

## УДК 621.3

А.В. МАХИЯНОВ, аспирант гр. А2773/16-21-01 (УГНТУ)

И.И. БАЛГАЗИН, аспирант ИНЭБ (УУНиТ)

С.О. МИНИАХМЕТОВА, студент гр. БОС-22-01 (УГНТУ)

Научный руководитель Р.Р. САТТАРОВ, проф., д.т.н., доцент (УГНТУ)  
г. Уфа

### **ТЯГОВЫЕ ДВИГАТЕЛИ ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В КАЧЕСТВЕ МОТОР-КОЛЕСА**

**Аннотация.** В последнее время большое внимание в мире уделяется электрификации автотранспорта из-за опасений по поводу чрезмерного истощения ископаемого топлива и загрязнения окружающей среды. Общеизвестные системы привода обычно включают сцепление, редуктор и механический дифференциал, что приводит к потере мощности автотранспортного средства, шуму, вибрации и дополнительному обслуживанию. Технология мотор-колеса устраняет необходимость в этих компонентах, обеспечивая такие преимущества, как более высокая эффективность системы, улучшенное управление и повышенный комфорт для пассажиров. Несомненно, важным элементом электрического транспортного средства является тяговый двигатель. Электрические тяговые двигатели имеют высокий начальный крутящий момент, что позволяет электромобилям разгоняться быстрее и обеспечивает плавное ускорение. На сегодняшний день разнообразие тяговых двигателей для электротранспорта велико, к ним относят: асинхронные, синхронные и вентильно-индукторные двигатели, электрические машины постоянного тока. В данной статье проводится анализ тяговых электрических двигателей электрических автотранспортных средств, описываются их преимущества и недостатки. Отдается предпочтение вентильно-индукторным двигателям.

**Ключевые слова:** электротранспорт, электродвигатели, мотор-колесо, тяговый привод, асинхронный двигатель, синхронный двигатель, двигатель постоянного тока, вентильно-индукторный двигатель.

В настоящее время в качестве тяговых двигателей электрических автотранспортных средств используются следующие типы известных электрических машин: асинхронные двигатели (АД), синхронные двигатели (СД), двигатели постоянного тока (ДПТ), вентильно-индукторные двигатели (ВИД).

Тяговый двигатель электрического автотранспортного средства в виде двигателя постоянного тока обладает следующими достоинствами:

- реализация большого крутящего момента при низких скоростях вращения якоря;
- ток, подаваемый на двигатель, легко контролируется, что позволяет регулировать скорость якоря;
- жесткие механические характеристики, при возрастании момента наблюдается незначительное снижение частоты вращения якоря.

Однако при использовании ДПТ в качестве тягового привода электрического автотранспортного средства стоит учитывать наличие щеточно-коллекторного узла в его конструкции. Щеточно-коллекторный узел при износе склонен к искрению, что снижает надежность и срок службы данного двигателя более чем в 10 раз по сравнению с другими типами электрических машин, описанными в статье [1].

Рассмотрим трехфазный асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором в качестве тягового двигателя. На рисунке 1 изображен асинхронный тяговый двигатель Drive Unite электромобиля Tesla Model S, максимальные обороты которого составляют 16 000 об/мин [2]. Многие инженеры и научные сотрудники мира в основном отдают предпочтение данному типу электрической машины в качестве привода [1]. Асинхронный двигатель может быть установлен непосредственно в ступице колеса, что исключает необходимость в сложной трансмиссии и уменьшает общий вес автомобиля. Благодаря отсутствию щеток и коммутации, асинхронный двигатель может быть легко управляем с помощью регуляторов напряжения, что позволяет точно контролировать скорость и направление движения. Простота конструкции асинхронного двигателя делает его обслуживание проще и дешевле относительно других типов двигателей.



Рис. 1. Асинхронный тяговый двигатель Drive Unite  
электромобиля Tesla Model S [2].

Тем не менее, такие машины уступают по массогабаритным характеристикам синхронным двигателям с постоянными магнитами и вентильно-индукторным двигателям, которые будут рассмотрены далее.

Синхронные двигатели с постоянными магнитами, в отличие от асинхронных, генерируют магнитное поле за счет постоянных магнитов, установленных внутри ротора. Это обеспечивает высокий коэффициент полезного действия и стабильную работу при различных нагрузках. СД с постоянными магнитами обладают абсолютно жесткими механическими характеристиками, а также способны развивать высокий крутящий момент при старте, что особенно важно для электромобилей, которым необходимо быстрое ускорение. Существует немало разработок в области СД с постоянными магнитами, которые поднимают как общую энергоэффективность автотранспортного средства, так и качество расчета магнитного поля при моделировании [3-7]. Однако магнитоэлектрические двигатели обладают низкой индуктивностью в обмотках, что вызывает пульсации тока. Это требует либо повышения частоты широтно-импульсной модуляции силового преобразователя, либо применения дросселей с высокой индуктивностью, что значительно увеличивает габариты системы.

В качестве наиболее перспективного тягового привода выделяют вентильно-индукторный двигатель с самовозбуждением, представленный на рисунке 2 [8].

