электромагнитной энергии продолжает протекать в том же направлении, но через обратный диод. При этом он уменьшается, момент двигателя уменьшается, и угловая скорость вращения падает.

Широтно-импульсное регулирование, как известно, позволяет уменьшить массогабаритные показатели фильтрового устройства в электрической схеме силовых цепей по сравнению с другими способами регулирования (частотном и комбинированном). Как показали исследования, при использовании в качестве элементной базы

транзисторов его массогабаритные показатели практически не отличаются от преобразователя с частотным способом управления. Кроме того, использование транзисторных ключей позволяет относительно просто реализовать схемное решение токоограничивающего элемента для заряда аккумулятора в период рекуперативного торможения.

Вместе с тем, режим рекуперации на высоких оборотах не исключает необходимость дополнения схемы конденсатором. Дальнейшее исследование предполагает разработать методику расчета емкости такого конденсатора.

Литература:

1. Бирюков В.В. Импульсные системы управления транспортными средствами: учебник в 2 ч. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2018 – 212 с.
2. Вольдек А.И. Электрические машины. Введение в электромеханику. Машины постоянного тока и трансформаторы: учебник для вузов. – СПб.: Питер, 2008. – 320 с.
3. Борисов Ю.М. Электротехника: учебник для вузов. – СПб.: БХВ-Петербург, 2012 – 592 с.

К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИЛОВОЙ УСТАНОВКИ ЛЕГКИХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Д.А. Бахолдин, М.Б. Дединов, В.В. Бирюков
Новосибирский Государственный Технический Университет,
г. Новосибирск, baholdin@ngs.ru

В статье приводится оценка применимости электродвигателя в качестве основной силовой установки легкого самолета. Для этого выполнен расчет дальности полета самолетов, оснащенных электрической силовой установкой.

The article provides an assessment of the applicability of the electric motor as the main power plant of a light aircraft. For this purpose, the calculation of the flight range of the aircraft equipped with an electric power plant has been carried out.

На сегодняшний день в авиастроении все больший интерес вызывает применение электродвигателя в качестве основной силовой установки. Такая тенденция объясняется появлением современных конструкционных материалов, снижением стоимости постоянных неодимовых магнитов, совершенствованием элементной базы, а так же

неуклонным улучшением характеристик накопителей электрической энергии.

Для оценки перспектив применения электродвигателя с постоянными магнитами вместо традиционного для малой авиации бензинового ДВС необходимо провести сравнительный анализ данных силовых установок. С целью сравнения летных характеристик самолета с различными типами двигателя были проведены расчеты на примере нескольких существующих летательных аппаратов. Расчет проводился исходя из предположения неизменности массы летательного аппарата с различными типами двигателя, для этого из руководства по летной эксплуатации определялась масса бензиновой силовой установки и топливной системы. Данное допущение позволит сохранить исходные аэродинамические, прочностные и эксплуатационные характеристики летательного аппарата. Схема компоновки силовой установки и топливных баков, а также схема размещения электродвигателя и его элементов питания показаны на рис. 1

Для расчета энергетических показателей летательного аппарата весь процесс полета можно разбить на этапы: Взлет, Набор высоты, Горизонтальный полет, Снижение, Посадка.

Предполагается, что при использовании силовой установки на базе электродвигателя энергия будет расходоваться только на первых трех этапах, каждый из которых рассматривается в отдельности.

В результате расчета летных характеристик определяются требуемые мощности, диапазон скоростей, скороподъемность, дистанции и скорости взлёта и посадки. Приближенная количественная оценка этих показателей требует следующих исходных данных:

- Геометрические параметры и вес самолета;
- Мощность двигателя и зависимость тяги и КПД винта от скорости;
- Аэродинамические характеристики: зависимость коэффициента подъемной силы C_u от угла атаки и поляра $C_{y_a} = f(C_{\square}, \alpha)$.

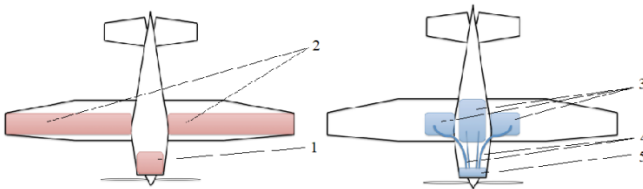


Рисунок 1 – Компоновки силовых установок в самолете:
1 – ДВС; 2 – топливные баки; 3 – источники питания электродвигателя;; 4 – силовые провода; 5 – электродвигатель

Предположение основано на задросселированности бензинового двигателя на данных режимах. Режим реверсирования тяги так же не учитывался.

Полученные значения используются для расчета времени работы двигателя с разной мощностью, что в свою очередь позволяет рассчитать расход энергии, дальность полета и удельное энергопотребление.

Для сравнения показателей на конкретном примере – самолете Аэропракт А-22 был выбран электрический привод, состоящий из электродвигателя с постоянными магнитами EMRAX 228 и накопителя энергии на основе литий-железо-фосфатного аккумулятора общей ёмкостью 28.8 кВтч.

Расчетная максимальная скорость при горизонтальном полете составила $V_{max}=165$ км/ч, что видно из рис.2.

Наивыгоднейшая скорость набора высоты, которая соответствует минимальному удельному энергопотреблению и максимальной скороподъемности $V_{наив}=95$ км/ч

Для оценки дальности полета с выбранной силовой установкой рассчитывался расход энергии на взлет и горизонтальный полет на высоте 1000 м.

Общее время работы двигателя на взлетном режиме, необходимое для взлета и подъема составило 266 с, что соответствует расходу энергии на уровне 4.1 кВтч.

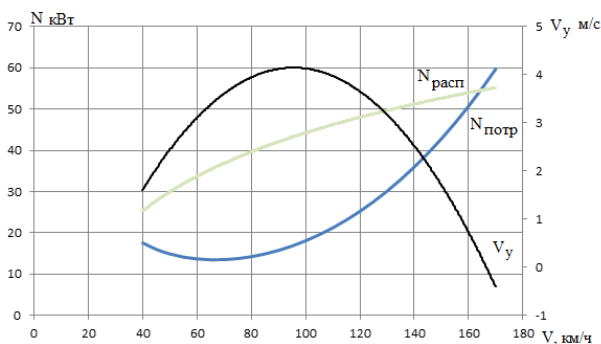


Рисунок 2 – Диаграмма потребных и располагаемых тяг самолета Аэропракт А-22

Из рис. 3 видно, что дальность полета напрямую зависит от выбранной скорости, максимальное значение может быть достигнуто

при максимальном аэродинамическом качестве и соответствует $N_{потр}=12.6$ кВт. При таком режиме максимальная дальность полета составит 193 км.

Анализ полученных результатов показал, что для двухместного сверхлегкого самолета Аэропракт А-22 оснащенного электродвигателем максимальная дальность полета составляет около 200км, что примерно в 2.5 раза меньше аналогичного значения для базового ДВС. Применение фотоэлементов позволит улучшить эти показатели. Заряд батарей будет пополняться за счет солнечной энергии, как во время полета, так и при стоянке на открытых площадках.

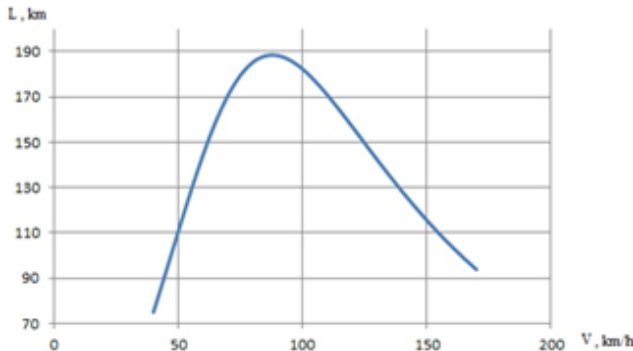


Рисунок 3 - График зависимости дальности полета от скорости

Подобная ремоторизация в большей степени применима для мотопланеров, обладающих превосходным аэродинамическим качеством и не требующих высокой мощности двигателя для поддержания горизонтального полета. Такой планер способен взлетать самостоятельно, без применения лебедки или самолета-буксировщика.

Литература:

1. Балакин В. Л., Лазарев Ю.Н. Динамика полета самолета. Расчет траекторий и летных характеристик - СГАУ, 2011– 56с.
2. Руководство для конструкторов летательных аппаратов самодеятельной постройки. Том 1.– РДК СЛА СибНИА им. С.А. Чаплыгина 1989–247с.
3. Саленко С. Д. Динамика полета. Ч. 2. Устойчивость и управляемость летательных аппаратов : учеб.пособие / С. Д. Саленко, А. Д. Обуховский. - Новосибирск : НГТУ, 2015. - 128 с.
4. Бирюков В.В. Тяговый электрический привод: учеб. пособие / В.В.Бирюков, Е.Г. Порсев. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2013, - 314 с.

5. Розенфельд, В.Е. Теория электрической тяги: Учебник для вузов ж.-д. трансп. / В.Е.Розенфельд, И.П.Исаев, Н.Н.Сидоров, М.И.Озеров; Под ред. И.П.Исаева–М.: Транспорт, 1995. – 297 с.
6. Бирюков В.В. Энергетические аспекты функционирования транспортных систем: монография / В.В. Бирюков. – Новосибирск: Изд-во НГТУ. 2014. – 264 с. (Серия «Монографии НГТУ»).
7. АЭРОПРАКТ-22LS Руководство по лётной эксплуатации. – 57с.
8. EMRAX User’s Manual for Advanced Axial Flux Synchronous Motors and Generators – 3с.

ЭЛЕКТРОБУСЫ – ПЕРСПЕКТИВА ГОРОДСКОГО ТРАНСПОРТА

А.К. Гелеверя, Г.И. Дьяченко
Новосибирский государственный технический университет
г. Новосибирск, geleverya97@mail.ru

В настоящее время, 60-70% загрязнений атмосферного воздуха, в городах и областных центрах, приходится на долю передвижных источников, в том числе и городского транспорта. Также транспортный поток формирует до 80% от уровня шумов. К факторам негативного экологического влияния следует отнести также пылеобразование, вибрацию, электромагнитное излучение, загрязнение при выбросах вредных веществ.

Currently, 60-70% of air pollution in cities and regional centers, accounted for mobile sources, including urban transport. Also, the traffic flow forms up to 80% of the noise level. The factors of negative environmental impact should also include dust formation, vibration, electromagnetic radiation, pollution from emissions of harmful substances.

На данный момент основные виды городского транспорта – это автобус и троллейбус. Они имеют как свои достоинства, так и недостатки. Основным недостатком автобуса является повышенный уровень загрязнения окружающей среды вредными веществами, представленными в таблице 1.

Таблица 1 – Содержание основных токсичных веществ в отработавших газах бензиновых двигателей и дизеля

Токсичные вещества	Бензиновые двигатели	Дизели
Оксид углерода	до 10,0	0,2
%		

Углеводороды, %	до 3,0	0,01
Окислы азота %	до 0,5	0,25
Альдегиды %	0,03	0,002
Сажа г/м ³	до 0,04	0,01 - 1,1
Бензапирен мкг / м	до 20	до 10
Двуокись серы %	0,008	0,03

Что касается троллейбуса, его основными недостатками [1] являются большое потребление электроэнергии, очень чувствителен к состоянию дорожного покрытия и контактной сети, при сложном рельефе плохо тянется в горы.

В настоящий момент, с развитием электротехнической промышленности и многообразными разработками в сфере тягового электропривода формируют виды новейшего электрического транспорта – электробусы.

Электробус или электрический автобус — это автономное безрельсовое механическое транспортное средство общего пользования, предназначено для перевозки по дорогам людей и движущееся по установленному маршруту, движимое с помощью тягового электропривода, электрическая энергия для которого запасается и хранится на борту в накопителе.

Современные электробусы обладают средней или большой вместимостью, по принципу конструирования и применяемому электрооборудованию они во многом похожи на троллейбусы.

Для работы электробус в качестве накопителя и одновременно источника электроэнергии , используется аккумуляторная батарея ёмкостью 44,2 кВт•ч, она располагается в нишах под кузовом, в заднем отсеке.

На данный момент , в качестве источника электроэнергии для электробусов предлагаются новые виды аккумуляторов - ионисторы (или так называемые суперконденсаторы). Например, литий-ионный аккумулятор (Li-ion) - тип электрического аккумулятора. Такой аккумулятор широко распространён в современной бытовой электронной технике и находит своё применение в качестве источника энергии в электромобилях и накопителях энергии в энергетических системах. Преимуществами являются высокая энергетическая плотность (ёмкость) и низкий саморазряд.

В движение электробус приводится тяговым двигателем [2] мощностью 150 кВт. Электробус может проехать в среднем 160 км на одной зарядке. На сегодняшний день существуют и более мощные

батареи, способные работать до 320 км. Для полной зарядки батареи потребуется от 2,5 до четырех часов.

Преимущества электрического транспорта очевидны:

- Экологичность – полное отсутствие вредных выбросов в атмосферу;
- Сниженный уровень шума - за счет наименьшего количества движимых частей и автоматических передач;
- За счет подзарядки аккумулятора в ночное время есть вероятность решения проблемы "энергетического пика";
- Небольшая пожароопасность и взрывоопасность при чрезвычайных ситуациях.

Также можно сказать о том, что современный электротранспорт, кроме очевидной экологичности имеет экономические преимущества. Исходя из сегодняшних цен на бензин, расходы на топливо/энергию у электробуса в 5,5 раз меньше чем у традиционного автобуса. Техническое обслуживание электрического автобуса дешевле, чем у аналогичного автобуса, потому что у электробуса отсутствует двигатель внутреннего сгорания, не нуждается в обслуживании, замены масла, фильтров. У электробуса первоначальная стоимость выше по сравнению с автобусом, но так, как у автобуса более низкие эксплуатационные расходы, срок их окупаемости сопоставим.

