

## TECHNICAL SCIENCES

### ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД НА ОСНОВЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОГО СОСТАВА

**Бердиев У.Т.**

*Профессор, заведующий кафедры «Электротехника»  
Ташкентский Государственный Транспортный Университет,  
Ташкент, Республика Узбекистан*

**Сулаймонов У.Б.**

*Ассистент  
Ташкентский Государственный Транспортный Университет,  
Ташкент, Республика Узбекистан*

**Хасанов Ф.Ф.**

*Ассистент  
Ташкентский Государственный Транспортный Университет,  
Ташкент, Республика Узбекистан*

**Бердиёров У.Н.**

*Ассистент  
Ташкентский Государственный Транспортный Университет,  
Ташкент, Республика Узбекистан*

### ENERGY-EFFICIENT ELECTRIC DRIVE BASED ON COMPOSITE MATERIALS FOR AUXILIARY UNITS OF ELECTRIC ROLLING STOCK

**Berdiyev U.,**

*Professor of Tashkent State Transport University, department of "Electrotechnical"  
Tashkent, Uzbekistan*

**Sulaymonov U.,**

*Assistant of Tashkent State Transport University, department of "Electrotechnical"  
Tashkent, Uzbekistan*

**Hasanov F.,**

*Assistant of Tashkent State Transport University, department of "Electrotechnical"  
Tashkent, Uzbekistan*

**Berdiyev U.**

*Assistant of Tashkent State Transport University, department of "Electrotechnical"  
Tashkent, Uzbekistan*

#### Аннотация

В данной статье рассмотрен вопрос одним из приоритетных направлений энергоэффективных электроприводов для вспомогательных агрегатов электроподвижного состава на основе композиционных материалов.

В настоящее время для вспомогательных агрегатов электроподвижного состава используются различные двигатели постоянного и переменного тока. Для эффективного использования электрической энергии, подводимой через систему электроснабжения и многими преимуществами со стороны управления, снижение затрат, увеличение производительности, энергоэффективность, и высокое качество выпускаемой или обрабатываемого материала в основном используются асинхронные двигатели с короткозамкнутым электродвигателем. В работе для повышения энергетических показателей асинхронных электродвигателей, предлагается применение магнитомягких композиционных материалов вместо стальных стержней.

#### Abstract

This article considers the issue of one of the priority areas of energy-efficient electric drives for auxiliary units of electric rolling stock based on composite materials.

Currently, various DC and AC motors are used for auxiliary units of electric rolling stock. In order to efficiently use the electrical energy supplied through the power supply system and many advantages from the control side, cost reduction, productivity increase, energy efficiency, and high quality of the produced or processed material, asynchronous motors with a squirrel-cage motor are mainly used. In work to improve the energy performance of asynchronous electric motors, it is proposed to use soft magnetic composite materials in place of steel rods.

**Ключевые слова:** Электродвигатель, привод, вспомогательных агрегатов, преимущества, сердечник статора и ротора, холодной прокатки, насыщенные задачи, пиковые значения, качественных материалов, магнитномягких материалов.

**Keywords:** Electric motor, drive, auxiliaries, advantages, stator and rotor core, cold rolling, critical tasks, peak values, quality materials, soft magnetic materials.

Вспомогательные цепи электроподвижного состава (ЭПС) – это электрические машины и аппараты, обеспечивающие охлаждение электрооборудования тягового привода, снабжение сжатым воздухом системы пневматического торможения поезда, электропитание цепей управления, создание необходимых комфортных условий в кабине машиниста и пассажирских вагонах [1,3].

Асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором являются предпочтительным вариантом для привода вспомогательного оборудования ЭПС ввиду их дешевизны, надежности и простоты технического обслуживания. На большинстве электровозов переменного тока вспомогательные асинхронные двигатели получают трехфазное питание от расщепителя фаз, представляющего собой короткозамкнутую асинхронную машину, выполняющую одновременно функции однофазного двигателя и трехфазного генератора [3, 4].

