

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА ГУ 212.224.14,
ПО ДИССЕРТАЦИИ
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

Аттестационное дело № _____
Решение диссертационного совета от 23.12.2020 г. №15

О присуждении **Тарнецкой Александре Викторовне**, гражданину РФ, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Энергоэффективный электропривод ленточного конвейера на базе безредукторного синхронного мотор-барабана» по специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы принята к защите 14.10.2020, протокол заседания №10, диссертационным советом ГУ 212.224.14 федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет» Минобрнауки России; 199106, Санкт-Петербург, 21-я линия, д. 2; приказ № 1232 адм от 23.09.2019 г.

Соискатель, **Тарнецкая Александра Викторовна**, 1992 года рождения, в 2015 году окончила федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева» по специальности 190604 Электропривод и автоматика промышленных установок и технологических комплексов. В 2020 году окончила заочную аспирантуру федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева» по направлению подготовки 13.06.01 – Электро- и теплотехника. Диплом об окончании аспирантуры получен 09.06.2020 г.

Диссертация выполнена на кафедре электропривода и автоматизации в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева» Минобрнауки России.

Научный руководитель – доктор технических наук, доцент **Семькина Ирина Юрьевна**, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Севастопольский государственный университет», учебно-научный центр информационных технологий обучения, директор.

Официальные оппоненты:

Григорьев Максим Анатольевич – доктор технических наук, профессор, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Уральский государственный Университет (национальный исследовательский университет)», кафедра «Автоматизированный электропривод», и.о. заведующего кафедрой;

Нос Олег Викторович – доктор технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный технический университет», кафедра проектирования технологических машин, профессор
дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – **федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»**, г. Томск, в своем положительном отзыве, подписанном **Гарганеевым Александром Георгиевичем**, доктором технических наук, профессором Инженерной школы энергетики, утвержденном **Юсубовым Мехманом Сулейман оглы**, доктором химических наук, проректором по научной работе, указала, что диссертация «Энергоэффективный электропривод ленточного конвейера на базе безредукторного синхронного мотор-барабана» является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задачи повышения эффективности тяговых электроприводов ленточного конвейера, имеющей значение для развития транспортных систем при добыче полезных ископаемых.

Результаты диссертационной работы в достаточной степени освещены в 12 печатных работах, в том числе в 2 статьях — в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, в 3 статьях— в изданиях, входящих в международные базы данных и системы цитирования (Web Of Science и Scopus).

Общий объем — 2,8 печатных листов, в том числе 2,2 печатных листа соискателя.

Научные работы по теме диссертации:

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ:

1. **Тарнецкая, А.В.** Современные бездатчиковые методы оценивания положения неподвижного ротора синхронного двигателя с постоянными магнитами / И.Ю. Семькина, А.В. Тарнецкая // Вестник КузГТУ. – 2017. – № 2. – С. 126-132.

Личный вклад соискателя: сравнение бездатчиковых методов

оценивания положения неподвижного ротора синхронного двигателя с постоянными магнитами с целью обоснования наиболее подходящего метода для применения на низких и близких к нулю скоростях вращения.

2. Семькина, И.Ю. Система управления электроприводом ленточного конвейера на базе безредукторного синхронного мотор-барабана / И.Ю. Семькина, **А.В. Тарнецкая** // Горное оборудование и электромеханика. – 2019. – № 1. – С. 47-53.

Личный вклад соискателя: разработка компьютерной модели системы управления электроприводом ленточного конвейера на базе безредукторного синхронного мотор-барабана и моделирование плавного пуска конвейера под нагрузкой.

Публикации в изданиях, входящих в базу цитирования Scopus:

3. Semykina I. Yu. Magnet Synchronous Machine of Mine Belt Conveyor Gearless Drum-Motor / I. Yu. Semykina, **A.V. Tarnetskaya** // Environment, Energy and Earth Sciences (E3S) Web of Conferences. – 2018. – № 41. – DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20184103014>.