Литература:

- 1.Афанасьев А.С., Шевченко В.В. Контактные сети троллейбусов.– М.: Транспорт, 1987. – 300 с.
- 2.Электробусы [Электронный ресурс]. URL: <http://autoreview.ru/gruzoviki-i-avtobusy/elektrobusy> (дата обращения: 20.10.2018).

**АНАЛИЗ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ГИБРИДНОЙ СИЛОВОЙ
УСТАНОВКОЙ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА**

С.И. Дедов, А.А. Штанг

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, dedov_s.i@mail.ru**

В статье рассмотрена возможность применения различных интеллектуальных систем управления гибридной силовой установкой при движении транспорта в городской среде.

The article discusses possibility of using various intelligent control systems of hybrid power plant when vehicles are moving in urban environment.

В соответствии с EnergyInformationAdministration 2016, жидкое топливо остается доминирующим источником энергии в транспортном секторе [1]. Однако сегодня существует тренд, направленный на снижение потребления углеводородного топлива с применением полностью электрического и гибридного транспорта. Так, в 2018 г. общее количество проданных гибридных транспортных средств (ГТС) составило 864 тыс., а электромобилей – 174 тыс. (Таблица 1) [2].

Таблица 1 – Продажи электротранспорта в мире

	ГТС		Подзаряжаемы е ГТС		Электромобил и	
	Количество	Изменение	Количество	Процент	Количество	Процент
Япония	385,746	-2%	46,549	326%	83,627	119%
США	74,659	-10%	21,577	58%	26,224	18%
Китай	43,776	84%	10,188	36%	10,732	102%
Индия	40,287	58%	8,100	67%	10,000	39%
Великобритани я	22,337	8%	6,538	-23%	9,277	76%
Франция	21,597	11%	6,122	-5%	8,985	6%
Италия	20,338	31%	4,913	63%	4,159	-16%
Корея	18,018	28%	3,201	88%	4,017	128%
Испания	16,252	31%	3,056	366%	3,581	109%
Германия	13,342	12%	3,010	29%	2,549	61%
Общие продажи	732 тыс.		132 тыс.		174 тыс.	
По сравнению с 2017 г.	8%		98%		67%	

Гибридная силовая установка включает в себя два и более источника энергии. При движении ТС поток энергии постоянно меняет свое направление, и при этом имеет двунаправленный характер: в режиме тяги осуществляется потребление энергии из накопителя, заряжаемого от генератора; в режиме торможения накопитель подзаряжается как от первичного источника энергии (ПИЭ), так и от ТЭД, работающего в генераторном режиме. Возникает задача на определение необходимой мощности ПИЭ и энергоемкости накопителя. Решение заключается в нахождении минимальной энергоемкости накопителя при мощности ПИЭ, достаточной для обеспечения ТС энергией на перемещение и на собственные нужды с учетом его периодического отключения при

полном заряде накопителя. В таком случае необходимо осуществлять управление и регулирование потоком энергии от ПИЭ. Критерием управления является обеспечение минимального расхода топлива при сохранении динамики ГТС.

Определяют несколько типов оптимизационных алгоритмов. Первые используют жестко детерминированные законы управления. Контроллер системы управления получает данные о текущем уровне заряда накопителя, желаемой скорости, развиваемом моменте тягового двигателя, температуре отдельных элементов и т.д. Затем полученные данные интерпретируются в определенный режим работы установки и происходит управление тяговым электродвигателем. Функционально данную систему можно представить тремя блоками – датчиком требуемой мощности ТС, блоком управления потоком энергии и блоком управления ТЭД. Данная система отличается простотой и надежностью, однако не обеспечивает высокой топливной эффективности, т.к. основывается на ограниченном числе входных параметров [3].

Второй тип алгоритмов основывается на проведении расчетов в режиме реального времени и используют для управления эмпирические законы, либо законы нечеткой логики. В последнее время получили распространение интеллектуальные самообучающиеся системы на базе нейронных сетей. Использование стандартных ездовых циклов имеет существенный недостаток, заключающийся в невозможности точно спрогнозировать действия водителя ТС, и как следствие определить оптимальный алгоритм управления в режиме реального времени. Использование систем управления на базе нейронных сетей позволяет предсказать и оценить возможный режим работы, а затем задать оптимальные параметры ГЭУ с целью оптимизации расходов топлива. Недостатками данного подхода являются необходимость большого количества входных данных для обучения и значительные вычислительные мощности для прогноза.

Также возможно применение интеллектуальных транспортных систем (ИТС). Они позволяют собирать данные о текущем трафике в режиме реального времени для минимизации потребления энергии отдельного ТС. Полученные данные можно использовать для прогноза пропускной способности и затем оптимизации работы силовой установки. Также предполагается возможность формирования профиля скорости на основе данных, полученных от датчика измерения текущего трафика и алгоритмов прогнозирования [2]. Процесс оптимизации включает в себя изменение цикла вождения путем уменьшения частых воздействий пусков и подтормаживаний, затем сгенерированный оптимальный цикл передается в систему управления питанием гибрида.

Заключение. Для оптимизации режимов работы ГЭУ рационально использовать совместно нейросетевой регулятор для точного прогноза на короткий промежуток времени, и ИТС – для прогноза более длительного периода.

Литература:

1. Annual Energy Outlook 2016 with projections to 2040 [Электронныйресурс] URL: [https://www.eia.gov/outlooks/aeo/pdf/0383\(2016\).pdf](https://www.eia.gov/outlooks/aeo/pdf/0383(2016).pdf) (датаобращения: 28.10.2018).
2. Global sales of AFVs surpassed the million mark during Q1 2018 [Электронныйресурс] URL: <https://www.jato.com/global-sales-afvs-surpassed-million-mark-q1-2018/> (датаобращения: 28.10.2018).
3. Bayindir, K. A comprehensive overview of hybrid electric vehicle: Powertrain configurations, powertrain control techniques and electronic control units / K. Bayindir, M. Gozukucuk, A. Teke // Energy conversion and Management. – Vol. 52 (2011). – P. 1305-1313.

ЗАРЯДНЫЕ УСТРОЙСТВА ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ

И.В. Дубинина, С.В. Мятаж

**Новосибирский государственный технический университет
г. Новосибирск, ira.irina-du2011@yandex.ru**

В данной статье рассмотрены способы заряда электромобиля, виды зарядных устройств, время подзарядки и запас хода. Также затронута основная источник питания - аккумуляторные батареи.

This article discusses how to charge an electric vehicle, types of chargers, charging time and power reserve. Also affected the main power source - batteries.

Ухудшение экологической обстановки городов, существенное повышение дефицита топливных ресурсов являются одними из наиболее актуальных и сложных проблем современного мира. Одним из направлений решения данных проблем является использование транспорта на электротяге, положительная динамика которого наблюдается ежегодно. Высокое влияние на рост объема рынка электромобилей оказывает активность развития сети зарядных станций для электромобилей.[1]

Требования, предъявляемые к зарядному устройству, следующие:

- питающая сеть - бытовая, 220 В;
- мощность (исходя из возможности сети) 1 кВт;

-в целях универсальности необходимо обеспечить работу с работу с различными аккумуляторными батареями 12, 24, 36, 48, 60 В.

-возможность регулирования тока заряда от 10 до 20 А.

-вес и габариты должны быть минимальными;

-степень защиты как для бытовых и автомобильных устройств.[2]

Для зарядки аккумуляторных батарей электромобилей используется переменный (однофазный или трехфазный) и постоянный ток. Сеть переменного тока общедоступна, но для подзарядки необходимо его выпрямить и понизить напряжение до напряжения бортовой сети электромобиля. Выпрямительные устройства громоздки, нагреваются при работе, требуя дополнительного охлаждения. Поэтому их мощность приходится ограничивать. Малая мощность таких зарядных устройств существенно увеличивает время зарядки. Зарядка мощным постоянным током позволяет зарядить батареи намного быстрее, но требует создания сети специальных зарядных станций.

На электромобиль в базовой комплектации устанавливается батарея емкостью 42 кВт·ч, которая обеспечивает запас хода в 250 км. За доплату можно заказать более «продвинутой» батарею емкостью 70 кВт·ч, на которой можно проехать 480 км (больше, чем на модели Roadster). Полный заряд от обычной электросети занимает четыре часа, экспресс-заряд – всего лишь 45 минут.

Существуют стандартные электронные устройства для заряда электромобилей, регулируемые МЭК (Международная электротехническая комиссия). На сегодняшний день IEC 62196 выступает одним из основных международных стандартов. Он определяет главные характеристики, включая виды соединителей (штепсельные вилки, сетевые розетки, входы питания электромобиля), режимы подзарядки током, настройки подключения и требования соблюдения норм и правил безопасности.

В качестве основного источника питания в электромобиле служат литий-ионные, литий-полимерные и литий-железо фосфатные аккумуляторные батареи (далее АКБ).

Фактически только они являются наиболее подходящими для электромобилей. Обусловлено это совокупностью следующих параметров: низкий саморазряд, широкий диапазон рабочих температур, способность быстрой зарядки 90-95 % за 30-40 минут, высокий показатель ресурса - свыше 1000 циклов разряда/заряда и наибольшая плотность энергии из всех разновидностей АКБ - как объемная, так и весовая. Однако существуют и отрицательные стороны литий-ионных АКБ:

высокая стоимость, подверженность быстрому старению (деградация), чувствительность к перезарядкам и переразрядам, падение емкости при низких температурах и опасность взрыва.

На сегодняшний день автопроизводители испытывают различные методы, применяют различные технологии для увеличения запаса хода электромобиля. Расстояние, которое может преодолеть современный электромобиль без подзарядки батареи, достигает 250 км.

Важным параметром при эксплуатации электромобилей является температура. При низких температурах возрастает вязкость электролита и увеличивается его электрическое сопротивление прохождению электрического тока, как следствие, АКБ теряет возможность отдавать или воспринимать энергию. При повышенной температуре внутри АКБ происходят процессы «термического разгона» ячеек, газовыделения, которые приводят к повышению давления, разгерметизации и выходу из строя ячеек с возможным воспламенением.[3]

Используемые сегодня АКБ в электромобилях охлаждаются с помощью воздуха, жидкости или не охлаждаются вовсе. Тот или иной способ охлаждения, для улучшения процессов теплоотвода и теплопередачи, требует размещения блоков аккумуляторов на расстоянии друг от друга. Вода и другие жидкости считаются хорошим рабочим телом для охлаждения АКБ, и современные компании, разрабатывающие электромобили, используют для охлаждения АКБ жидкости-антифризы. Известно, что жидкостное охлаждение эффективнее воздушного, однако такая система сложнее - требуется бак для хранения жидкости, насос, теплообменник, датчики и прочее. Также в периоды морозов необходима система подогрева АКБ.

В заключении можно сделать вывод, что с ростом рынка электромобилей активно развивается и зарядная инфраструктура. Поэтому возникает потребность в разработке системы, позволяющей моделировать распределение сети электрических зарядных станций(ЭЗС). Альтернативой ЭЗС могут послужить системы индукционной зарядки, но они пока дорогие.

Литература:

1. Кошуляева Н.В., Патронова Н.Н. Теория массового обслуживания (практикум по решению задач)/САФУ им. М.В.Ломоносова. – Архангельск; САФУ, 2013 – 107 с.
2. Акимов С.В. Электрооборудование автомобилей: учебник для вузов / С.В. Акимов, Ю.П. Чижков. - М. : ЗАО КЖИ «За рулем», 2001. – 384с.
3. Ставров О.А. Электромобили. – М.: Транспорт, 1968. – 104с.

НАКОПИТЕЛИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ТЯГОВЫХ СЕТЯХ ГОРОДСКОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТА

А.Д. Зимоглад, В.И. Аниброев, Е.А. Спиридонов
Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, zimoglyad_97@mail.ru

Применение накопителей электрической энергии в электрическом транспорте повышает энергоэффективность тяговой сети, выравнивание графиков нагрузки. Представлен краткий обзор основных типов накопителей энергии, применимых в тяговых сетях электрического транспорта.

The use of electrical energy storage devices in electric transport increases the energy efficiency of the traction network, the alignment of the load graphs of the traction network. The report provides a brief overview of the main types of energy storage devices applicable to traction network systems of electric transport.

Одной из основных задач, требующих решения, является повышение эффективности рекуперативного торможения, что может быть достигнуто обеспечением приема энергии рекуперации. Одним из возможных решений является размещение накопителя электрической энергии в системе тягового электроснабжения. Применение накопителей электрической энергии в тяговых сетях городского электрического транспорта улучшает экономические показатели и режимы функционирования тяговой сети. В последнее время для накопления энергии стали все шире применяться новые типы накопителей – электрохимические аккумуляторные батареи, кинетические накопители, суперконденсаторы. Высокая стоимость накопителей, которая с каждым годом снижается, компенсируется повышением эффективности рекуперации энергии и общим снижением расхода энергии на совершение транспортной работы.

Накопительные устройства для аккумуляирования энергии электрического торможения должны удовлетворять следующим требованиям:

- Иметь высокий уровень удельной энергии. Как показали исследования [2], средняя величина энергии одного акта торможения, характерная для троллейбуса, составляет 0,75 – 1,5МДж;
- Обладать высокой удельной мощностью, достаточной для аккумуляирования тормозной энергии за достаточно короткое время (время торможения 5 –7 сек.);
- Работать без существенного ухудшения эксплуатационных характеристик в широком диапазоне температур, особенно при низких температурах.