Использование электродвигателей с короткозамкнутым ротором в паре с преобразователем частоты имеет большие преимущества в отношении затрат и энергоэффективности, по сравнению с другими промышленными решениями регулирования скорости [1, 3]. Тем не менее, преобразователь влияет на характеристики электродвигателя и может наводить помехи в питающую электросеть. Постоянное увеличение числа приложений с асинхронными электродвигателями, питаемыми от ШИМ преобразователей частоты, с регулируемой скоростью, требует хорошего понимания всей системы электропитания, а также взаимодействия между ее отдельными частями (линия электропитания - преобразователь частоты - асинхронный двигатель - нагрузка) [1, 4].

Конструкция данной машины так же, как и обычного асинхронного трехфазного электродвигателя. Сердечник статора и сердечник ротора ламинированы с ламинарами, которые отштампованы с дигамными листами холодной прокатки DW470-50 с толщиной 0,5 мм. Наружный диаметр статорного сердечника составляет 290 мм, внутренний диаметр - 160 мм, длина - 95 мм. Провод применен проводом с полилактид-эмалированной изоляцией Ф1.25QP-2/200. Ротор представляет собою конструкцию алюминий-литого ротора, наружный диаметр его составляет 158,7 мм, образ канавки является грушевидной канавкой, наклон канавки 14 мм; торцевое кольцо, импеллер, уравнильный столбик и направляющий прут отлиты из AL99.5 раз навсегда. Станина, торцевая крышка и подшипниковый щит отлиты из НТ200.

Современные направления развития электропривода является органическое объединение машины - двигателя и машины орудия и их сращивание. Это позволяет отказаться от механической передачи, упрощает кинематику, делает его более простым и надежным в работе.

Большие потенциальные возможности электропривода раскрываются по мере развития: электромашиностроения; полупроводниковой и преобразовательной техники; приборостроения и других смежных специальностей.

Благодаря этому имеются реальные предпосылки для получения различных законов и видов движения и перемещения рабочих органов средствами электроприводов.

Вес перечисленное говорит о том, что электрическая машина и электрический привод работают в сложных условиях, выполняя очень сложные требования производственного механизма.

Перечислим некоторые насыщенные задачи, которые надо решать в дальнейшем [1, 7. 9].

1. Разработка специальных технических средств для осуществления энергосбережения в массовом асинхронном электроприводе, работающим с переменной нагрузкой на валу.

2. Разработка специализированных электродвигателей для конкретных рабочих механизмов с конкретными условиями работы. При этом особо обратить внимание на разработку интегрированных с рабочими механизмами электрических машин.

3. Максимально унифицировать узлы и детали машин на основе магнитномягкого композиционного материала для применение наземном и подземном электрифицированном транспорте.

**Метод (Methods).** На сегодняшний день цепочка электрохозяйства «Выработка и передача электрической энергии» работает достаточно высокими значениями коэффициента полезного действия  $\eta$ . Этого нельзя сказать в отношении потребителя, потому что каждый день появляется новые предприниматели. Они вводят новое оборудование, и они с первого дня не работают на полную нагрузку. Это, прежде всего, объясняется малыми нагрузками применяемых электродвигателей производственных механизмов [2,3].

По этому, пока не удастся поднять значение  $\eta$  потребителя до требуемого уровня, с этим нельзя повышать эффективность всего электрохозяйства [1, 9].

Здесь имеет место несколько обстоятельств:

во-первых, на стадии проектирования неправильно подсчитаны и выбраны потребные мощности электродвигателей рабочих механизмов (слишком велики запасы мощности выбираемых электродвигателей);

во-вторых, часто механические характеристики выбранных электродвигателей не совпадает с механическими характеристиками рабочих механизмов, ни по форме и ни по величине;

в-третьих, пиковые значения коэффициентов полезного действия приводного электродвигателя и рабочего механизма не совпадают по нагрузке;

в-четвертых, большинство производственных, транспортных машин и станков - тихоходные и их скорости вращения валов не совпадают со стандартными значениями скоростей асинхронных двигателей (3000; 1500; 1000; 750 и т.д. об/мин). Отсюда и разные редукторы, которые утяжеляют, удорожают оборудование, снижают энергетические показатели и надежность работы всего оборудования. Если учесть, что две - третьих вырабатываемой республике электрической энергии потребляют электрические машины, то становится очевидным, что снижение потерь в них будет являться высоким вкладом в реализации энергосберегающей политики Республики. Это в одинаковой степени относится как к электрическим машинам большой мощности, где явно чувствуется материальная выгода от экономии электрической энергии, так и машин малой мощности. Последний объясняется наличием большого парка электрических машин малой мощности, где экономия электрической энергии лишь на один процент будет составлять в масштабе республики астрономическую цифру. Поэтому проблемы энергоснабжения, активная энергосберегающая политика непосредственно связаны энергосбережения в электрических машинах и электроприводах. Это выдвигает перед специалистами новые научно-технично-экономические задачи [4, 5, 6].

