

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования



**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Направление подготовки/профиль 13.06.01 электро- и теплотехника/ 05.09.01  
электромеханика и электрические аппараты

Школа Инженерная школа энергетики(ИШЭ)

Отделение Электроэнергетики и электротехники

**Научный доклад об основных результатах подготовленной  
научно-квалификационной работы**

Тема научного доклада
<b>Магнитоэлектрический двигатель для привода рулевой колонки автотранспортного средства</b>

УДК 621.313.8-83:629.3.027.2

Аспирант

Группа	ФИО	Подпись	Дата
A4-26	Серов Александр Борисович		

Руководителя профиля подготовки

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Муравлев О.П.	д.т.н. профессор		

Руководитель отделения

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор, Руководитель отделения	Дементьев Ю.Н.	к.т.н., доцент		

Научный руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Гарганеев А.Г.	д.т.н., профессор		

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** На сегодняшний день для обеспечения наиболее комфортного вождения легковой автотранспорт оснащён усилителем рулевого управления. Использование усилителя снижает физическую нагрузку на руки водителя, обеспечивая лучшее быстродействие и точность управления автотранспортным средством.

Оснащение автомобиля усилителем рулевого управления и возможность его реализации в принципе, зависят, как правило, от класса автомобиля. Относительно легковых автомобилей малого и среднего классов, где определяющими факторами являются компактность установки и её энергоэффективность, применение электроусилителя рулевого управления является наиболее рациональным решением.

В настоящее время в основе электроусилителей рулевого управления выступают бесконтактные регулируемые электроприводы. Для реализации данной электромеханической системы в составе электроусилителя применяются вентильные двигатели на базе синхронных машин с возбуждением от постоянных магнитов, т.е. магнитоэлектрические, питаемые от автономного инвертора. Такие машины при низких частотах вращения обладают меньшими удельными массами, повышенными КПД, а также лучшими виброакустическими показателями в сравнении с асинхронными машинами схожего типоразмера. В структуре вентильного синхронная машина, питаемая от инвертора, имеет более простую систему управления, что немаловажно, учитывая высокую стоимость преобразователей. Вдобавок, достигнутые в последнее время успехи в материаловедении и технологии производства постоянных магнитов позволяют создавать бесконтактные синхронные машины по многим показателям находящиеся вне конкуренции. Весомый вклад в развитие отечественной теории магнитоэлектрических машин внесли ученые Балагуров В.А., Бут Д.А., Ледовский А.Н., Галтеев Ф.Ф., Ларионов А.Н., Овчинников Е.И., Шевченко А.Ф.

Наличие неотключаемого магнитного потока индуктора в синхронных магнитоэлектрических машинах требует иного подхода к конструктивному исполнению машины и, особенно, к соотношению числа зубцов якоря и числа полюсов индуктора. Так в многополюсных электродвигателях с зубцовым слоем статора, при ограничении радиального размера, правильный выбор размеров зубцов, их числа и числа полюсов ротора приводит к увеличению вращающего момента, уменьшению пульсации магнитного потока, уменьшению потерь и повышению КПД. Особую актуальность приобретает эта проблема в магнитоэлектрических двигателях в структуре электропривода рулевой колонки. Здесь неправильное соотношение чисел зубцов и полюсов приводит к появлению значительных реактивных моментов (моментов залипания), что существенно влияет на мощность силовых преобразовательных устройств, пульсации вращающих моментов, и как следствие, дискомфорт в управлении автомобилем в целом.

**Цель работы.** Целью научной квалификационной работы является исследование магнитоэлектрического двигателя, применяемого в структуре вентильного электропривода рулевой колонки и разработка схемотехнических, конструкторских и технологических решений, позволяющих повысить качество работы двигателя.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи.

1. Проанализировать условия работы электропривода рулевой колонки и разработать требования к усилителю рулевого управления.

2. Разработать имитационную модель магнитоэлектрического двигателя рулевой колонки для исследования магнитного состояния элементов двигателя.

3. Разработать имитационную модель магнитоэлектрического двигателя рулевой колонки для исследования работы при совместном включении

двигателя, автономного инвертора напряжения (АИН) и системы управления в динамичном режиме.

4. Модернизировать конструкцию магнитоэлектрического двигателя рулевой колонки.

**Методы исследования.** Перечисленные в диссертационной работе задачи решаются методами теории электрических машин и численного моделирования.

В проведенных исследованиях использованы следующие программные продукты: Mathcad Prime 4.0, ANSYS Electromagnetic Desktop.

**Научная новизна** работы заключается в следующем:

1. Создана комплексная имитационная модель магнитоэлектрического двигателя рулевой колонки в динамическом режиме работы, учитывающая совместную работу с автономным инвертором напряжения и системой управления. Полученная модель отличается от известных ранее вариантов подробным рассмотрением совместного влияния полупроводниковых компонентов системы на работу магнитоэлектрического двигателя, а также реализацией связанного расчета магнитоэлектрического двигателя с компонентами вентильного электропривода и использованием разных программных сред.

2. На основе комплексного имитационного моделирования системы «вентильный электропривод» определены величины возникающих пульсаций электромагнитного момента, вызванные формой напряжения инвертора и влияние модуляционных процессов на величину пульсаций электромагнитного момента двигателя.

**Практическая ценность** работы заключается в следующем.

1. Разработанная комплексная имитационная модель может быть использована для исследования вновь разрабатываемых систем с

магнитоэлектрическими машинами, работающими в структуре вентильного электропривода.

2. Разработаны рекомендации по конфигурации магнитной системы двигателя рулевой колонки, обеспечивающие необходимые выходные показатели двигателя в условиях ограничения по габаритным размерам.

3. Определены рекомендуемые соотношения величины напряжения двигателя и основной (выходной) частоты автономного инвертора напряжения для снижения пульсаций электромагнитного момента двигателя.

**Ключевые слова:** Магнитоэлектрический двигатель рулевой колонки, ЭУР, Ansys Electromagnetic Desktop, Maxwell 2D, Simplorer, реактивный момент, имитационное моделирование, метод конечных элементов.