•Выдерживать большое количество зарядно-разрядных циклов. В процессе движения по городским улицам, транспортная единица может совершать несколько подтормаживаний и повторных пусков. Кроме того, этот параметр во многом определяет экономический эффект от внедрения накопительных устройств, т.к. замена отработавшего накопителя требует привлечения дополнительных финансовых средств;

Кроме перечисленных требований накопитель энергии должен иметь высокий КПД и минимальную стоимость, что определяет эффективность его использования.

При размещении накопителя энергии в системе электроснабжения (тяговые подстанции, зоны между подстанциями, остановочные пункты) решаются две важные проблемы: приём избыточной энергии рекуперации и выравнивание нагрузок на выпрямительных агрегатах. Обычно, при электрическом торможении энергия рекуперации преобразуется на тормозных реостатах, однако для повышение энергетической эффективности ее необходимо направить на заряд накопителя. Работа системы электроснабжения городского электротранспорта в особенности характеризуется большой неравномерностью электрических нагрузок. Эта неравномерность вызвана постоянно меняющимся значением потребляемого электротранспортом тока и зависит главным образом от режимов движения электротранспортного средства. Переменная нагрузка приводит к повышению потерь электроэнергии в элементах системы электроснабжения. К стационарному накопителю энергии, устанавливаемому в системе электроснабжения, не предъявляется жёстких требований по массогабаритным показателям.

Основные типы накопителей энергии:

1. Электрохимические аккумуляторы

Электрохимические аккумуляторы используются, если требуется запастись достаточно много энергии. Электрохимические аккумуляторы подразделяются на тяговые и стартовые. Тяговые используются в электротранспорте, источниках бесперебойного питания, для таких аккумуляторов характерны длительный равномерный разряд и большая его глубина. Стартовые аккумуляторы могут выдать большой ток в короткий промежуток времени, но глубокий разряд для них недопустим. Электрохимические аккумуляторы имеют ограниченное количество циклов заряда-разряда, в среднем от 500 до 2000. Электрохимические аккумуляторы чувствительны к температуре, требуют длительного времени заряда Этот вид накопителя также имеет строго ограниченную скорость разряда или выходную мощность, превышение которой может повредить аккумулятор. Это значение

может составлять 10–25% от общей емкости аккумулятора [3], в зависимости от типа, что значительно ограничивает применимость аккумуляторных батарей в приложениях большой мощности.

2. Кинетические накопители энергии (Маховики)

Запас кинетической энергии сосредоточен во вращающемся маховике. Имеется возможность в короткий промежуток времени производить прием или отдачу значительной мощности. Время хранения энергии невелико, и для большинства конструкций ограничено несколькими часами. Маховики очень чувствительны к вибрациям, следовательно, применение в городе нецелесообразно. Чтобы разогнать маховик, требуется постоянная, невысокая скорость вращения. Кинетические накопители энергии являются технически сложными и дорогостоящими устройствами, что, при существующих ценах на энергоносители, делает их экономически неэффективными в системе городской электрической тяги.

3. Емкостные накопители энергии (Суперконденсаторы)

Это массовый вид накопителей энергии. Суперконденсаторы способны работать при температуре от -50 до +65 градусов. Количество циклов накопления-отдачи энергии может достигать миллионы раз. Соединяя несколько конденсаторов параллельно, можно получить емкость необходимой величины. Хранение запасаемой энергии исчисляется минутами или часами, в некоторых случаях может доходить до нескольких дней. Главное преимущество данного накопителя состоит в том, что заряжаться он может за считанные секунды. Суперконденсатор устойчив к вибрациям и ударным нагрузкам

В настоящее время, в лабораторных условиях, уже разработаны графеновые суперконденсаторы, показатели удельной энергии которых могут достигать до 60 Вт*ч/кг. Изобретатели надеются на короткий путь от лаборатории к массовому производству, так как это коммерчески перспективно.

В работе рассмотрены различные системы хранения энергии. Полагаясь на уже имеющиеся лабораторные разработки в области накопителей энергии, можно сделать вывод о том, что суперконденсаторы - наиболее перспективный вариант накопителя энергии, применимый для тяговых сетей. Они имеют явное преимущество, по сравнению с другими накопителями, в количестве циклов заряда-разряда. Емкостные накопители энергии в техническом и технологическом плане значительно проще кинетических. Но они имеют существенно меньшие показатели удельной запасаемой энергии по сравнению с ними [4], что приводит к необходимости установки

нескольких последовательно-параллельных цепей. Подобные меры приводят к значительному удорожанию конструкции накопителя.

Литература:

1. *Спиридонов Е.А.* Повышение эффективности использования энергии в электротранспортных комплексах с накопительными устройствами: дис. ... канд. техн. наук: 05.09.03. – Новосибирск, 2010.
2. *Smith S.C., Sen P.K., Kroposki B.* Advancement of energy storage devices and applications in electrical power system // IEEE Power and Energy Society General Meeting: Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century. Pittsburgh, USA, 2008. Art. N 4596436.
3. Определение параметров накопительного устройства для электротранспортного комплекса [Текст] / Н. И. Щуров, А. А. Штанг, Е. А. Спиридонов [и др.] // Электричество. – 2007. – № 6. – С. 53–56.
4. *Шевлюгин М. В.* Проблемы использования накопителей энергии в системах тягового электроснабжения [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.09 / М. В. Шевлюгин. – М., 2000. – 24 с.

РАЗРАБОТКА ОТКРЫТОГО КОМПЛЕКТА ДЛЯ КОНВЕРСИИ ЭЛЕКТРОВЕЛОСИПЕДА

Д.В. Кан, В.Н. Бориков

**Национальный исследовательский Томский политехнический
университет, г. Томск, dikey95@bk.ru**

В работе описан процесс разработки и 3D моделирования открытого комплекта электромеханического оборудования для перевода велосипеда на электротягу.

The work describes the process of development and 3D modeling of electromechanical set of equipment for conversion bicycle into e-bike.

В настоящее время очень популярна тема, связанная с электротранспортом – электромобили, электроскутеры, электровелосипеды, электросамокаты и т.п. Это обусловлено более высокой производительностью и экологичностью данного класса транспорта по сравнению с транспортом, приводимом в движение с помощью двигателей внутреннего сгорания. В связи с развитием более совершенных аккумуляторов, а также повышением их доступности запас хода электротранспорта увеличился примерно до 100 км с одной зарядки, что является достаточным для большинства городских жителей.

Цель работы – разработать и изготовить собственный комплект оборудования для электрификации привода велосипеда. Данный проект в будущем планируется распространять по принципу Open-sourceHardware – он будет распространяться в открытом доступе бесплатно и может подвергаться модификациям и улучшениям с помощью сообщества заинтересованных пользователей. Планируется систему сделать масштабируемой по модульному принципу для наращивания мощности электровелосипеда по мере необходимости, что позволит уменьшить стоимость последующего улучшения. Достаточно будет лишь добавить модули в уже существующую систему (Рисунок 1). Это позволит более эффективно планировать бюджет во время постройки проекта.

Характеристики проектируемого устройства:

- Скорость – не менее 30 км/ч
- Грузоподъемность – не менее 150 кг
- Запас хода – не менее 50 км
- Режимы работы – Постоянный, вспомогательный
- Пыле- и влагозащита
- Наличие световых приборов

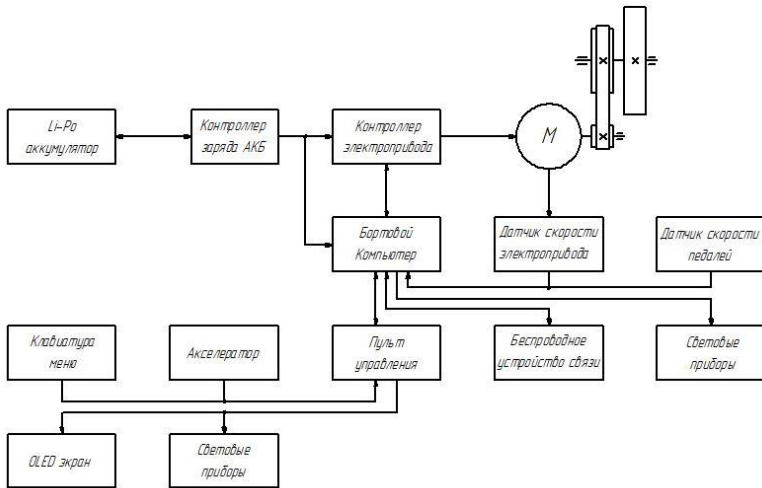


Рисунок 1 – Общая структурная схема проекта

Отличительной особенностью проекта является использование в качестве основы для электровелосипеда BMX – легкого трюкового типа велосипедов с малыми габаритами и диаметром колёс 20 дюймов (50 см). Малые габариты повышают требования к компактности

оборудования, а также использование специализированных деталей узлов не позволяют использовать серийные заводские решения конверсии для велосипедов. Выбор в качестве основной платформы в будущем не повлияет на применяемость проекта для широкого спектра видов велосипедов. Немаловажным фактором является эстетическая составляющая, заключающаяся в принципах минимализма и простоты, а соответственно, и надежности механизмов и конструкции. Также благодаря модульной архитектуре при модификации конструкции возможно использование данного оборудования для других типов лёгкого транспорта.

ТЯГОВЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ПРИВОД КАРЬЕРНЫХ САМОСВАЛОВ

Д.Ю. Капицкий, С.И. Довбань, В.В. Бирюков
**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, sweetdreams2574@yandex.ru**

В этой статье анализируется эффективность и целесообразность использования тягового электропривода переменного тока по сравнению с двигателями постоянного тока.

In this article analyzes the efficiency and feasibility of using an AC traction motor compared to DC motors.

Значительное развитие тягового электротранспорта дало толчок в сфере электромашиностроения, связанной с производством мощных тяговых электродвигателей. Создание тяговых электродвигателей постоянного тока 300–700 кВт повысило возможность транспортировки грузов с помощью карьерных самосвалов до 90–220 тонн. Сейчас такие самосвалы с электромеханической трансмиссией используются в перевозках более половины объемов всей горной массы добываемой на предприятиях СНГ, в том числе и в карьерах, где работа техники включающей в себя гидромеханическую трансмиссию является нерентабельной с экономической и технической точки зрения.

В связи с рядом причин, таких как: нарушение компоновочного баланса из за массогабаритных показателей, снижением надежности работы коллектора при больших рабочих токах и увеличением цены производства двигателя непропорционально повышению его мощности привлек внимание нецелесообразность использования электродвигателей постоянного тока особо большой мощности 1000 кВт на карьерных самосвалах более 250 тонн.

Но совершенствование микропроцессорных систем управления а также силовых полупроводниковых приборов позволяет решить задачу, которая раньше казалась неразрешимой - разработать такой тяговый привод особо большой мощности, который будет конкурентен в цене, а также не будет уступать приводу постоянного тока по тяговым характеристикам и обладать большими перспективами в плане совершенствования алгоритмов управления.

Почему эффективно использовать привод, работающий на переменном токе? В первую очередь это возможность использования бесколлекторного тягового электродвигателя. Но выбрать лучший из перечня известных представляет собой непростую задачу. Индукторный, синхронный, асинхронный, вентильный - вот далеко не весь список возможных вариантов, из которых надо выбрать оптимальный в ценовом и техническом диапазоне. Все они имеют плюсы и минусы.

Разберем асинхронный двигатель поближе.

Электродвигатель асинхронный – прост в конструкции, а значит – имеет высокий уровень надежности, однако также он имеет особенность - проблему формирования, в зоне малых частот вращения, желаемой тяговой характеристики. Двигатель синхронный, однако, решает эту проблему, но отказаться от использования от скользящего контакта, не увеличивая массы и габаритов электродвигателя, нельзя. У электродвигателя асинхронного скользящий контакт отсутствует, аналогично коллекторному двигателю, отсюда делаем вывод, что он надежнее и нуждается в меньшем обслуживании. Помимо этого, асинхронный двигатель может пускаться «прямым пуском» от сети переменного тока, то есть его можно запитать коммутатором «на сеть», в итоге двигатель запустится, но с пусковым током большим (5-7 кратным, однако допустимым).

В отличие от ДПТ, асинхронные привода также возможно изготавливать намного большей мощности – десятки мегаватт, опять же из-за отсутствия коллектора. Нужно учитывать также ,что асинхронный двигатель простой и дешевый.

Уже сейчас тяговый электропривод переменного тока эксплуатируется на сотнях карьерных самосвалов в мире. Он доказывает свою результативность и экономическую обоснованность на самосвалах большой грузоподъемности (более 250 тонн). Возьмем в расчет, направление уменьшения цены силовых полупроводниковых приборов, а также конденсаторов, образующих основную цену на инвертор, применение силовых систем переменного тока в самосвалах грузоподъемности поменьше - реальное будущее. Процедура введения

электроприводов переменного тока с микропроцессорными системами управления – значит повышение производительности и увеличение коэффициента технической готовности, а также рост безопасности работы и эргономичности и интеллектуальности управления.

Литература:

1. Ефремов И.С., Пролыгин А.П. Теория и расчет тягового привода электромобилей. - М.: Высш. Школа, 2004. - 383 с.
2. Вольдек А.И., Попов В.В. Электрические машины. Машины переменного тока: Учебник для вузов. - СПб.: Питер, 2010. - 350 с.
3. Вольдек А.И., Попов В.В. Электрические машины. Введение в электромеханику. Машины постоянного тока и трансформаторы: Учебник для вузов. - СПб.: Питер, 2008. - 320 с.

