

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по науке

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский
Томский политехнический университет»


М. С. Юсубов

 2021 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»

Диссертация Розаева Ивана Андреевича на тему **«Алгоритмы отказоустойчивого управления вентильно-индукторным электроприводом производственных объектов»** выполнена в отделении электроэнергетики и электротехники (ОЭЭ) Инженерной школы энергетики (ИШЭ) Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ФГАОУ ВО НИ ТПУ).

Соискатель ученой степени Розаев Иван Андреевич во время подготовки диссертации обучался в очной аспирантуре ИШЭ НИ ТПУ и работает ассистентом отделения электроэнергетики и электротехники ИШЭ НИ ТПУ с 2016 года по настоящее время. Год окончания аспирантуры – 2019 год.

Розаев И.А. в 2015 г. окончил энергетический институт ФГАОУ ВО НИ ТПУ, имеет диплом магистра с отличием по направлению подготовки «13.04.02 Электроэнергетика и электротехника». Диплом об окончании аспирантуры с отличием выдан НИ ТПУ в 2019 году.

Научный руководитель – Однокопылов Георгий Иванович, доктор технических наук, профессор, профессор ОЭЭ ИШЭ НИ ТПУ.

Во время обсуждения диссертационной работы были заданы следующие вопросы:

1. Штатные режимы вентильно-индукторного электродвигателя (ВИД) и их отличие от аварийных?
2. Как влияет на работоспособность вентильно-индукторного электропривода (ВИП) отказы фаз в двухсекционном ВИД, каковы области применения?
3. Как учтен в модели преобразователь частоты, инвертор, контроллер?
4. Поясните особенности использования двух терминов (ВИП и ВИД) в вашей работе?

5. Поясните целесообразность введения и использования в модели блока «оценка остаточного рабочего ресурса ВИП»?
6. Поясните цифровые оценки отличий разработанной модели от выбранных для сравнения моделей других авторов?
7. Как проверялась адекватность математической и имитационной моделей?
8. Что соискатель вкладывает в понятие «отказоустойчивое управление» работы электропривода?
9. Проводилось ли экспериментальное подтверждение разработанных алгоритмов?
10. Как влияет дефект питания на падение мощности ВИД?
11. Поясните как учтены быты отказов при формировании математической модели?
12. Чем отличается разработанная модель ВИД от известных?
13. Какие были приняты допущения при моделировании ВИП?

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

Диссертационная работа Розаева Ивана Андреевича на тему «Алгоритмы отказоустойчивого управления вентильно-индукторным электроприводом производственных объектов» является законченной научно-квалификационной работой.

1. Актуальность темы исследования

Большинство современных промышленных объектов имеет в своем составе управляемый электропривод. Отказ такого механизма на производстве приводит к невозможности полноценного функционирования механизмов в процессах с длительным или безостановочным циклом производства продукции. На сегодняшний день особое внимание уделяется свойству живучести электроприводов в комплексах, работающих с потенциально опасными или стратегически значимыми для страны ресурсами, такими, как нефть и газ, ракетными и авиационными системами и системами жизнеобеспечения и транспортировки. В таких комплексах в качестве исполнительного электродвигателя возможно применение вентильно-индукторных электродвигателей различного исполнения. Установка электроприводов на базе ВИД может значительно улучшить технологический процесс и обеспечить отказоустойчивость и безопасность промышленных систем, повысить энергетические показатели. Целесообразно применение вентильно-индукторного электропривода в автомобильном транспорте в составе гибридных силовых установок. В нефтедобыче отказ исполнительного двигателя приводит к остановке производства и, как следствие, к значительным экономическим потерям.

Диссертационная работа направлена на разработку алгоритмов отказоустойчивого управления ВИП производственных объектов.

2. Личное участие и вклад соискателя в получении результатов, изложенных в диссертации

Все основные научные результаты, выносимые на защиту и составляющие основное содержание диссертации, получены автором самостоятельно. В работах, опубликованных в соавторстве, личный вклад автора состоит в следующем: в публикациях автором разработаны и сформулированы принципы отказоустойчивого управления, математические модели отказоустойчивых электроприводов и алгоритмическое управление с целью восстановления полной или частичной работоспособности, технические решения по реализации отказоустойчивого управления. Автор участвовал в разработке программных средств, в проведении и анализе результатов исследований.

3. Степень достоверности результатов проведенных исследований

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается корректным применением математических методов и моделей, адекватность которых по отношению к реальным процессам подтверждена результатами теоретических и компьютерно-имитационных исследований в программной среде Matlab; сравнением результатов моделирования с имеющимися наработками отечественных и зарубежных ученых. Все разделы диссертационной работы логически взаимосвязаны, а выводы и рекомендации определяются материалами полноценных теоретических исследований.