Развитие и совершенствования электрических машин могут идти по несколько взаимосвязанными направлениям:

1. Разработка и применение новых, более качественных материалов в конструкции электрических машин:

- новые изоляционные материалы;
- новые магнитопроводящие материалы;
- новые пластмассы в вспомогательных узлах машин.

2. Совершенствование конструкции и узлов известных «традиционных» видов электрических машин.

3. Разработка управляемых электрических машин, обеспечивающих разнообразные, порой очень сложные требования рабочих механизмов.

4. Создание и выпуск электродвигателей, построенных на новых -нетрадиционных принципах, которые наилучшим образом способствует обеспечению специфических режимов работы конкретных рабочих механизмов и исполнительных органов.

Изготовление листов аморфных магнитных материалов толщиной в несколько микрон позволяет создать электрические машины с рекордно низкими потерями. Однако, стоимость таких изделий существенно возрастает, что делает их неконкурентоспособными на рынке электротехнических изделий [6, 7]. Таким требованиям удовлетворяют композиционные материалы на основе металлических порошков, частицы которых покрыты очень тонким слоем с электрической изоляцией. Нанесение изолирующих слоев обеспечивает снижение электромагнитных потерь и повышает добротность композитов. Конечные свойства материалов и изго-

товленных из них изделий зависят от типов исходных порошков и способов их обработки. Для этого при синтезе важно обеспечить контролируемый химический состав и структуру компонентов, что в свою очередь гарантирует требуемые физические и функциональные свойства.

**Результаты и обсуждение (Results and Discussion).** Как показано в литературном обзоре, в настоящее время при производстве электрических машин в основном используют известные магнитных сплавы. 90% из них составляют электротехнические стали различных типов [1, 3, 4]. Такие материалы практически достигли предела своих физико-механических и эксплуатационных свойств, и для создания нового поколения изделий необходимо использовать совершенно новый класс магнитномягких материалов с улучшенными характеристиками, в качестве которых можно использовать полученные и исследованные композиты.

К магнитно-мягким материалам относятся ферро- и ферритмагнетики, обладающие низкой коэрцитивной силой, высокими значениями начальной и максимальной магнитной проницаемости, и малыми потерями на перемагничивание в постоянном и переменном поле [1, 3, 8]. В зависимости от характеристик приборов, электрических машин и других устройств к МММ предъявляют следующие требования:

- должны иметь однофазную и однородную структуру с минимальной концентрацией одно- и двумерных дефектов;
- обладать низкой энергией магнитной анизотропии, влияющей на площадь петли гистерезиса и магнитную проницаемость материала;
- обладать высокими значениями индукции насыщения, позволяющими повысить плотность магнитного потока в магнитопроводе;
- иметь относительно высокое удельное электросопротивление, влияющее на удельные потери на перемагничивание, связанных с потерями на вихревые токи;
- минимальной пористостью и минимальным содержанием неметаллических или инородных включений.

Магнитномягкие порошки или сплавы на основе железа являются одним из компонентов электротехнических изделий, которые в настоящее время заменяют электротехническую сталь в некоторых областях применения. Наиболее распространено применение магнитных сплавов на основе железа в качестве сердечников в силовых и распределительных трансформаторах [5, 7, 8].

Для материалов, работающих в переменных магнитных полях, важнейшими свойствами является начальная магнитная проницаемость и удельные магнитные потери [7]. Величина удельного электрического сопротивления определяет граничную частоту, с которой целесообразно применение данного материала.