К ВОПРОСУ ОПТИМИЗАЦИИ ТЕХНИКО- ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОДЪЕМО- ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ СКЛАДСКИХ ПОМЕЩЕНИЙ

А.С. Кузьмин

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, aleksadr_kuzmin@mail.ru**

Одним из широко распространенных в настоящее время разгрузо-погрузочных устройств товаров на небольшие расстояния (производственные помещения, торговые площадки, крупные магазины и т.д.) являются погрузчики, они могут иметь привод на базе двигателя внутреннего сгорания и электрический, последние обладают несомненными преимуществами в плане экологической чистоты поскольку при их работе не происходит загрязнение. Основной недостаток предлагаемых на рынке электропогрузчиков - ограниченное время работы. Это ключевой показатель, который формируется из множества факторов: большая масса электрокара, трудность и время заряда аккумуляторных батарей и др. В свою очередь, этот показатель влечет за собой повышение эксплуатационных издержек, снижение общего КПД системы. Решение данной задачи способно значительно повысить эффективность работы предприятия, что может быть достигнуто за счет снижения затрат на обслуживание транспортного средства, повышения времени его автономной работы и определения оптимального варианта грузоподъемности.

One of the goods that are widespread at the present time for loading and unloading devices for short distances (production facilities, trading floors, large

stores, etc.) are loaders, they can be driven on the basis of an internal combustion engine and an electric one, the last owners have undoubted advantages in ecological cleanliness plan when no pollution occurs during their work. The main disadvantage of the electric lift trucks offered by the market is the limited working time. This is a key indicator that is formed from a variety of factors: a large mass of electric vehicles, the difficulty and time of charging batteries, etc. In turn, this indicator entails an increase in operating costs, a decrease in the overall efficiency of the system. The solution of this problem can significantly improve the efficiency of the enterprise, which can be achieved by reducing the cost of servicing the vehicle, increasing its autonomous operation time and determining the optimal load capacity.

Данное исследование направлено на создание и внедрение в различных складских, производственных предприятиях, а также аэропортах, вокзалах и т.д. экологически чистых, энергоэффективных, компактных электропогрузчиков необходимой грузоподъемности. Исследования в данной работе позволяют решать задачу оптимизации времени автономной работы, снижения затрат на обслуживание и повышение ресурса работы источника энергии (аккумуляторной батареи) по сравнению с существующими на рынке прототипами. С этой целью были рассмотрены вопросы:

1. Модернизации функциональной схемы энергетической установки с применением DC/DC преобразователей

2. Оснащения электропогрузчика Li-ion аккумуляторными батареями вместо рb-acid аналогов, что продиктовано наиболее совершенными характеристиками первых.

3. Установка асинхронного двигателя (АД) взамен двигателя постоянного тока (ДПТ). Это обусловлено тем, что ДПТ имеют сложную конструкцию, вследствие чего ему требуется частое техническое обслуживание. К тому же, имея схожую мощность, имеют на 20-30% меньшую массу.

На основании проведенных исследований было выяснено что каждому типу погрузчика по грузоподъемности двигатель определённой мощности. Целесообразно использовать стационарную базу зарядки аккумулятора. В предлагаемом варианте в силовой электрической части предусмотрен режим рекуперации.

Необходимо провести дальнейшие исследования в области: оптимизации массогабаритных показателей источника энергии в зависимости от режима работы погрузчика, а также сопоставить капитальные эксплуатационные расходы на реализацию выбранного варианта в сравнении с существующими.

Литература:

1. *Зиновьев Г.С.* Основы силовой электроники: учеб. пособие. – Изд. 3-е, испр. и доп. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2004. – 672с.
2. *Семенов Б.Ю.* Силовая электроника: от простого к сложному. - М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2006. – 416с.
3. Все о электропогрузчиках, электродвигателях, гибридных двигателях [Электронный ресурс] // электропогрузчики: [сайт]. [2010]. URL: <http://electromobiles.ru/>

МЕТОДИКА ФОРМИРОВАНИЯ «ГРУЗОВОГО ЭКСПРЕССА»

О.А. Кузьмина, Е.Д. Псеровская

**Сибирский государственный университет путей сообщения,
г. Новосибирск, olga8alexandrovna@mail.ru**

В данной работе рассмотрена новая услуга ОАО «РЖД» «Грузовой экспресс». Следование ускоренного грузового поезда на направлениях с низким уровнем грузопотока не является экономически выгодным. Для решения этой проблемы предлагается методика формирования «Грузового экспресса», позволяющая увеличить экономическую эффективность от проследования ускоренного грузового поезда на таких направлениях.

In this paper we consider the new service of Russian Railways the «Cargo Express». Running an accelerated freight train in moving traffic lanes with low cargo traffic is not economic viability. To solve this problem, the method of collecting the “Cargo Express” was proposed, which allows to increase the economic efficiency of running an accelerated freight train in such directions.

В последние годы наблюдается переход клиентов с железнодорожного транспорта на автомобильный, эта проблема обсуждается среди специалистов и руководителей ОАО «РЖД» и среди участников транспортного рынка.

Для клиента важными показателями являются сохранность груза и точность сроков доставки. Гибкая система планирования, сокращение сроков доставок, увеличение количества скоростных маршрутов могут повысить спрос на железнодорожные перевозки.

Железнодорожный транспорт внедрил услугу «Грузовой экспресс» - следование грузового поезда по расписанию. Она представляет собой резервирование вагоно-мест и следование грузового поезда по расписанию. В этом случае тариф определяется, исходя из экономии клиента на аренде вагона. Ставка сбора за оказание услуги рассчитывается с использованием коэффициента распределения

экономического эффекта между клиентом и ОАО «РЖД». В данный момент ставка составляет 0,5.

Экономией времени на доставке является разница между нормативным сроком и сроком доставки в грузовом экспрессе, который отличается тем, что его определение производится в соответствии с расписанием с учетом 48 часов на начально-конечные операции. В итоге, платой за «Грузовой экспресс» является произведение ставки сбора за услугу, ставки аренды вагона и экономии времени на доставке груза.

В связи с низким уровнем грузопотока отправление поездов на некоторые направления производится не каждый день, а в зависимости от накопления вагонов на станции формирования. Железная дорога для выполнения норм веса и длины отправляет в экспрессах вагоны, за которые грузоотправитель не вносил дополнительную плату за ускоренную доставку.

Данные меры отразятся на экономической эффективности услуги. Предлагается для формирования поездов по установленным нормам массы и длины на попутных станциях предусматривать прицепку вагонов попутного назначения, оплачиваемых в рамках услуги.

Стоит отметить, решение об остановке и выполнении технических операций влияет на срок доставки, а значит, и экономическую выгоду от перевозки по услуге «Грузовой экспресс». Вариант перевозки с остановкой может быть более выгодным, чем проследование без остановок.

Перевозка прицепляемой на станции формирования группы вагонов по обычному тарифу уменьшает экономическую выгоду от услуги «Грузовой экспресс». Из-за увеличения времени в пути возрастают сроки доставки. Выгода клиента и перевозчика от сокращения срока аренды вагонов уменьшается. Чем больше остановок на попутных станциях для перецепки вагонов делает экспресс, тем ниже его эффективность.

На сегодняшний день услуга «Грузовой экспресс» не реализована в полной мере на некоторых направлениях сети железных дорог. Для получения экономической выгоды, заложенной в основу данной услуги, необходимо разработать методику формирования грузового экспресса с учетом особенностей грузопотоков на направлении.

В рамках данной работы разработана экономико-математическая модель и методика формирования грузовых экспрессов, которая будет учитывать эффективность перевозки, если поезд будет делать остановки на попутных станциях.

Методика позволит понять, при каком количестве вагонов, отправляемых со станции формирования по тарифу «Грузового экспресса», и вагонов, прицепляемых на попутной станции, прибыль для ОАО «РЖД» будет максимальна. С ее помощью можно выбрать вариант формирования ускоренного поезда.

По результатам расчета будет предложен вариант, который позволит повысить экономическую эффективность, дана оценка выгоды для ОАО «РЖД». В случае остановки экспресса будет определено число вагонов, с которыми на попутной станции будут выполняться технические операции.

Рассматривается случай, когда на станции отправления не удастся накопить необходимое количество вагонов, которые будут перевозиться на особых условиях в ускоренном грузовом поезде.

Для принятия решения о ее целесообразности остановки экспресса на попутной станции необходимо проверить условие: доход от прицепляемой на попутной станции группы вагонов должен превышать потери от остановки. Когда потери будут больше доходов, остановку производить не выгодно. Тогда доход, который получает ОАО «РЖД» будет складываться из дохода за проследование вагонов по тарифу экспресса со станции формирования до конечной станции и из дохода от проследования вагонов по обычному тарифу по тому же маршруту.

Если доходы превышают потери, то общая экономическая выгода будет равна сумме доходов за проследование «платных» вагонов со станции формирования до конечной и с попутной станции до конечной и от проследования со станции формирования до станции попутной грузовых вагонов по обычному тарифу.

Время стоянки рассчитывается исходя из количества вагонов, с которыми производят операции. Так как экспресс делает остановки только на крупных технических станциях, принимается, что попутная станция имеет собственный маневровый локомотив. Для уменьшения времени стоянки предусмотрено, что вагоны, которые прибыли в адрес этой станции, находятся в хвосте. Расчет времени на технические операции приводится по формулам из «Норм времени на маневровые работы, выполняемые на железнодорожных станциях ОАО «РЖД». В рассматриваемом варианте все прицепные на станции формирования «бесплатные» вагоны заменяются на попутной станции на вагоны, следующие за плату по услуге грузового экспресса, то формула будет иметь вид:

Далее рассчитывается доход, который ОАО «РЖД» получает от экспресса, следующего с остановкой. Значение уменьшится, так как увеличится срок доставки в грузовом экспрессе, то есть выгода от

экономии на аренде вагона. Рассчитывается доход от группы вагонов, которые прицепляют к экспрессу на попутной станции.

Разница между платой за вагоны по тарифу грузового экспресса без остановки и платой за проследование этих же вагонов с остановкой на попутной станции складывается с экономическими потерями, связанными с затратами на технические операции на попутной станции и образует общие потери от остановки экспресса.

Расчет производится циклически. После проверки условия доход ОАО «РЖД» и количество вагонов, перевозимых в рамках услуги «Грузовой экспресс», которые прицепляются на станции формирования выводятся. Далее цикл вновь повторяется, но уже с другим количеством дополнительно прицепляемых вагонов на станции формирования.

Предложенная методика формирования ускоренного грузового поезда позволит определить экономическую эффективность остановки грузового экспресса на попутной станции и число вагонов, управляемых со станции формирования поезда по тарифу грузового экспресса.

Таким образом, представленная работа окажет влияние на технологию формирования ускоренных грузовых поездов.

Литература:

1. *Вьюгин И.* Ускоренные грузовые поезда составят конкуренцию автоперевозчикам // Гудок. – 2013. - №166.

2. *Таранец И.* Союз транспортников, экс педиторов и логистов Сибири заинтересован в переключения грузопотока с автомобильного транспорта на железнодорожный // Гудок. – 2017.

3. Вакуленко С.П., Колин А.В., Прокофьев М.Н. Новая технология ускоренных грузовых перевозок железнодорожным транспортом. 2014 год.

4. *Прокофьев М.Н.* Маршрутная сеть ускоренных перевозок [Электронный ресурс] // Мир транспорта: электрон. научн. техн. журн. - № 05. – 2010. – URL: https://elibrary.ru/title_about.asp?id=8865.

5. *Шаров В.А., Бородин А.Ф.* Интегрированная технология управления движением грузовых поездов по расписанию [Электронный ресурс] // Железнодорожный транспорт: электрон. научн. техн. журн. - № 8. – 2011. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=16951688>.

ПЕРСПЕКТИВНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭНЕРГИИ РЕКУПЕРАЦИИ НА ГОРОДСКОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ТРАНСПОРТЕ

А.В. Кучмурукова, Е.А. Спиридонов

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск. anuku96@mail.ru**

Описывается проблема использования энергии рекуперативного торможения на городском электрическом транспорте. Рассмотрены основные проблемы, связанные с применением рекуперации как основного направления экономии электроэнергии.

Problem of recuperative braking energy use on city electric transport is described. The main problems connected with recovery application as main direction of electric power economy are considered.

На сегодняшний день экономия электроэнергии в условиях постоянного роста тарифов на энергоресурсы играет важную роль, особенно для предприятий городского электрического транспорта (ГЭТ), являющихся наиболее энергоемкими. Одним из существенных преимуществ ГЭТ (трамвай, троллейбус, метро) является применение на нем рекуперативного торможения, которое, кроме экономии электроэнергии, позволяет плавно регулировать тормозную силу вплоть до остановки транспортного средства.

В работах, посвященных рекуперации энергии в системах городского электрического транспорта на основании теоретических и экспериментальных исследований установлено, что повторное использование энергии торможений позволяет снизить расход энергии до 30% от общих затрат электроэнергии на тягу [1-3]. В настоящее время возможности рекуперации используются далеко не в полной мере, т.к. усложняется электрическое оборудование ЭПС, повышается уровень напряжения в контактной сети. Ещё одной проблемой является реализации энергии в те интервалы времени, когда на линии отсутствуют потребители. Энергия рекуперирующего транспортного средства, не находящая потребителей, носит название «избыточная энергия рекуперации».