Личный вклад соискателя: получение параметров схемы замещения тихоходного синхронного двигателя на постоянных магнитах, удовлетворяющего заданным требованиям по мощности, механическому моменту и с КПД не ниже 90%, конечно-элементным методом.

4. Semykina I.Yu. Control of energy efficient belt conveyor gearless drummotor / I.Yu. Semykina, **A.V. Tarnetskaya** // Energy Web and Information Technologies. – 2019. – Iss. 21. – DOI 10.4108/eai.13-7-2018.156435.

Личный вклад соискателя: обоснование метода векторного управления энергоэффективным безредукторным мотор-барабаном ленточного конвейера с учетом особенностей тихоходного синхронного двигателя на постоянных магнитах и при прямой передаче момента с мотор-барабана на ленту конвейера.

5. Semykina I.Yu. The design of control system for gearless synchronous drum-motor of the underground mine belt conveyor / I.Yu. Semykina, **A.V. Tarnetskaya** // Environment, Energy and Earth Sciences (E3S) Web of Conferences. – 2019. – Vol. 105. – DOI: 10.1051/e3sconf/201910503004.

Личный вклад соискателя: разработка системы векторного управления безредукторным мотор-барабаном шахтного ленточного конвейера по принципу прямого управления моментом с пространственно-векторной модуляцией, разработка задатчика интенсивности для регулирования скорости в зависимости от входного грузопотока на примере опорных данных о грузопотоке с шахты им. С.М. Кирова.

Прочие публикации:

6. **Тарнецкая, А.В.** Актуальность разработки безредукторного мотор-барабана с синхронным двигателем для шахтных ленточных конвейеров / А.В. Тарнецкая, И.Ю.Семыкина // Энергетика и энергосбережение: теория и практика: материалы II Всероссийской научно-практической конференции, 2–4 декабря 2015. – Кемерово: КузГТУ, 2015.

Личный вклад соискателя: анализ актуальности разработки электропривода ленточного конвейера на базе безредукторного синхронного мотор-барабана, сравнение с традиционными типами электропривода.

7. **Тарнецкая, А.В.** Проблемы моделирования пуска синхронных двигателей с постоянными магнитами / А.В. Тарнецкая, И.Ю. Семыкина // Энергостарт: сборник материалов всероссийской научно-практической школы, 11-25 июля 2016. – Кемерово: КузГТУ, 2016.

Личный вклад соискателя: анализ трудностей, возникающих при пуске синхронных двигателей с постоянными магнитами, поиск методов и решений для запуска тихоходных синхронных машин с постоянными магнитами.

8. Semykina I. The control method selection for the slow-moving permanent magnet synchronous motor used in the belt conveyor electric drive for the underground mining / I. Semykina, **A. Tarneckaya** // Proceedings of the international conference on integrated innovative development of Zarafshan region: achievements, challenges and prospects, 26-27 Oktober 2017. – Toshkent: Muharrir nashriyoti, 2017. – P. 175-180.

Личный вклад соискателя: сравнение широко используемых методов векторного управления синхронным двигателем на постоянных магнитов и получении сравнительной таблицы по критериям быстродействия, точности регулирования, пульсаций момента и тока, а также требуемой вычислительной мощности.

9. Семыкина, И.Ю. Компенсация зубцового момента высокомоощного тихоходного синхронного двигателя с постоянными магнитами / И.Ю. Семыкина, **А.В. Тарнецкая** // Сборник материалов III всероссийской научно-практической конференции «Энергетика и энергосбережение: теория и практика», 13-15 декабря 2017. – Кемерово: КузГТУ, 2017. – С. 319 1-6.

Личный вклад соискателя: выбор конструктивных методов компенсации зубцового момента высокомоощного тихоходного синхронного двигателя с постоянными магнитами при получении его параметров методом конечно-элементного моделирования, а также получение уравнения зубцового момента данного двигателя для его дальнейшей компенсации при управлении.