Использование материалов возможно при небольших размерах изделия, когда исключается экранирующее действие вихревых токов и

достигается перемагничивание по всей толщине детали. Это возможно, если выполняется соотношение:

$$d \leq 10^5 \sqrt{\frac{2\rho}{\mu_{\max}}} \quad (1)$$

– где  $d$  – толщина магнитопровода, мм;  $\rho$  – удельное электрическое сопротивление материала магнитопровода, Ом·м;  $\mu_{\max}$  – максимальная магнитная проницаемость (безразмерная величина) [2, 5]. Из формулы следует, что магнитопроводы из материалов с высокой магнитной проницаемостью могут быть использованы в переменных магнитных полях при условии значительного повышения их электросопротивления или формирования слоистой структуры, причем толщина слоя не должна превышать вычисленное значение. Поскольку легированием можно увеличить удельное электрическое сопротивление не более, чем на порядок, толщина магнитопровода, работающего на частоте 50 Гц, не должна превышать утроенную толщину листа (0,35) электротехнической стали, то есть  $0,35 \cdot 3 \approx 1$  мм. Увеличение пористости также позволяет повысить удельное электросопротивление, но при этом уменьшается эффективная индукция, результатом чего в итоге становится рост суммарных потерь.

Известно, что потери на перемагничивание магнитного материала  $P$  складываются из потерь на гистерезис и потерь на вихревые токи [3, 5]:

$$P = P_e + P_g \quad (2)$$

– где  $P_e$  – потери на вихревые токи,  $P_g$  – потери на гистерезис.

Поскольку каждая частица материала покрыта изоляционным покрытием, потери на вихревые

токи минимальны. Значит, общие потери в основном складываются из потерь на гистерезис. Потери на гистерезис создаются в процессе смещения стенок доменов на начальной стадии намагничивания. Вследствие неоднородности структуры магнитного материала на перемещение стенок доменов затрачивается энергия.

Если рассмотреть тенденцию развития магнитно-мягких материалов – сердечников для трансформаторов, по данным крупнейшего производителя силовых трансформаторов – до 100 кВт, то можно видеть, что объем ламинированных сердечников на 50 Гц имеет тенденцию к уменьшению в сравнении высокочастотными системами. К примеру, трансформаторы для блоков питания мощностью порядка 100 Вт в настоящее время выполняются только высокочастотными с использованием ферритовых сердечников. Тенденция изготовления статоров и роторов электрических машин методом ламинирования на частоты 50-100 Гц, где низкая магнитная индукция ферритов не позволяет их использовать в области повышенных частот, пока сохраняется [5, 8]. Прогресс метода ламинирования в уменьшении вихревых потерь состоит в дальнейшем уменьшении толщины листа

$$P_c = \frac{\pi B_m f h}{6\rho} \quad (3)$$

Где:  $B_m$  – магнитная индукция насыщения,  $f$  – частота,  $h$  – толщина листа,  $\rho$  – удельное сопротивление.

Для снижения гистерезисных потерь обычно используют отжиг материала [7, 8]. Такой процесс снимает напряжения внутренней структуры материала, уменьшает количество дислокаций и иных дефектов, а также несколько укрупняет зерно.

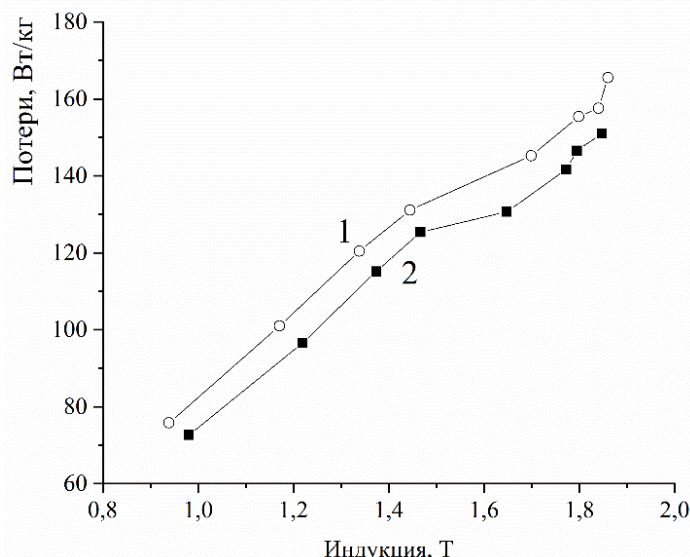


Рисунок 1. – Потери для низкочастотного композиционного материала на основе ASC100.29 до отжига (1) и после отжига в вакууме

На рисунке 1 представлены зависимости потерь от индукции для материала ASC100.29 в виде сердечников на частоте 1 кГц при перемагничивании по полной петле до отжига и после отжига в вакууме при 350°C в течение 3 часов. Установлено,

что отжиг готовых сердечников из композиционного материала позволяет снизить потери и повысить индукцию материала на 5–8 %, что фактически согласуется с [5, 7, 8]. Это дает возможность широкое внедрение композиционного материала для

элементов сердечников устройств электромашиностроение.