При рекуперативном торможении наиболее экономичен такой режим, при котором вся вырабатываемая ЭПС энергия передается находящимся поблизости в режиме тяги подвижным составам. Однако это не всегда является возможным. Так, например, сравним троллейбус и «классический» трамвай с метрополитеном или скоростным трамваем. В настоящих условиях эксплуатации троллейбуса и «классического» трамвая невозможно абсолютно точно наладить график движения

электроподвижного состава, то есть, чтобы одновременно на секции был и рекуперирующий и ЭПС в режиме тяги. Это связано, в первую очередь, с движением этих видов транспорта в общем потоке с автомобилями, запрещающими движение сигналами светофоров, заторами и пробками. Метрополитен и скоростной трамвай можно считать обособленными (изолированными) от других видов транспорта, на бесперебойность работы которых не влияют вышеописанные факторы.

В связи со сложностями совпадения на одном участке рекуперирующих и потребляющих подвижных составов перспективно использовать накопители энергии (НЭ). Основным вопросом, связанным с накопителями энергии, является их размещение в системе тягового электроснабжения ГЭТ.

С точки зрения удобства оптимальным местом установки НЭ является тяговая подстанция (ТП). Однако следует учитывать, что применение НЭ на ТП содержит ряд недостатков, к которым можно отнести отсутствие эффектов разгрузки питающих линий, снижение потерь напряжения и мощности в контактной сети, невозможность проведения рекуперативных актов при большом удалении ЭПС от питающего фидера. Стоит также отметить, что при совпадении двух актов рекуперации их эффективность значительно снижается. Процесс приёма и отдачи энергии может быть ограничен или вовсе прерван в связи с наложением рекуперативных токов и превышением уровня напряжения в тяговой сети.

Указанных недостатков лишен случай размещения НЭ на ЭПС. При таком размещении накопителя необходимы значительные инвестиции в модернизацию электроподвижного состава. Также возникают сложности при размещении НЭ на ЭПС различных серий с учётом массогабаритных характеристик самого накопителя энергии.

Наиболее перспективным местом размещения накопителей энергии является пост секционирования, находящийся на границе двух секций. Такое размещение способствует разгрузке питающих линий ТП, снижению потерь напряжения и мощности в тяговой сети, а также позволяет проводить акты рекуперации независимо от наличия активного потребителя.

Часть избыточной энергии рекуперации возможно передать на ТП к инверторным агрегатам. Однако, этот способ повторного использования энергии рекуперации является малоэффективным вследствие ряда причин:

- передавая энергию рекуперации от ЭПС к инверторам на ТП и затем в первичную линию электропередачи, образуются потери энергии, которые могут достигать 25% всей рекуперированной энергии;

- энергия рекуперации, передаваемая во внешнюю энергосистему, является низкокачественной, тем самым имеет низкую стоимость и не оправдывает ни капитальные, ни эксплуатационные затраты;

- в связи с протеканием дополнительных избыточных токов рекуперации, которые в свою очередь ещё и снижают пропускную способность КС по условиям нагрева.

На основании вышеописанных способов использования энергии рекуперативного торможения можно сделать вывод, что наиболее перспективным направлением является применение накопителей энергии.

Дальнейшие исследования рассматриваемой проблемы будут направлены на анализ и выбор конкретного технического решения накопителя избыточной энергии рекуперации, на выбор наиболее рационального места размещения данного накопителя.

Литература:

1. Колб А.А. Использование энергии рекуперации электротранспорта для управления качеством электроэнергии / А.А. Колб // Вестник КДУ имени Михаила Остроградского. – Кременчук: КДУ, 2010. – Вып 4.(63), ч.1. - С. 98-100.

2. Разработка алгоритма для расчета пусковой силы тяги поезда метрополитена / А. А. Сулим [и др.] // Рейковый роемый склад: зб. наук. праць. – Кременчук: Вид-во ДП «УкрНДІВ», 2012. – Вып. 6. – С. 20–23.

3. Экономия электроэнергии при использовании рекуперативного торможения на вагонах метрополитена / А. А. Сулим [и др.] // X Межнар. наук.-техн. конф. молодых ученых и специалистов: зб. материалов конф. – Кременчук: КрНУ, 2012. – 344 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОДЪЕМНОГО УСИЛИЯ В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОДВЕШИВАНИЯ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

Р.Н. Латышев, Е.А. Земляков, М.В. Ярославцев
Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, yaroslavcev@corp.nstu.ru

Рассмотрены преимущества и недостатки подвижного состава на магнитной подушке. Построена имитационная модель в MatLabSimulink. Определены оптимальные параметры системы подвешивания по критерию экономии энергии.

The advantages and disadvantages of magnetic cushion rolling stock are considered. The simulation model created in MatLab Simulink. The optimal parameters of the suspension system are determined according to the energy saving criterionparameter.

Несмотря на высокие строительные затраты, поезда на магнитной подушке могут стать выходом из сложившейся экологической проблемы городов. Затраты на их техническое обслуживание в 3 раза ниже, чем на обычные поезда. Это быстрый, тихий и экологичный транспорт. Он не может сойти с рельсов и в случае неисправности способен безопасно остановиться. [1, 2]

Идея работы электромагнитного подвеса основана на использовании электромагнитных сил, возникающих в металлическом сердечнике, установленном в путевой структуре, при прохождении тока через катушку индуктивности. На основании этого, электромагнит притягивает якорь, установленный на подвижном составе. Развиваемая электромагнитом сила притяжения уравнивает силу тяжести. [3]

В работе ставятся задачи: смоделировать систему электромагнитного подвешивания подвижного состава в программе MatLabSimulink; с помощью полученной модели определить наилучшие параметры системы при изменении размеров магнитопровода и потребляемой энергии.

Исходными данными для составления модели являются сила тока, вес подвижного состава, длины магнитопровода, площади сечения магнитопровода, количества витков обмотки катушки индуктивности.

Имитационная модель состоит из следующих блоков (Рисунок 1):

G – блок расчета магнитной проводимости с обратной связью по зазору,

θ – блок расчета действительной намагничивающей силы,

F – блок расчета электромагнитной силы с обратной связью по зазору,

Φ – блок перерасчета магнитного потока,
 δ – блок расчета зазора.

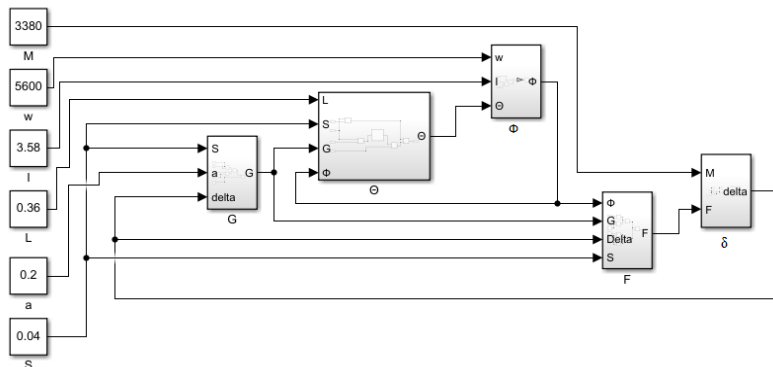


Рисунок 1 – Имитационная модель магнитного подвеса

В блоке θ выполняется расчет магнитной цепи по формуле (1) [4]:

$$\theta = I \cdot w = \frac{\Phi}{G_{\delta}} + H \cdot \left(\frac{\Phi}{S_{m.п.}} \right) \cdot l_{m.п.}, \quad (1)$$

где :

F – сила развиваемая электромагнитом,

Φ – магнитный поток,

G_{δ} – магнитная проводимость воздушного зазора,

H – напряженность магнитного поля,

$l_{m.п.}$ – длина магнитопровода,

$S_{m.п.}$ – площадь сечения магнитопровода.

В модели реализован регулятор с обратной связью по падению намагничивающей силы вычисляющий магнитный поток Φ .

Величина зазора вычисляется в блоке δ путем двойного интегрирования ускорения.

Для разных значений тока вычислена сила электромагнита на расстоянии зазора по формуле (2) [5]:

$$F = \frac{\Phi^2}{G^2} \cdot \frac{dG}{d\delta}, \quad (2)$$

где δ – зазор.

В ходе моделирования системы электромагнитного подвеса определено, что при увеличении тока, количества витков в обмотке, сечения магнитопровода возрастает электромагнитная сила.

Изменением силы тока получено семейство графиков зависимости электромагнитной силы по отношению к зазору (рисунок 2).

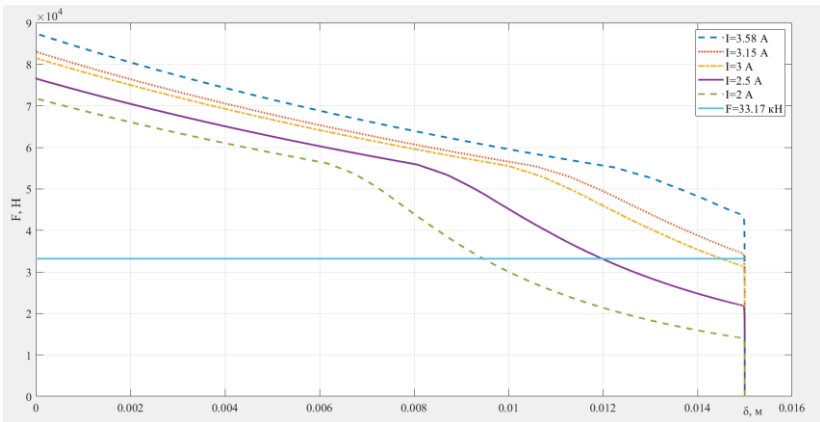


Рисунок 2 – Семейство графиков изменения силы при различных значениях силы тока

Получено семейство графиков зависимости изменения силы развиваемой электромагнитом от зазора при постоянном токе и изменении поперечного сечения магнитопровода (рисунок 3).

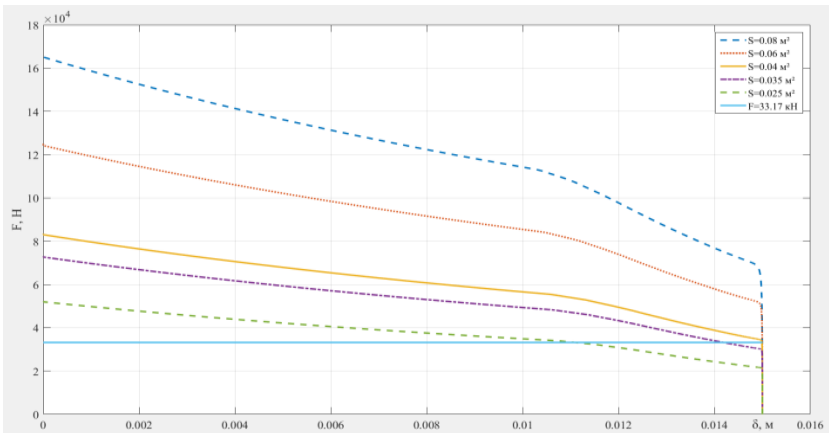


Рисунок 3 – Семейство графиков изменения силы при различных значениях площади поперечного сечения магнитопровода

Из проведенного моделирования видно, что при весе подвижного состава в 27 т сила тока 3,15 А является наилучшей по энергетическим показателям и достаточной для поддержания транспортного средства в подвешенном состоянии. Получена зависимость электромагнитной силы от сечения магнитопровода. Наилучшим является сечение в 0,04 м².

Литература:

1. *Ким К.К.* Системы электродвижения с использованием магнитного подвеса и сверхпроводимости: монография. – М.: ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2007. – 360 с.
2. SouthKorea'sfirstdomestically-developedmagnetictainopens[Электронный ресурс] // Международный интернет журнал «Hankyoreh». – URL: http://english.hani.co.kr/arti/english_edition/e_national/729163.html (дата обращения: 25.10.2018).
3. *Осокин Ю. А., Герди В. Н., Майков К. А., Станкевич Н. Н.* Теория и применение электромагнитных подвесов. – М.: Машиностроение, 1980. – 284 с.
4. *Нейман Л.А., Порсев Е.Г., Бирюков В.В.* Электрические и электронные аппараты методическое пособие. – Новосибирск: НГТУ, 2009. – 75 с.
5. *Сахаров П.В.* Проектирование электрических аппаратов. – М.: Энергия, 1971. – 560 с.

СОЛНЕЧНЫЕ БАТАРЕИ, ПРИМЕНЕНИЕ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ТРАНСПОРТЕ

П.С. Лисицын, Ю.В. Герц, Н.И. Щуров
Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, nik-nokia@mail.ru

В этой статье анализируется мощнейший источник энергии -солнце, и, способы добычи и запаса энергии в электрическом виде. Рассмотреныперспективыусовершенствования, в планеувеличениякоэффициентаполезногодействия.

In this article analyzes the most powerful source of energy - the sun and methods of extraction and energy storage in an electrical form. Prospects consider for improvement in terms of efficiency gains.

На поверхность Земли в течение года поступает солнечная энергия (СЭ), эквивалентная энергии, заключённой в 120 трлн. т.т., что значительно превышает запасы органического топлива (~ 6 трлн. т.т.). Земли в 2007 г., например, было израсходовано $94 \cdot 10^{12}$ кВт·ч. Таким образом, поступающая к нам СЭ многократно превосходит энергетические потребности человечества. Однако использование СЭ связано с определенными трудностями, что ограничивает широкомасштабную реализацию соответствующих технологий. К ним относятся: малая плотность солнечного потока, непостоянство и прерывистость поступления СЭ во времени, зависимость этого потока от географического расположения приемника излучения и др. Следовательно, СЭ нужно уловить на сравнительно большой площади, сконцентрировать и превратить в такую форму, которую можно использовать для промышленных, бытовых и транспортных нужд. Кроме того, надо уметь запасать солнечную энергию, чтобы поддержать энергоснабжение и ночью, и в пасмурные дни.