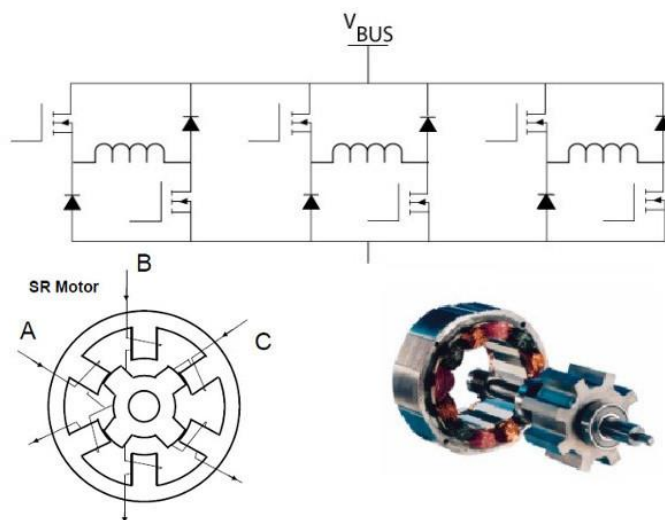


Рис. 2. Вентильно-индукторный двигатель с самовозбуждением [7].

Он отличается простотой конструкции, высокими надежностью и коэффициентом полезного действия, превосходя АД с короткозамкнутым ротором, обладает широким диапазоном регулирования скорости и стабильными механическими характеристиками. По рабочим параметрам ВИД сопоставим с магнитоэлектрическим двигателем, однако его производство проще и дешевле примерно в 4 раза благодаря отсутствию постоянных магнитов в конструкции статора и ротора. Стоит отметить, что полностью

данный тип двигателя раскрывается при применении микропроцессорной системы управления [1]. Также для электротяги можно использовать семифазные двигателя, как альтернатива трехфазному [9, 10].

Таким образом, в данной статье был произведен анализ тяговых двигателей электрических автотранспортных средств, были описаны их преимущества и недостатки. Предпочтение было отдано вентильно-индукторному двигателю.

#### Список литературы:

1. Чернышев А. Д. Сравнительный анализ различных типов электрических двигателей в составе тягового привода электрической трансмиссии // Электротехника: сетевой электронный научный журнал. – 2016. – Т. 3. – №. 3. – С. 47-54.

2. Немного информации о движущей силе Tesla Model S. URL: <https://www.drive2.ru/b/469150067773669997/?ysclid=m28xinnaiy650298025/> (дата обращения: 14.10.2024).

3. Sattarov, R. Twin-Generator Reconfigurable Set for Wind Power Plant / R. Sattarov, A. Makhianov // Proceedings 2023 Russian Workshop on Power Engineering and Automation of Metallurgy Industry: Research & Practice (PE-AMI), Magnitogorsk, 29 сентября – 01 2023 года. – Magnitogorsk: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2023. – P. 145-149.

4. Махиянов, А. В. Магнитоэлектрический генератор с коммутируемыми бифилярными обмотками / А. В. Махиянов // Энергетические системы (ICES-2023A): Материалы конференции VII Международной научно-технической конференции, Белгород, 30 июля 2023 года / Отв. редактор П.А. Трубаев. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2023. – С. 51-54.

5. Патент на полезную модель № 216073 U1 Российская Федерация, МПК H02K 21/12. Магнитоэлектрический генератор с бифилярной обмоткой: № 2022118402: заявл. 02.11.2021: опубл. 16.01.2023 / Р. Р. Саттаров, А. В. Махиянов, Т. Р. Зиганшин; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Уфимский государственный нефтяной технический университет".

6. Махиянов, А. В. Магнитоэлектрический генератор с экранированным статором / А. В. Махиянов // Энергосбережение и инновационные технологии в топливно-энергетическом комплексе: материалы Национальной с международным участием научно-практической конференции студентов, аспирантов, учёных и специалистов: в 2 т., Тюмень, 20–22 декабря 2022 года. Том 2. – Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2022. – С. 254-257.

7. Sattarov, R. R. 2D model of axial-flux eddy current brakes with slotted conductive disk rotor / R. R. Sattarov // 2017 International Siberian Conference

on Control and Communications, SIBCON 2017 - Proceedings, Astana, 29–30 июня 2017 года. – Astana, 2017. – P. 7998501. – DOI 10.1109/SIBCON.2017.7998501. – EDN XOHBLH.

8. Электродвигатели: какие они бывают. URL: [https://habr.com/ru/companies/npf\\_vektor/articles/371749/](https://habr.com/ru/companies/npf_vektor/articles/371749/) (дата обращения: 14.10.2024).

9. Семифазный двигатель как альтернатива трехфазному двигателю в современной электротяге / В. М. Терешкин, Д. А. Гришин, В. В. Терешкин, И. И. Балгазин // Новое в российской электроэнергетике. – 2021. – № 1. – С. 46-56.

10. Алгоритмы управления семифазным двигателем при реализации пространственной векторной модуляции / В. М. Терешкин, Д. А. Гришин, В. В. Терешкин, И. И. Балгазин // Вестник машиностроения. – 2022. – № 2. – С. 27-33. – DOI 10.36652/0042-4633-2022-2-27-33.

Информация об авторах:

Махиянов Артур Валерьевич, аспирант гр. А2773/16-21-01, УГНТУ, 450064, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. Космонавтов, д. 1, [artur.makhiyanov.sems510@mail.ru](mailto:artur.makhiyanov.sems510@mail.ru)

Балгазин Искандер Ильсурович, аспирант, УУНИТ, 450076, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. Заки Валиди, д. 32., [ibalgazin@yandex.ru](mailto:ibalgazin@yandex.ru)

Миниахметова София Олеговна, студент гр. БОС-22-01, УГНТУ, 450064, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. Космонавтов, д. 1, [sof.mini04@gmail.com](mailto:sof.mini04@gmail.com)