10. Семькина, И.Ю. Задачи управления синхронным электроприводом безредукторного мотор-барабана ленточного конвейера / И.Ю. Семькина, **А.В. Тарнецкая** // Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики: IPDME-2017: сборник трудов Международной научно-практической конференции, 23-24 марта 2017. – СПб: Санкт-Петербургский горный университет, 2017. – С. 209-211.

Личный вклад автора: формулирование задач управления синхронным безредукторным тяговым электроприводом ленточного конвейера в функции входного грузопотока.

11. **Тарнецкая, А.В.** Управление синхронным двигателем с постоянными магнитами безредукторного мотор-барабана ленточного конвейера / И.Ю. Семькина, А.В. Тарнецкая // «Экологические проблемы промышленно развитых и ресурсодобывающих регионов: пути решения»: сборник трудов II Всероссийской молодежной научно-практической конференции, 2017. – Кемерово: КузГТУ, 2017. – С. 408.

Личный вклад автора: разработка структуры системы управления тихоходным синхронным двигателем с постоянными магнитами, моделирование системы управление в среде Matlab Simulink.

12. Семькина, И.Ю. Система векторного управления безредукторным синхронным мотор-барабаном ленточного конвейера / И.Ю. Семькина, **А.В. Тарнецкая** // Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики: IPDME-2018: сборник тезисов Международной научно-практической конференции, 12-13 апреля 2018. – СПб: Санкт-Петербургский горный университет, 2018. – С. 38-39.

Личный вклад автора: разработка системы векторного безредукторным синхронным мотор-барабаном ленточного конвейера по принципам полеориентированного управления с классической ШИМ и прямого управления моментом с пространственно-векторной модуляцией в среде Matlab Simulink.

В диссертации **Тарнецкой А.В.** отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных работах соискателя, в которых изложены основные научные результаты диссертации.

Апробация работы. Основное содержание работы и ее результаты докладывались на следующих конференциях: Всероссийская научно-практическая конференции «Энергетика и энергосбережение: теория и практика» (Кемерово, 2015 г.), Международная научно-практическая конференция «Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики: IPDME» (г. Санкт-Петербург, 2017 г.), Второй международный инновационный горный симпозиум (г. Кемерово, 2017 г.),

Всероссийская научно-практическая конференция: Энергетика и энергосбережение: теория и практика (г. Кемерово, 2017 г.), Международная конференция «Integrated innovative development of Zarafshan region: achievements, challenges and prospects» (г. Навои, Узбекистан, 2017 г.), Международная научно-практическая конференция «Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики: IPDME» (г. Санкт-Петербург, 2018 г.).

На диссертацию и автореферат поступили отзывы от: заведующего кафедрой «Электрические машины и общая электротехника» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Омский государственный университет путей сообщения», д.т.н., профессора **В.В. Харламова** и доцента кафедры «Электрические машины и общая электротехника», к.т.н., доцента **Д.И. Попова**; директора ООО «НПФ Мехатроника-Про», к.т.н. **Н.В. Гусева**; заведующего кафедрой электропривода и автоматизации промышленных установок федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», к.т.н., доцента **М.С. Куленко** и доцента кафедры электропривода и автоматизации промышленных установок, к.т.н., доцента **А.В. Вилкова**; заведующего кафедрой электротехники, электропривода и промышленной электроники федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Сибирский государственный индустриальный университет», к.т.н., доцента **В.А. Кубарева**; профессора кафедры электрооборудования и автоматики федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Сибирский государственный университет водного транспорта», д.т.н. **Ю.П. Филюшова**; профессора кафедры электропривода, автоматики и управления в технических системах федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный технический университет», д.т.н., профессора **А.М. Литвиненко**.