Однако использование СЭ связано с определенными трудностями, что ограничивает широкомасштабную реализацию соответствующих технологий. К ним относятся: малая плотность солнечного потока, непостоянство и прерывистость поступления СЭ во времени, зависимость этого потока от географического расположения приемника излучения и др. Следовательно, СЭ нужно уловить на сравнительно большой площади, сконцентрировать и превратить в такую форму, которую можно использовать для промышленных, бытовых и транспортных нужд. Кроме того, надо уметь запасать солнечную энергию, чтобы поддержать энергоснабжение и ночью, и в пасмурные дни. На Землю от Солнца поступает ежедневно около 4,20 трлн. кВт·ч энергии, что в сотни раз превосходит энергетические потребности современного человечества. Очевидно, заманчиво использовать солнечную энергию для получения электрической, ведь это позволит не только не расходовать миллиарды тонн ископаемого топлива, но и существенно улучшить экологическое состояние среды обитания человека.

В мире солнечная энергетика применима и к транспортным средствам, прежде всего автомобилям (рисунок 1).

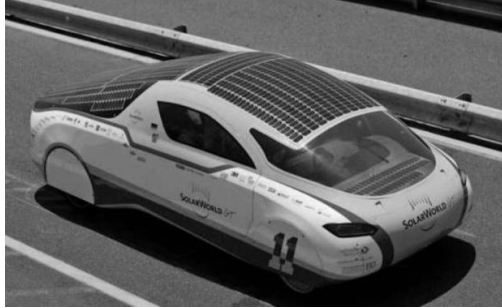


Рисунок 1 - Электромобиль, работающий на солнечной энергии

Обычно в них сочетают солнечные батареи с аккумуляторами. Канадские инженеры фирмы Solar Ship разработали дирижабль на солнечной энергии и уже испытали прообраз аппарата(рисунок 2).



Рисунок 2 - Солнечный дирижабль с гибридным двигателем

По сути, машина является гибридом, у которой более 50 % подъемной силы обеспечивает аэродинамика корпуса, а остальное – гелий. Энергию дирижабль получает от солнечных батарей, размещенных «на спине» воздушного судна, а движение обеспечивают электромоторы. На случай непогоды на борту предусмотрены аккумуляторы, которые заряжаются от Солнца. Как и любой дирижабль, Solar Ship наполняется гелием, хотя, как утверждают инженеры, он летает и при заполнении обычным воздухом. Это означает, что даже если дирижабль получил повреждения оболочки с утечкой гелия, то он по-прежнему сможет лететь и, самое главное, достаточно безопасно

приземлиться. И вообще с точки зрения безопасности гибрид предпочтительнее, нежели дирижабль или самолет по отдельности. У таких машин множество сфер применения. Это доставка грузов в труднодоступные районы и в зоны стихийных бедствий, экологические мониторинг, контроль и обслуживание трубопроводов и линий электропередачи и т.д. Причем всю эту работу гибрид будет выполнять, не расходуя ни грамма топлива, либо используя его очень экономно. Электромобиль сегодня: прорыв в будущего. И только в начале девяностых годов прошлого столетия, когда коэффициент полезного действия солнечной панели поднялся до 15%, начался бум изобретений солнцемобилей одиночными изобретателями, в который, в последствие, включились и крупные автоконцерны. Совершенно недавно компания Spektrolab, являющаяся подразделением концерна Boeing, разработала панели с эффективностью около 36%, что явилось настоящим прорывом в сфере использования энергии Солнца.

Сегодня производство электромобилей, где применяется батарея от солнца является сосредоточием самых последних технических изобретений и находок в материаловедении. Ведь невысокую эффективность панелей необходимо компенсировать низкими механическими потерями и небольшим весом самой техники. Поэтому в таких моделях применяются самые последние изобретения в области трансмиссий, на них устанавливаются шины с самым низким сопротивлением качению и для их кузовов используются самые легкие композитные материалы высокой прочности.

Кроме того, солнечные электрокары служат концептами для отработки последних достижений в автомобилестроении. Так, специально для электромобилей разработаны легкие электродвигатели постоянного тока бесколлекторного типа с полюсами из редкоземельных магнитных материалов. А на ряде экземпляров для полного исключения механических потерь в трансмиссии стали устанавливать так называемые мотор-колеса, когда электродвигатель находится, непосредственно, в каждом колесе автомобиля.

Компании-производители автошин, такие как Michelin, Dunlop и ряд других, заняты разработкой шин специально для электромобилей, коэффициент сопротивления качению которых, в настоящее время, достиг 0,007. Аналогичные шины высокого уровня сбережения энергии, используя наработки для электромобилей, разрабатываются и для обычных серийных моделей. Большим подспорьем для автомобилестроителей стало изобретение батарей от солнца настолько тонких, что ими можно оборудовать не только крышу, но и любую

поверхность автомобиля, тем самым увеличив общую площадь поглощения световой энергии.

В последнее время при конструировании энергообеспечения серийных моделей стали применять солнечные панели для питания систем микроклимата, мультимедийных систем и систем подзарядки автомобильного аккумулятора на стоянках. Коэффициент аэродинамического сопротивления электромобилей достиг минимально возможной величины (0,1).

В заключении можно сказать, что на сегодняшний день применение солнечных батарей финансово затратно – долго окупаемо, тем самым массовое использование не сильно актуально. Во-вторых конструктивно использовать большие площади панелей данные изделия составляет трудность, хоть и имеет тонкий профиль. Положительные стороны в этих изделиях в том, что они не требуют никаких дополнительных затрат.

Литература:

1. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: учебное пособие / под ред. В.В. Денисова. – Ростов н/Д: Феникс, 2015. – 382с.

2. Безруких П.П., Стребков Д.С. Возобновляемая энергетика: стратегия, ресурсы, технологии. – М.: РАСХН, 2005.

ТЯГОВЫЙ ПРИВОД И АВТОНОМНЫЙ ХОД ТРОЛЛЕЙБУСА

А.В. Степанов, Н.И. Щуров

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, alexey7gun@mail.ru**

В работе рассмотрен и описан тяговый привод троллейбуса, второстепенные источники энергии в виде аккумуляторов и работа троллейбуса в режиме автономного хода.

The article deals with and described trolleybus traction engine, secondary sources of energy in the form batteries and trolleybus operation in offline mode.

Тяговый привод подвижного состава предназначен для энергосберегающего и экологически чистого привода транспортного средства городского электрического транспорта (троллейбуса) с питанием как от контактной сети постоянного тока, так и аккумуляторной батареи (троллейбус с автономным ходом или режим электробуса).

Тяговый электропривод состоит из электрического двигателя

постоянного тока, преобразователя и накопителя энергии, которые собраны на основе электрохимических конденсаторах. Питание тягового электропривода троллейбуса осуществляется от контактной сети постоянного тока или аккумуляторной батареи.

Принцип действия тягового электродвигателя состоит в том, что в результате подачи напряжения на якорную обмотку и обмотку главных полюсов, создаются магнитные поля. Эти магнитные поля взаимодействуют между собой, приводя во вращение якорь, а значит и вал. Вал, в свою очередь, соединяется с карданным валом. При вращении вала крыльчатка засасывает через патрубок воздух, который охлаждает двигатель и через вентиляционные окна выбрасывается в атмосферу.

Тяговый преобразователь (который чаще всего выполнен в виде трёхфазного преобразователя (инвертора) по схеме Ларионова на тиристорных или транзисторных ключах) обеспечивает пуск тягового электродвигателя без потерь и рекуперацию энергии торможения обратно в источник, а также электродинамическое торможение подвижного состава практически до полной остановки. Накопитель на электрохимических конденсаторах позволяет аккумулировать энергию торможения подвижного состава и использовать ее повторно.

Для накопления энергии чаще всего используются литий-ионные аккумуляторы. Они представляют собой вторичный химический источник тока и в настоящее время является самым распространенным видом аккумуляторов (Рисунок 1). Их преимущество состоит в том, что они обладают более большой плотностью энергии и благодаря этому при небольших габаритах и легком весе обеспечивают в 2 - 4 раза большую ёмкость (по сравнению, например, со свинцово-кислотными). Еще одним весомым достоинством является 100% перезарядка за 1 – 2 часа.



Рисунок 2 - Блок литий-ионных аккумуляторов

Принцип работы литий-ионных аккумуляторов заключается в использовании ионов лития, которые связываются с молекулами дополнительных металлов. Чаще всего в дополнение к литию используют графит. При разряде литий-ионного аккумулятора происходит переход ионов от отрицательно заряженного электрода (катода) к положительному (аноду). При заряде наоборот, ионы от анода перемещаются к катоду. Также схема аккумулятора предполагает наличие разделительного сепаратора между двумя частями элемента, это необходимо для самопроизвольного перемещения ионов лития. Когда цепь замкнута, и в аккумуляторе происходит процесс заряда или разряда, ионы преодолевают разделительный сепаратор, стремясь переместиться к противоположно заряженному электроду.

Первый троллейбус с режимом электробуса с питанием от литий-ионных аккумуляторов (Рисунок 2) был разработан и сконструирован в Новосибирске в 2011 г. Пробег опытного образца в режиме электробуса составил 39 км без пассажиров и 28 км при полной массе троллейбуса. После пробега в режиме электробуса троллейбус, двигаясь под контактной сетью, производит подзаряд аккумуляторов.

Автономный ход троллейбуса обеспечивало 168 аккумуляторов, ёмкостью в 90 А*час каждый. Полный вес батареи — 480 кг. Срок службы аккумуляторов зависит от условий эксплуатации и количества циклов, а количество циклов — от степени разрядов. Если разряд аккумуляторов достигает до 60% (отклонение от контактной сети на 15 км), то срок службы будет составлять 8000-10000 циклов или 7 лет из расчёта протяженности оборотного рейса 37 км (в том числе 15 км без контактной сети) при средней работе 12 часов и эксплуатационной скорости 16 км/час получается 5 циклов в день. Чем меньше дальность автономного хода, тем больше срок службы аккумуляторов. Так, если путь без контактной сети будет равен 10 км в течении одного оборотного рейса, то срок службы аккумулятора будет составлять 10,5 лет. Указанные расчёты произведены для полной массы троллейбуса в период срока службы аккумуляторов, то есть реальные условия эксплуатации значительно легче. Все эксплуатационные показатели могут быть увеличены за счёт выбора более ёмких аккумуляторов, но это приведёт к утяжелению и удорожанию транспортного средства.



Рисунок 3 - Внешний вид троллейбуса с автономным ходом

Преимущества тягового электропривода транспортного средства с накопителями энергии по сравнению с другими:

1. Обеспечивает работу транспортного средства с минимальными энергозатратами и потерями энергии (отсутствие пусковых потерь, рекуперация энергии торможения);

2. Сокращает выбросы пыли в атмосферу от колодок механических тормозов из-за использования электродинамического торможения;

3. Обеспечивает непрерывную работу подвижного состава при отсутствии напряжения в контактной сети, что снижает вынужденные простои троллейбусов при обрыве контактной сети, пробках на улицах городов, попадании на изоляционные участки. Также появляется возможность увеличения длины маршрута троллейбуса, исчезает необходимость сооружения разворотных колец в концах маршрутов.

4. Во время движения под контактной сетью троллейбус с ЛИА является постоянно действующим потребителем энергии, рекуперированной в сеть самим троллейбусом и другими троллейбусами при торможении. Это позволит экономить до 20% тяговой электроэнергии.

Недостатки:

1. Большой вес и объём аккумуляторов, что существенно утяжеляет подвижной состав.

2. Небольшой диапазон рабочих температур, снижение ёмкости при низких температурах.

3. Высокая цена.

Подводя итог, можно сказать, что в скором будущем по городам все чаще можно будет увидеть троллейбус, который едет с опущенными токоприемниками. Это позволит существенно снизить потери энергии путём аккумулирования энергии торможения и использования ее

повторно. С помощью режима автономного хода станет возможным увеличение протяженности маршрутов, вследствие чего возрастет пассажиропоток, также исключатся незапланированные простои машин. Однако, предстоит решить еще множество проблем в виде большого веса аккумуляторов, высокой их стоимости и работы в неблагоприятных условиях.

Литература:

1. *Ярославцев М. В., Щуров Н. И., Аносов В. Н.* Энергоэффективный тяговый привод городского безрельсового транспорта: учебное пособие. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2017. – 134 с.
2. *Сопов В. И.* Эффективность использования энергии рекуперации при торможении подвижного состава. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2001. – 126-136 с.
3. *Романов В. В., Хашев Ю. М.* Химические источники тока. – М.: Советское радио, 1978. – 262 с.

КВАДРОКОПТЕР – БАЗОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

М.И. Табурчинов, П.Ф. Баранов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, super.movie@mail.ru

В статье рассматриваются общие принципы управления и построения мультироторной системы – квадрокоптера, исследуется взаимодействие между основными функциональными блоками аппарата, приводится методика базового проектирования квадрокоптера, подбора соответствующих комплектующих, описываются результаты сборки квадрокоптера по приведенной методике.

In the article the general principles of control and construction of a multi-rotor system - a quadcopter are described, the interaction between the main functional units of the device are explored, a basic design methodology for a quadcopter, selection of the appropriate components is provided, the results of assembling a quadcopter using the above methodology are described.

В настоящий момент мультироторные аппараты находятся на стадии широкого внедрения во многие сферы человеческой жизни. Сегодня производится множество комплектующих, что позволяет любому человеку собрать собственный дрон, поэтому исследование данного

устройства и изучение его основных принципов проектирования являются весьма актуальными задачами.

Управление квадрокоптером осуществляет оператор через пульт управления, сигнал от пульта поступает на приемник на борту дрона и передает данные о требуемых параметрах, углах наклона и газа в полетный контроллер, анализирующий текущие углы рыскания, крена, тангажа и вырабатывающий управляющие импульсы моторам, проходящие через регуляторы скорости (Рисунок 1).