4. Полнота изложения материалов диссертации в опубликованных работах

Основные положения диссертации, отражены в 30 печатных работах. Из них 5 статьи в журналах, входящих в базу данных Scopus/WoS, 2 статьи в издании из перечня рекомендованных ВАК РФ, 1 патент РФ на изобретение, 5 патентов РФ на полезную модель.

Основные результаты, опубликованные в изданиях, индексируемых базой данных Scopus/WoS:

1. Odnokopylov G.I., Rozaev I.A.: Formation of failure matrix and failure-free control algorithm for multi-sectioned Switched-reluctance drive \\\ IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. - 2014 - Vol. 66 - №. 1. — P. 1-7
2. Odnokopylov G.I., Rozaev I.A. Fault-tolerant control of switched-reluctance drive in emergency modes \\\ 2015 International Siberian conference on control and communications, SIBCON 2015 – proceedings. Издательство: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.-2015. — P. 7147192.
3. Odnokopylov G.I., Rozaev I.A. Fault-tolerant control algorithms of switched-reluctance motor drive in open-phase modes\\\ Proceedings of IFOST-2016 11th International Forum on Strategic Technology. 2016 Издательство: Новосибирский государственный технический университет (Новосибирск). — P. 140-144.
4. Odnokopylov G.I., Rozaev I.A., Bukreev V.G. Research of fault-tolerant switched-reluctance motor of electrical oil pump [Electronic resources] // Bulletin of the Tomsk Polytechnic University, Geo Assets Engineering. — 2019. — V. 330. — № 10. — P. 69-81.
5. Odnokopylov G.I., Rozaev I.A. Algorithms of fault-tolerant sensorless vector control of switched-reluctance motor in electrical oil pump [Electronic resources] //

Основные результаты, опубликованные в изданиях, рекомендованных ВАК РФ:

6. Розаев И.А., Однокопылов Г.И. Моделирование вентильно-индукторного электропривода в аварийных режимах работы // Известия Томского политехнического университета. - 2013 - Т. 323 - №. 4. - С. 138-143

7. Розаев И.А., Однокопылов Г.И. Восстановление работоспособности вентильно-индукторного электропривода в аварийных режимах // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. - 2014 - №. 4. - С. 181-184

Основные результаты опубликованные в патентах РФ:

8. Патент на ПМ № 128409 (RU), H02H 7/09, H02H 7/12, H02P 6/12, H02P 6 / 16. Вентильно-индукторный электропривод со свойством живучести / И.А. Розаев, Г.И., Однокопылов, В.Г. Букреев. – №2012153519; Заявл. 11.12.2012; Опубл. 20.05.2013 Бюл. № 14.

9. Патент на ПМ № 128410 (RU), H02H 7/09, H02H 7/122, H02M 7/5395, H02P 27 / 08. Однофазный полумостовой инвертор для электродвигателя переменного тока с контролем состояния / И.А.Розаев., Г.И. Однокопылов, А.Д.Брагин., -№ 2012153510; Заявл. 11.12.2012; Опубл. 20.05.2013 Бюл. № 14.

10. Патент на ПМ № 128420 (RU), H02H 7/09, H02H 7/10, H02P 25/08. Однотактный импульсный регулятор напряжения для вентильно-индукторного электродвигателя / И.А. Розаев., Однокопылов Г.И., А.Д. Брагин. – № 2012153524; Заявл. 11.12.2012; Опубл. 20.05.2013 Бюл. № 14.

11. Патент на ПМ № 136184 (RU), G01R 31/02. Установка для исследований аварийных режимов работы вентильного двигателя / И.А. Розаев, Г.И.Однокопылов, А.Д. Брагин. – № 2013138092; Заявл. 14.08.2013; Опубл. 27.12.2013 Бюл. № 36.

12. Патент на ПМ № 136185 (RU), G01R 31/02. Установка для исследований аварийных режимов работы вентильно-индукторного электропривода / И.А. Розаев, Г.И. Однокопылов., – № 2013138859; Заявл. 20.08.2013; Опубл. 27.12.2013 Бюл. № 36.