В отзывах дана положительная оценка проведенных исследований, отмечена актуальность выбранной темы, высокая степень проработки вопроса и научный подход к решению поставленных задач, однако имеется ряд замечаний:

1. Из текста автореферата не ясно, каким образом в полученной автором математической модели тихоходного синхронного двигателя на постоянных магнитах (стр. 9) учитываются дополнительные пульсации зубцового момента (д.т.н. **В.В. Харламов**).

2. Отсутствует информация об оценке достоверности основных научных положений и выводов, нет данных об экспериментальной проверке результатов (к.т.н. **В.В. Харламов**).

3. В автореферате отсутствует схема использованного для управления скоростью тихоходного СДПМ пятиуровневого инвертора и не описано, насколько детально учитывались параметры этой схемы при моделировании (к.т.н. **Н.В. Гусев**).

4. Не приведена информация о патентной защите полученных в диссертации разработок (к.т.н. **Н.В. Гусев**).

5. Не показано, как конструктивно встроен синхронный двигатель внутрь мотор-барабана, какие габариты мотор-барабана и как передается вращающий момент двигателя на сам барабан, а по рисунку с распределением электромагнитного поля тихоходного СД на постоянных магнитах трудно судить, есть ли там какие-то дополнительные кинематические передачи или нет (к.т.н. **М.С. Куленко**).

6. Не рассмотрен альтернативный вариант мотор-барабана с асинхронным двигателем обращенной конструкции (с внешним ротором), где вообще не нужны какие-либо дополнительные кинематические передачи (к.т.н. **М.С. Куленко**).

7. Из рисунка 6 автореферата непонятно, по какому технологическому процессу реализована обратная связь в системе управления многодвигательным электроприводом с двумя мотор-барабанами и натяжным устройством; какой двигатель ведущий, а какой ведомый, какова конструкция натяжного устройства, чему равны линейные скорости перемещения ленты на мотор-барабанах, длина участка между мотор-барабанами, сила натяжения ленты конвейера, статический момент сопротивления, модуль упругости и вес самой ленты; как определяются упругий момент и частота собственных колебаний системы, как они коррелируют с колебаниями механического момента, приведенного на рисунке 9 (к.т.н. **М.С. Куленко**).

8. Не приведена окончательная структурная схема математической модели, по которой были получены переходные процессы на рис. 9-13, что позволило бы судить о взаимосвязях между элементами электропривода в целом, особенно в двухмассовой системе (к.т.н. **М.С. Куленко**).

9. В автореферате отсутствует обоснование выбора для сравнения вариантов систем векторного управления. Из рассмотрения исключены варианты нелинейного построения систем с прямым управлением моментом (к.т.н. **М.С. Куленко**).

10. Из автореферата не ясно, каким образом проводилась оценка достоверности результатов исследований и полученных математических моделей (к.т.н. **В.А. Кубарев**).

11. В автореферате не указано, соответствует ли разработанная система действующим в настоящее время «Правилам безопасности в угольных шахтах» и «Единым правилам безопасности при разработке рудных, нерудных и россыпных месторождений полезных ископаемых подземным способом». Может ли разработанная система применяться в угольных шахтах и рудниках. (к.т.н. **В.А. Кубарев**).

12. В уравнениях математической модели (1) автореферата не все переменные обозначены (д.т.н. **Ю.П. Филюшов**).

13. В соответствии с уравнением (3.9) стр. 56 диссертации, контур тока настроен на модульный, а не на симметричный оптимум (д.т.н. **Ю.П. Филюшов**).

14. Следовало более подробно пояснить метод снижения колебаний электромагнитного момента в явнополюсной синхронной машине (д.т.н. **Ю.П. Филюшов**).