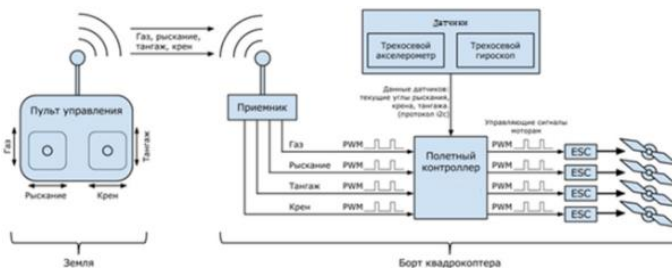


Рисунок 1 – Структурная схема управления квадрокоптером

Базовое проектирование и подбор компонентов

1. Предназначение квадрокоптера – составляющие квадрокоптера определяются прежде всего условиями дальнейшей эксплуатации (для гонок, для фото/видеосъемки, для перевозки грузов)

2. Выбор рамы квадрокоптера – рама является основой летательного устройства, именно она будет принимать на себя ударные нагрузки в случае падения, столкновений, она рассчитана, как правило, на определенную максимальную нагрузку.

3. Выбор моторов – бесколлекторные двигатели имеют три основные характеристики, обуславливающие выбор модели.

- Потребляемый ток, прямо пропорционален мощности мотора. При выборе следует учитывать пиковое потребление тока.

- KV-rating – количество оборотов, приходящихся на каждый вольт питания. Моторы с высоким KV (2000-2500) предназначены для небольших дронов, моторы с низким KV (200-900) предназначены для больших дронов с высокой грузоподъемностью.

4. Выбор винтов/пропеллеров – предназначены для создания подъемной силы при совместной работе с моторами.

Основные параметры:

- Длина лопасти – зависит от задач, поставленных перед аппаратом. Для гоночных моделей – 5-6 дюймов, тяжелые дроны – 15-

17 дюймов. Длина лопасти не должна превышать длину диагонали рамы.

- Угол наклона лопастей – винт с большим углом наклона способен поднять дрон на большее расстояние за один оборот, однако создает более высокую нагрузку на мотор.

5. Выбор контроллера скорости – обуславливается максимальным допустимым током, который протекает по нему при максимальном газе квадрокоптера.

6. Выбор аккумулятора – в летательных аппаратах используются литий-полимерные аккумуляторы (LiPo).

Основные параметры:

- Напряжение или количество аккумулятора: один аккумулятор обеспечивает 3,7 В и обозначается 1S, соответственно 2S – 7,4 В, 3S – 11,1 В. Необходимо при этом учитывать верхний предел питающего напряжения бортовой электроники.

- Емкость – от емкости зависит время полета аппарата без подзарядки, но с увеличением емкости аккумулятора ухудшаются его весовые и габаритные параметры.

- Уровень токоотдачи – определяет допустимую скорость разряда аккумулятора, обозначается буквой «С». Чтобы определить уровень требуемой токоотдачи требуется знать максимальное потребление силовой установки.

Пример: имеется аккумулятор на 2200 мА·ч (или 2,2 А·ч), 35С, тогда выходной ток аккумуляторной батареи можно получить по формуле:

Емкость (Ач) · коэффициент С (c^{-1}) = 2,2 · 35 = 77 А; каждый из 4-х двигателей имеет пиковое потребление тока 15 А, тогда суммарное потребление = 60 А, $60 А < 77 А$, следовательно данную батарею использовать можно.

7. Выбор полетного контроллера (ПК) – полетный контроллер является устройством, анализирующим данные с датчиков и команды от пользователя, подавая соответствующие управляющие сигналы на двигатель квадрокоптера

Некоторые важные критерии выбора ПК:

- Процессор – чем выше производительность, тем быстрее будут обрабатываться данные и тем стабильнее будет полет.

- Встроенный стабилизатор питания, в этом случае можно питать плату напрямую от LiPo аккумулятора

- Встроенные датчики (гироскоп, акселерометр, барометр и т.д.)

8. Выбор радиоприемника и пульта управления – данные устройства должны быть совместимы. Выбор аппаратуры и приемника

обуславливается также дальностью связи и количеством каналов связи (для квадрокоптера необходимо минимум 4).

Проектирование реальной модели квадрокоптера

Цель: проектируемый дрон должен быть способным поднимать груз до 500 г, вести фото/видеосъемку.

Таблица 1 – Подобранные комплектующие для квадрокоптера

Элемент	Масса, г	Комментарий
Рама S500	405	Имеет встроенную разводку питания (PCB), усиленные карбоновыми стержнями лучи.
Моторы Multistar Elite 2312 980KV, 4шт	232	Напряжение питания – 3S, пиковый ток 18А, 2 мотора CW, 2 CCW
Пропеллеры для медленных полетов 1045 Turnigy	34	2 винта CW, 2CCW Длина винта не превышает длину диагонали рамы
Регулятор скорости TURNIGY Plush; 25A; 4шт.	88	Обеспечивает пиковое потребления моторами тока
Аккумулятор ZOP Power; 11.1V; 2800mAh; 3S; 30C	209	Обеспечивает 3S питание моторов, уровень токоотдачи взят с запасом.
НК Pilot32 Автономный полетный контроллер	33	Имеет встроенные гироскоп, барометр, акселерометр, магнетометр, ряд портов для подключения телеметрии.
6-ти канальная аппаратура Turnigy TGY-i6 AFHDS с телеметрией и 6-ти канальный приемник	30	Обеспечивает возможность полноценного управления квадрокоптером с возможностью использования телеметрии
Итого масса	1192	Проверена на практике способность квадрокоптера поднимать дополнительно 500г

Таким образом, мультироторная система – квадрокоптер на текущий момент представляет собой довольно сложную систему взаимодействующих между собой электронных и электромеханических устройств, основанных на современных технологиях и использующую многие отрасли электротехники, электроники, радиотехники и IT-

технологий. На основе собранной, проанализированной и структурированной информации была составлена методика подбора комплектующих для квадрокоптера и с успехом протестирована на реальной модели.

Литература:

1. Digbox [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://digbox.ru/reviews/kak-vybrat-dvigatel-i-propellery/>, свободный. (Дата обращения: 10.10.2018г.)
2. Mykvadrocopter [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://mykvadrocopter.ru/kak-vybrat-akkumulyator-dlya-kvadrokoptera/>, свободный. (Дата обращения: 10.10.2018г.)
3. Blog.rcdetails.info [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://blog.rcdetails.info/vybiraem-poletnye-kontroller-dlya-kvadrokoptera/>, свободный. (Дата обращения: 10.10.2018г.)
4. Habr [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://habr.com/post/227425/>, свободный. (Дата обращения: 10.10.2018г.)
5. Rc-calc [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://rc-calc.com/ru/corper>, свободный. (Дата обращения: 10.10.2018г.)

МОТОР-КОЛЕСНЫЙ ПРИВОД ТРОЛЛЕЙБУСА

Ф.С. Федотченко, Б.В. Малозёмов

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, fedotchenko_filipp1@mail.ru**

В данной статье рассматривается мотор-колесный привод троллейбуса, его плюсы и минусы, а также принцип его работы.

This paper looks at the wheel-driven engine, its' advantages and disadvantages, and the principles of its' functioning.

Состояние окружающей среды в густонаселенных городах, а также рост затрат, связанных с эксплуатацией транспортных средств, оборудованных двигателем внутреннего сгорания, приводит нас к мысли о том, что необходимость в нерельсовом городском электрическом транспорте становится все более острой.

Городской электрический транспорт должен обеспечивать: высокую надежность и безопасность движения; предоставление максимума удобств для пассажиров при минимальной стоимости перевозок; высокую скорость сообщения и требуемый пассажирооборот; необходимую частоту и интервал движения на линии; хорошую

маневренность и высокие тягово-динамические свойств при работе в общем транспортном потоке; минимальный шум, создаваемый подвижным составом; соблюдение требований к охране окружающей среды.

Очевидно, что данные требования неразрывно связано с эффективностью тягового привода, которая в свою очередь определяется правильным выбором его конструкции и схемы, а также алгоритмом управления.

В настоящее время электрический транспорт использует различные виды тяговых приводов, структура которых определяются по таким критериям как: пассажироместимость; удельная мощность; скоростные качества; возможность автономного хода нерельсового городского электрического без контактных проводов, т.е. использование автономных источников энергии; рекуперации электроэнергии в тормозном режиме, что приведет к увеличению экономичности; дополнительному удобству при входе и выходе пассажиров за счет использования низкопольных конструкций городского электрического транспорта[1].

Одним из вариантов приводов, предоставляющим возможность максимально высвободить межколесное пространство для размещения низкопольного кузова, улучшить тягово-сцепные качества особенно сочлененных машин, а также повысить коммуникативные качества привода и снизить удельный объем его механической передачи можно, применяя схемы с мотор-колесным приводом.

Мотор-колесо представляет собой агрегат, объединяющий колесо и встроенные в него тяговый электродвигатель, силовую передачу и тормозную систему (таким образом, каждое мотор-колесо имеет индивидуальный привод). Устанавливается, как правило, в подвешенном к раме кронштейну (в случае, когда колесо не является управляемым) либо в установленном в поворотной цапфе подшипнике (в случае, когда колесо является одновременно ведущим и управляемым). Питается энергией от контактной сети или от аккумулятора. Может функционировать в двух режимах – тяговом и генераторном. В тяговом режиме вращение передается с вала якоря электродвигателя, работающего в двигательном режиме, через редуктор к внутреннему зубчатому венцу ведущего колеса; в генераторном режиме, используемом для электрического торможения, электродвигатель переходит в генераторный режим работы, а электроэнергия возвращается в электрическую сеть или применяется для зарядки аккумуляторов (рекуперативное торможение)[1].



Рисунок 1-Мотор-колесо на троллейбусе

В качестве автономных источников энергии в современном троллейбусостроении используются тяговые аккумуляторные батареи, дизель-генераторные установки и конденсаторные накопители. При эксплуатации троллейбуса на маршрутах, имеющих короткие промежутки (приблизительно до 10 км), на необорудованных контактной сетью участках дороги, целесообразно использовать дизель-генераторные установки.

Перспективными для применения являются конденсаторные установки. Они обладают рядом преимуществ: возможность использования высоких зарядных и разрядных токов; увеличенным в четыре раза отношением времени работы ко времени зарядки; возможностью снижения до 10-20 с времени разрядки; высокими о 6 кВт/кг, показателями удельной мощности; увеличенным в 10-15 раз количеством зарядно-разрядных циклов. Кроме того, имеется очевидная возможность эффективно накапливать энергию за счет рекуперации при торможении, тем самым повышать экономичность машины[2].

Мотор-колесо Дуюнова.

Мотор Колесо Дуюнова без магнитов – уникальный асинхронный электромотор. Ротор, применяемый в двигателе, медный паяный. Он располагается снаружи статора. Состоит ротор из стержней и двух замыкающих колец, которые припаяны к стержням. Верхний слой ротора обработан токарным станком, что положительно сказывается на массогабаритных показателях самого колеса и уменьшает вес неподрессоренной массы транспортного средства. Такая конструкция и дает возможность использования его в троллейбусах. Положительная

сторона данного мотор-колеса заключается в оптимальном расположении обмоток. Эта обмотка получила название «славянка»[3].

Электродвигатель «славянка» является эффективным средством снижения расхода электроэнергии и эксплуатационных затрат. Расчеты, проведенные по данным формулам, выявляют следующие преимущества электродвигателей по сравнению с обычными асинхронными:

$$\eta_{пуск} = \eta_n \times \eta_{пуск}$$

$$M_I = \frac{\eta_{эм}}{\eta_I}$$

$$\eta_{пуск} = \eta_n \times \eta_{пуск}$$

- Достижение высокого коэффициента полезного действия в диапазоне нагрузок 25-150% от номинальной, что в реальных условиях эксплуатации позволяет уменьшить расход электроэнергии на 15-50%.

- Увеличение максимального крутящего момента на 10-100%

- Увеличение пускового момента 20-50%

- Уменьшение пусковых токов в 2 раза, что снижает пиковые нагрузки на сеть и позволяет отказаться от использования устройств плавного пуска

- Снижение уровня шума на 6-7дБА

- Уменьшение температуры нагрева обмоток, что, фактически, исключает возможность перегорания обмоток.

Подводя итоги, хочу сказать, что развитие городского электротранспорта должно продвигаться по пути, которое неразрывно связано с мотор-колесным приводом. Что в свою очередь, по сравнению с обычным тяговым приводом, приведет к увеличению пассажиропотока, к экономии электроэнергии за счет рекуперации, к улучшению тягово-сцепных качеств, а также к возможности автономного движения.

Литература:

1. Транспорт дорожный. Массы, нагрузки на оси и габариты: СТБ 1878-2008. – Введ. 01.12.08. – Минск: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2008. – 14 с.

2. Транспорт дорожный. Массы и размеры. Технические требования и методы испытаний: СТБ 1877-2008. Введ. 01.12.2008. – Минск: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2008. – 44 с.

МОДЕЛЬ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА

О.А. Филина, А.А. Сидорова, А.Х. Мукимов

**Казанский Государственный Энергетический Университет,
г. Казань, olga_yuminova83@mail.ru**

Эта статья посвящена проблеме технической диагностики на городском электрическом транспорте. Для решения задачи необходим перевод качественного определения ТС на некоторую количественную основу. Формализация качественных определений является необходимым условием построения формальных (вычислимых) алгоритмов диагностики.