**Заключение (Conclusions).** Преимущества композиционного магнитного материала перед электротехнической сталью и другими магнитомягкими сплавами позволяют обеспечить более широкое их применение в электрических машинах с целью повышения удельной мощности при высокой скорости вращения с меньшими потерями на гистерезисе.

Результаты, полученные при выполнении работы, указывают на возможность разработки новых магнитомягких композиционных материалов и перспективность их практического применения для создания различных электротехнических устройств нового типа [3, 7, 8]. Выяснение зависимости механических и электромагнитных характеристик материалов от условий их получения позволяет синтезировать композиционные материалы с заданными магнитными и электрическими свойствами. На основе таких материалов можно создавать высокочастотные преобразователи, высокоэффективные осевые электродвигатели и генераторы, а также магнитные компоненты широкого применения для электротехнических устройств.

#### Список литературы

1. Милицкий, А.В. Основные тенденции развития порошковых магнитомягких материалов / А.В. Милицкий, Н.В. Милицкая, О.В. Власова // Процессы механической обработки в машиностроении. – 2010. – Вып.9. – С.3-16.
2. Тульчинский, Л.Н. Порошковые магнитомягкие материалы / Л.Н. Тульчинский, А.А. Панасюк // Порошковая металлургия. – 1995. – №7/8. – С.53–67.
3. Магнитомягкие материалы на основе железа, используемые в электромашиностроении / А.К. Вечер, Г.А. Говор, У.Т. Бердиев, Ф.Ф. Хасанов // Вестник ТашИИТ. – 2019. – № 3. – С. 212–217.

4. Композиционные материалы на основе порошков железа / А.К. Вечер, Г.А. Говор, К.И. Янушкевич, У.Т. Бердиев, Ф.Ф. Хасанов // Вестн. Нац. акад. наук Беларуси. Сер. физ.-техн. наук. – 2020. – Т. 65, № 1. – С. 17–24.

5. Композиционные материалы на основе металлических порошков и их применение в технике / А.К. Вечер, Г.А. Говор, К.И. Янушкевич, М. Пшыбыльски, Й. Зукровски // VI Конгресс физиков Беларуси: сб. науч. трудов, Минск, 20-23 ноября 2017 г. / Институт физики НАН Беларуси: редкол. С.Я. Килин (гл.ред) [и др.] – Минск, 2017. – С. 241–242.

6. A U Gapparov, G A Govor, U T Berdiyev, F F Hasanov, and A M Kurbanov. Magnetic-soft materials based on iron for electromechanical engineering, International Scientific Conference ICECAE 2020, IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 614 (2020) 012048

7. Chih-Wen, C. Magnetism and Metallurgy of Soft Magnetic Materials / C. Chih-Wen // Ed. Courier Corporation, 2013. – 592 p.

8. Berdiyev U.T., Sulaymonov U.B., Hasanov F.F. MAGNETIC PROPERTIES OF SOFT MAGNETIC COMPOSITES USED IN ELECTROMECHANICAL ENGINEERING., Annali d'Italia (Italy's scientific journal) is a peer-reviewed European journal covering top themes and problems in various fields of science. №31 2022, email: info@anditalia.com site: <https://www.anditalia.com>, pp-118-124

9. Akhmedov, A. The influence of production conditions on the electrophysical parameters of piezoceramics for different applications / Akhmedov, A., Sauchuk, G., Yurkevich, N., Khudoyberganov, S., Bazarov, M., Karshiev, K. // E3S Web of Conferences, 2021, 264, 04020.

10. Сабиров, А. К. Эмиссионные свойства сплава Та-Нf / А. К. Сабиров, С. Б. Худойберганов // Точная наука. – 2019. – № 40. – С. 7-8.