15. В автореферате неясно, какие типы датчиков используются для переключения трехпозиционных реле (д.т.н. **А.М. Литвиненко**)

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается наличием исследований и публикаций по теме диссертационной работы и их компетентностью в области диссертационного исследования.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

предложена система энергоэффективного тягового электропривода ленточного конвейера на базе безредукторного синхронного мотор-барабана;

разработана система векторного управления безредукторным синхронным мотор-барабаном по принципу прямого управления моментом;

разработана система регулирования скорости движения ленты конвейера, приводимого безредукторным синхронным мотор-барабаном, работающая в функции входного грузопотока;

доказана более высокая энергоэффективность безредукторного синхронного мотор-барабана, регулируемого в функции входного грузопотока, по сравнению с традиционным асинхронным редукторным электроприводом.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

получены сосредоточенные параметры тихоходного СДПМ 690 кВт, мощность, механический момент которого сопоставимы с мощностью и моментом опорного асинхронного редукторного электропривода ленточного конвейера при КПД равном 93,8%;

использована математическая модель тихоходного синхронного двигателя на постоянных магнитах, в которой дополнительно учитываются пульсации зубцового момента для их дальнейшей компенсации при синтезе регуляторов;

проведено теоретическое сравнение вариантов управления тихоходным синхронным двигателем на постоянных магнитах;

разработана система регулирования скорости безредукторного синхронного мотор-барабана, в которой задание скорости формируется с помощью задатчиков интенсивности и блоков, обеспечивающих усреднение входного грузопотока на фиксированном промежутке времени.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

доказана возможность практической реализации безредукторного синхронного мотор-барабана, который может быть использован в качестве тягового барабана шахтного ленточного конвейера;

проведено сравнение технико-экономических показателей безредукторного синхронного мотор-барабана и асинхронного редукторного электропривода с аналогичными характеристиками;

обоснованы преимущества безредукторного синхронного мотор-барабана по массогабаритным показателям при больших значениях КПД, механического момента и мощности;

Оценка достоверности результатов выявила:

результаты исследований получены с использованием апробированных методов математического и имитационного моделирования, в том числе лицензированных программных сред MotorSolve и MagNet Infolytica для конечно-элементного моделирования тихоходного синхронного двигателя на постоянных магнитах и Matlab-Simulink для моделирования системы электропривода;

теория построена на известных закономерностях и проверяемых данных и согласуется с опубликованными ранее экспериментальными данными других исследователей по теме диссертации;

идея базируется на результатах анализа и обобщении зарубежного опыта по внедрению безредукторного синхронного электропривода для ленточных конвейеров и разработке безредукторных синхронных мотор-барабанов малой мощности;

использованы современные методики поиска, сбора и обработки исходной информации при решении задач диссертационной работы.

Личный вклад соискателя состоит в постановке цели и задач исследования; в анализе зарубежной и отечественной научно-технической литературы, существующих конструкций безредукторного синхронного электропривода ленточных конвейеров, особенностей управления тихоходными синхронными двигателями на постоянных магнитах и современных методов управления; в получении параметров тихоходного синхронного двигателя на постоянных магнитах методом конечно-элементного моделирования; разработке системы векторного управления безредукторным синхронным мотор-барабаном по принципу прямого управления моментом с пространственно-векторной модуляцией; в разработке системы электропривода ленточного конвейера на базе безредукторного синхронного мотор-барабана, регулируемого в функции входного грузопотока; в проведении технико-экономического сравнения нового вида электропривода с аналогичным по характеристикам традиционным асинхронным редукторным электроприводом для доказательства энергоэффективности безредукторного синхронного мотор-барабана; в формулировке основных научных положений и выводов, а также в подготовке текстов научных публикаций и диссертации.

На заседании 23 декабря 2020 года диссертационный совет принял решение присудить **Тарнецкой Александре Викторовне** ученую степень кандидата технических наук за решение важной научно-практической задачи разработки модели энергоэффективного электропривода ленточного конвейера на базе безредукторного синхронного мотор-барабана.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 13 человек, из них 6 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании из 18 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 13, против – нет, ~~недействительных бюллетеней – нет.~~

Председатель
диссертационного совета

Ученый секретарь
диссертационного совета

Шпенст Вадим Анатольевич

Коптева Александра Владимировна

23.12.2020 г.