This article is devoted to the problem of technical diagnostics in urban electric transport. To solve the problem, it is necessary to translate the qualitative determination of the TS on some quantitative basis. The formalization of qualitative definitions is a necessary condition for the construction of formal (computable) diagnostic algorithms.

Актуальность непосредственно связана с тем обстоятельством, что Россия выбрала инновационный путь развития экономики, в основе которого лежат развитая теория инноваций, понимание закономерностей цикличности смены поколений и направлений техники и технологий, технологических укладов и способов производства, соответствующих им институциональных форм, умелое использование рыночного хозяйственного механизма.

Этот путь реализуется за счет инновационной деятельности – цикла работ от создания перспективного инновационного продукта до освоения его промышленного производства и реализации на рынке.

Проблема развития страны подразумевает комплексный подход к выработке и реализации решений в политике, экономике, обороне, науке, технике, образовании и других сферах деятельности граждан. Одной из задач является создание и обеспечение функционирования отраслей народного хозяйства, оборонного комплекса и других государственных структур, которые подставляют собой сложные многосвязные иерархические системы. Любая инновация немыслима без создания определенной модели.

Исходя из всего вышесказанного, целью данной работы является необходимость охарактеризовать сущность понятия «модель технического объекта» как определенного ориентира для дальнейшего процесса проектирования.

Достижение данной цели предполагает решение ряда следующих задач:

- Определить теоретическую сущность понятия «модель технического объекта» и дать их классификацию;

- Охарактеризовать диагностические модели технических объектов;

- Описать многоэлементные модели технических объектов.

Предметом исследования является процесс моделирования технического объекта.

Объектом исследования является теоретическое понятие «модель технического объекта», а также виды технических объектов.

В ходе работы использовались следующие методы: описательный, сравнительный, системный.

Описательный метод предусматривает конкретное теоретическое исследование модели технического объекта с позиций сущности и развития. С помощью этого метода исследуются важнейшие проблемы изучения моделирования сложных технических систем.

Сравнительный метод учитывает важную особенность исследования: важные технические и системные явления, как, например, модель технической системы полнее раскрывает свое значение при сопоставлении ее с серией сходных явлений и фактов.

Системный метод путем анализа сущности модели технического объекта.

Теоретико-методологической базой для написания данной работы является соответствующая литература, которую с достаточной степенью условности можно разделить на учебную, монографическую и публицистическую.

Общим качеством, присущим всем системам техники, является то, что они имеют потребительную стоимость, то есть полезность для общества или отдельного индивидуума. Полезность оценивается через выполняемое системой действие, через результат.

Однако эта полезность не дается человеку в чистом виде. Само существование искусственно созданных объектов, то есть преобразованных тел природы, предполагает, что технические объекты имеют и стоимость. Для получения желаемого результата необходимо создать саму систему и с ее помощью преобразовать некие ресурсы.

То есть технический объект реализует в себе единство затрат и выигрыша. Их отношение лежит в основе практически всех систем оценки эффективности.

Понятие «модель технического объекта» непосредственно связана с необходимостью рассмотрения категории идеального.

Идеал в общественных науках, в искусстве определяется энциклопедическим словарем как «идея, понятие, высшее совершенство, высшая конечная цель деятельности, стремлений, помыслов, совершенный образ, предел каких-либо мечтаний» [1].

Два различных понятия идеального сливаются вместе в ситуации, когда мы строим идеальную модель технической системы.

Она соответствует научной идеализации, так как формирует образ системы, через описание только ее полезной функции. И этот же образ может быть представлен как высшая конечная цель деятельности по совершенствованию технической системы [2].

Идеальные объекты создают определенный образ будущей конструкции. Существование этого образа связано с наличием у разработчика творческого воображения, фантазии.

Обычно разработчики находятся в тисках реально возможного, постоянно учитывают существующие ограничения. При работе с идеальным объектом эти ограничения могут быть существенно ослаблены или сняты вообще.

Таким образом, исходя из всего вышесказанного, модель или технического объекта, процесса или системы - это упрощенное их представление, сохраняющее с некоторой точностью те их свойства, характеристики и параметры, которые интересуют исследователя [3].

Модели строятся с целью изучения свойств и характеристик, прогнозирования поведения проектируемых и реальных систем, исследовать которые непосредственно нецелесообразно или невозможно по каким-то причинам.

Классификация моделей уже достаточно давно давалась и дается в литературе, например [4], что свидетельствует о трудности, а может быть и об отсутствии необходимости создания универсальной классификации.

Способы классификации определяются и точкой зрения авторов на предмет идентификации и их личными предпочтениями. Это позволяет и нам уточнять классификацию моделей, согласуя ее с областью их применения.

По способу реализации модели можно разделить на:

1. Физические – воспринимаемые органами чувств человека:
 - масштабные – уменьшенные или увеличенные копии (модель самолета или корабля);
 - аналоговые – механические, гидравлические, электронные, модели (АВМ);
 - виртуальные – отображаемые на мониторе в графической и цифровой формах, в том числе, модели, созданные в специализированных программах (VisSim, MBTY, MVS и др.), некоторые электронные игры, например, автогонки;
 - макеты (муляжи), в т.ч. детские игрушки и т.п.
2. Математические – воспринимаемые умом, интеллектом человека:

- аналитические – набор формул, например, система уравнений в переменных состояния; - алгоритмические – задаются в виде алгоритма, связывающего выходные и внутренние сигналы модели с входными.

По степени соответствия модели реальному объекту:

1. Адекватные по точности – отображающие в области своей применимости с необходимой (заданной) точностью реальный объект.

2. Физически состоятельные – истинные по Клиначёву Н.В., – опирающиеся на физические законы, характеризующие объект управления в области их применимости.

3. Аппроксимации – ложные по Клиначёву Н.В., – построенные на основе приближенных или эмпирических формул, характеризующих объект.

Литература:

1. *Филина О.А., Сидорова А.А., Мукимов А.Х., Каримов В.И.* Современные возможности вибродиагностики электрических машин и электрооборудования // Современные тенденции развития естествознания и технических наук: Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции. 2018. С. 233-235.

2. *Филина О.А., Сидорова А.А., Мукимов А.Х.* Диагностика инжекторного двигателя // Студенческая наука: современные реалии: Сборник материалов III Международной студенческой научно-практической конференции. 2017. С. 119-121.

3. *Филина О.А., Сидорова А.А., Мукимов А.Х.* Техническое диагностирование газопроводов // Новое слово в науке: стратегии развития: Сборник материалов II Международной научно-практической конференции. В 2-х томах. 2017. С. 202-204.

4. *Филина О.А., Сидорова А.А., Мукимов А.Х., Спургис В.С.* Экспресс-контроль состояния моторного масла двигателей // Научный альманах. 2017. № 9-2 (35). С. 146-149.

СОДЕРЖАНИЕ

НАУЧНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ – ЭЛЕКТРОТЕХНИКА, ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ

Секция ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ СИСТЕМЫ. ТЕХНИЧЕСКАЯ ЭКОЛОГИЯ

Бауэр В.Р., Аньшаков А.С.	Новосибирск	3
Болотин К.Е., С.Ф. Сарапулов, Д.С. Бражников	Екатеринбург	7
Болотин К.Е., Бычков С.А., Тарчуткин Н.В.	Екатеринбург	11
Бондарь А.С., Чмиленко Ф.В.	Санкт-Петербург	14
Быковский В.Н., Алифёров А.И.	Новосибирск	19
Васильева Е.П., Алиферов А.И.	Новосибирск	23
Гришина К.А., Левичев Е.Б.	Новосибирск	27
Евстратова А.Д., Горева Л.П.	Новосибирск	30
Жукова А.А., Хоршев А.А., Дзлийев С.В.	Санкт-Петербург	34
Золоторев В.В., Алиферов А.И.	Новосибирск	39
Кижаяев И.В., Фомин А.В., Андрющенко В.Ю., Тимофеев В.Н.	Красноярск	43
Коровин В.Е., Р.А. Бикеев	Новосибирск	47
Кочкин В.Д., А.И. Алиферов	Новосибирск	50
Бутин А.К., Мишкин Е.И.	Самара	54
Павлушин А.В., Плешивцева Ю.Э.	Самара	58
Панин Д.Ю.	Новосибирск	62
Ракина М.Д., Бикеев Р.А.	Новосибирск	65
Смолянов И. А., Шмаков Е. И., Тарасов Ф. Е., Сарапулов Ф. Е.	Екатеринбург	67
Стрельцова О.В., Бондарь А.С., Ишин В.В.	Санкт-Петербург	72
Фомин А.В., Кижаяев И.В., Гуляшинов А.А., Тимофеев. В.Н.	Красноярск	76
Франюк А., Шатунов А.Н.	Санкт-Петербург	80
Хоршев А. А., Цветков И. А., Дзлийев С. В.	Санкт-Петербург	83
Цветков И.А., Дзлийев С.В., Жукова А.А.	Санкт-Петербург	88
Шепелёв А.А., Горева Л.П.	Новосибирск	92

Секция ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА

Бакиев Р.Р., Шевченко А.Ф.	Новосибирск	95
Банщиков Н.А., Топорков Д.М.	Новосибирск	98
Гецинер Н.С., Шевченко А.Ф.	Новосибирск	101
Доржиева Б.С., Киселев А.В.	Томск	103
Зимогляд А.Д., Темляков А.А., Темлякова З.С.	Новосибирск	107
Кирсанова Д.О., Бейерлейн Е.В.	Томск	110
Ковтун М.А., Топорков Д.М.	Новосибирск	113
Ливанова Т.С., Коновалов С.Н., Белогусев В.Н.	Йошкар-Ола	115
Куприянова У.Е., Шарпаев И.В., Дмитриев В.С.	Томск	118
Масловец В.В., Шевченко А.Ф.	Новосибирск	122
Махов Н.В., Чусовитин Н.А.	Новосибирск	129
Попов И.Л., Брынзова А.Н., Топорков Д.М.	Новосибирск	130
Раднаев А.Б., Бейерлейн Е.В.	Новосибирск	133
Тишининов К.С., Удалых С.М., Зимогляд А.Д., Новокрещенов О.И.	Новосибирск	134
Ткачук А.А.	Санкт-Петербург	137
Удалых С.М., Тишининов К.С., Морозов В.С., Топорков Д.М.	Новосибирск	142

Секция ЭЛЕКТРОПРИВОД И АВТОМАТИКА ПРОМЫШЛЕННЫХ УСТАНОВОК И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

Белкова Д.Н., Кавешников В.М.	Новосибирск	146
Беляев Д.А., Котин Д.А.	Новосибирск	149
Васильев Н.А., Шломина Д.В., Дымов И.С.	Новосибирск	153
Васильченко Р.А., Симанкин Ф.А.	Томск	155
Водолазских А.А., Кучер Е.С.	Новосибирск	158
Евдокимова Е.С., Цамалаидзе Д.Г., Дымов И.С.	Новосибирск	160
Еланакова В.А., Котин Д.А.	Новосибирск	162
Закржевская К.Е., Котин Д.А.	Новосибирск	165
Козлов С.А., Боченков Б.М.	Новосибирск	166
Лобанов В.Ю., Нечаев А.С.	Самара	170
Лопатин Р.Е., Котин Д.А.	Новосибирск	173
Матюхова Е.С., Кучер Е.С.	Новосибирск	178

Межинских М.С., Мятаж С.В.	Новосибирск	181
Миназетдинов И.Р., Панкрац Ю.В.	Новосибирск	184
Павлов А.Ю., Котин Д.А.	Новосибирск	186
Холдин С.С., Котин Д.А.	Новосибирск	191
Черненко М.Ю., Кучер Е.С.	Новосибирск	192
Чернов И.В., Дымов И.С.,	Новосибирск	196
Бутенко В.Н., Мосин М.Е.,		
Щербаков С.В., Боченков Б.М.	Новосибирск	198

**Секция ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТРАНСПОРТ**

Аниброев В.И., Зимогляд А.Д., Бирюков В.В.	Новосибирск	202
Бахолдин Д.А., Детинов М.Б., Бирюков В.В.	Новосибирск	205
Гелеверя А.К., Дьяченко Г.И.	Новосибирск	209
Дедов С.И., Штанг А.А.	Новосибирск	211
Дубинина И.В., Мятаж С.В.	Новосибирск	214
Зимогляд А.Д., Аниброев В.И., Спиридонов Е.А.	Новосибирск	217
Кан Д.В., Борилов В.Н.	Томск	220
Капицкий Д.Ю., Довбань С.И., Бирюков В.В.	Новосибирск	222
Кузьмин А.С.	Новосибирск	224
Кузьмина О.А., Псеровская Е.Д.	Новосибирск	226
Кучмурукова А.В., Спиридонов Е.А.	Новосибирск	230
Латышев Р.Н., Земляков Е.А., Ярославцев М.В.	Новосибирск	233
Лисицын П.С., Герц Ю.В., Щуров Н.И.	Новосибирск	236
Степанов А.В., Щуров Н.И.	Новосибирск	240
Табурчинов М.И., Баранов П.Ф.	Новосибирск	244
Федотченко Ф.С., Малозёмов Б.В.	Новосибирск	248
Филина О.А., Сидорова А.А., Мукимов А.Х.	Казань	252

НАУКА. ТЕХНОЛОГИИ. ИННОВАЦИИ
Сборник научных трудов в 9 частях

г. Новосибирск, 03-07 декабря 2018 г.

Часть 5

Под ред. Гадюкиной А.В.

Подписано в печать 03.12.2018. Формат 60×84/16. Бумага офсетная.

Уч.-изд. л. 15,11. Печ. л. 16,25. Тираж 100 экз. Заказ № 5

Отпечатано в типографии

Новосибирского государственного технического университета
630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20