13. Патент РФ на изобретение № 2657707, МПК В60К 6/28 (2007.10), В60L 11/00 (2006.01), H02K 21/00 (2006.01). Гибридное транспортное средство с вентильным двигателем. / И.А. Розаев., Г.И. Однокопылов., Е.П. Сенькив, Дементьев Ю.Н. Заявл. от 20.02.2017, Опубл. 14.06.2018 Бюл. № 17

5. Апробация работы

Основные положения и результаты работы докладывались, обсуждались: на научно-технической конференции «Электронные и электромеханические системы и устройства», ОАО «НПЦ Полус», г. Томск, 2013г., 2015г.; на VI международной научно-технической конференции «Электромеханические преобразователи энергии», г. Томск, 2013г.; на всероссийской научной конференции молодых ученых «Наука. Технологии. Инновации», г. Новосибирск, 2013 г.; на международной научно-технической конференции «Науки о Земле: современное состояние и приоритеты развития», г. Дубай (ОАЭ), 2013 г.; на I международной научно-технической

конференции «Технические науки: современные проблемы и перспективы развития», г. Йошкар-Ола, 2013 г.; на всероссийской конференции «Введение в энергетику», г. Кемерово, 2014 г.; на научном форуме «Инженеры будущего», г. Уфа, 2014 г.; на международной конференции «Информационные технологии в науке, управлении, в социальной сфере и медицине», г. Томск, 2014 г.; на международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Современные техника и технологии», г. Томск, 2014 г.; на конференции «20th International Conference for Students and Young Scientists: Modern Techniques and Technologies», г. Томск, 2014 г.; на конференции «International Siberian conference on control and communications», г. Омск, 2015 г.; на всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Повышение эффективности производства и использования энергии в условиях Сибири», г. Иркутск, 2015 г.; на стратегическом форуме «11th International Forum on Strategic Technology», г. Новосибирск, 2016 г.; на IV международном молодежном форуме «Интеллектуальные энергосистемы», г. Томск, 2016 г.; всероссийской научно-практической конференции «Энергетика и энергосбережение: теория и практика», Кемерово, 2018 г. На научно-технических семинарах энергетического института ТПУ 2015-2021 гг.

Результаты, полученные в диссертационной работе, приняты к внедрению ООО «Мехатроника-Софт» (г. Томск), а также используются в учебном процессе отделения электроэнергетики и электротехники инженерной школы энергетики Томского политехнического университета (НИ ТПУ).

6. Научная новизна работы

1. Созданы математическая и имитационная модель установки электроцентробежного насоса и транспортного средства с отказоустойчивым вентильно-индукторным электродвигателем в качестве исполнительного двигателя и мотор-колеса в аварийных и неполнофазных режимах работы.

2. Выполнены исследования алгоритмов отказоустойчивого управления, позволяющие частично или полностью восстановить работоспособность трехфазных ВИП при однократных и множественных отказах, в том числе и для случая многосекционного исполнения обмоток статора ВИП.

3. Разработаны математическая и имитационная модели бездатчикового ВИП насосного агрегата в аварийных и неполнофазных режимах работы позволяющая подтвердить работоспособность предложенного алгоритма отказоустойчивого управления.

7. Практическая ценность работы

1. Разработана методика диагностики и алгоритмического восстановления работоспособности вентильно-индукторного электропривода.

2. Разработаны технические решения по построению отказоустойчивых мостовых и полумостовых преобразовательных ячеек с защитными элементами блокирования отказов.

3. Предложено схемное решение по построению отказоустойчивого вентильно-индукторного многосекционного электропривода с повышенной живучестью при множественных отказах.

8. Рассматриваемая диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержатся теоретические и практические важные результаты. В работе приведены новые теоретические и технические решения, позволяющие обеспечить функционирование производственных объектов выполненных на основе вентильно-индукторного электропривода в аварийных и неполнофазных режимах работы. Диссертационная работа соответствует требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям. Диссертационная работа Розаева Ивана Андреевича на тему «Алгоритмы отказоустойчивого управления вентильно-индукторным электроприводом производственных объектов» рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы. Заключение принято на заседании научного семинара отделения электроэнергетики и электротехники Инженерной школы энергетики Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет».

Присутствовало на заседании 13 чел. Результаты голосования: «за» – 13 чел., «против» – нет, «воздержалось» – нет.

Протокол № 15 от «19» мая 2021 г.

Председатель научно-технического совета
Электромеханической секции
Инженерной школы энергетики
Национального исследовательского
Томского политехнического университета,
д.т.н., профессор


Гарганеев
Александр Георгиевич

Секретарь научно-технического совета
Инженерной школы энергетики
Национального исследовательского
Томского политехнического университета


Филимонова
Светлана Владиславовна

Подписи Гарганеева А.Г. и Филимоновой
С.В. заверяю
И.о. ученого секретаря Ученого совета
ТПУ


Кулинич
Екатерина Александровна