



УТВЕРЖДАЮ

И.о. проректора ТПУ по науке и
стратегическим проектам, к.ф.-м.н.

Гоголев А.С.

« 12 »

01

2024 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

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

Диссертация «Методика оценивания параметров и переменных состояния электротехнического комплекса «Кабельная линия – Асинхронный двигатель» на основе баланса мгновенной полной потребляемой мощности» по специальности 2.4.2 «Электротехнические комплексы и системы» выполнена в Отделении Электроэнергетики и электротехники Инженерной школы энергетики федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет».

Соискатель Раков Иван Витальевич, 1993 года рождения, в 2021 году окончил аспирантуру федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» по направлению 13.06.01 «Электро- и теплотехника» специальности 05.09.03 «Электротехнические комплексы и системы».

Основное место работы – ООО «Газпром трансгаз Томск», инженер 1-й категории группы внедрения инноваций и изобретательской деятельности Инженерно-технического центра.

Сведения о сдаче кандидатских экзаменов приведены в приложении к диплому об окончании аспирантуры федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» по направлению 13.06.01 «Электро- и теплотехника» специальности 05.09.03 «Электротехнические комплексы и системы».

Тема диссертационной работы утверждена решением Научно-технического совета инженерной школы энергетики, федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» от «14» ноября 2019г., номер протокола 17.

Научный руководитель: Глазырин Александр Савельевич, доктор технических наук, доцент, основное место работы: федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Инженерная школа

энергетики, Отделение Электроэнергетики и электротехники, профессор, назначен приказом по организации № 3066/с от «18» апреля 2019 г.

Диссертация Ракова Ивана Витальевича является научно-квалификационной работой, в которой изложены результаты экспериментальных и теоретических исследований, совокупность которых можно квалифицировать как новые научные результаты в области оценивания параметров и переменных состояния электротехнического комплекса «Кабельная линия – Асинхронный двигатель». В работе приведены новые технические решения, позволяющие произвести:

1. оценивание параметров схемы замещения электротехнического комплекса «Кабельная линия – Асинхронный двигатель» на основе баланса мгновенной полной потребляемой мощности;

2. оценивание переменных состояния электротехнического комплекса «Кабельная линия – Асинхронный двигатель» наблюдателем полного порядка, в котором произведено уточнение математической модели кабельной линии путем ее редуцирования;

3. настройку масштабирующих коэффициентов наблюдателя полного порядка на основе баланса мгновенной полной потребляемой мощности, обеспечивающую параметрическую робастность наблюдателя полного порядка.

Полученные экспериментальные и теоретические результаты и сформулированные выводы обладают единством изложения результатов выполненных исследований. Оформление и стиль написания диссертации отвечают требованиям, предъявляемым к научно-квалификационным работам на соискание ученой степени кандидата технических наук.

По итогам обсуждения принято следующее заключение.

Актуальность темы и направленность исследования.

Актуальность работы обусловлена тем, что в Российской Федерации, в 2021 году, добыча нефти (без газового конденсата) составила 485 025 586 тонн. Из этого объема добытой нефти 82% или 396 849 927 тонн нефти было добыто из скважин, оборудованных электропогружными насосами в составе установок электроцентробежных насосов (УЭЦН). В связи с тем, что большая часть нефти добывается при помощи УЭЦН, то разработка методов снижения затрат при эксплуатации УЭЦН является рациональной и логичной точкой приложения человеческих, материальных и финансовых ресурсов. Одним из существующих методов снижения затрат при добыче нефти из низко- и среднедебитных скважин является перевод скважины, оборудованной УЭЦН, с режима непрерывной эксплуатации на режим периодической эксплуатации скважины и в частности подтипа этого режима – циклической эксплуатации скважины (ЦЭС), которая характеризуется чередованием кратковременных периодов извлечения (до 15 минут) и накопления (до 30 минут) нефти на забое скважины.

При переводе скважины на режим ЦЭС на теоретических и экспериментальных данных доказано значительное (до 40 %) уменьшение потребления электроэнергии, а также увеличение добываемой нефти за счет

гравитационной сепарации флюида в стволе скважины на этапе накопления и эффекта «раскачки» скважины за счет циклического изменения давления на призабойную зону пласта. Однако негативным эффектом данной методики является: уменьшение ресурса гидрозащиты УЭЦН, ускоренный износ шайб в компоновке центробежного насоса, ускоренный износ промежуточных радиальных и упорных подшипников. Ресурс гидрозащиты УЭЦН снижается из-за увеличения утечек масла из нее, что приводит к попаданию во внутренние полости погружного электродвигателя (ПЭД) пластовой жидкости, а это приводит к ускоренному выходу из строя ПЭД. Причиной утечек масла из гидрозащиты является повышенный уровень вибрации компонентов УЭЦН, возникающий вследствие бросков тока и момента при интенсивном разгоне ПЭД до заданной частоты вращения. В свою очередь, износ шайб и подшипников ускоряется за счет того, что на этапе накопления флюида происходит осаждение абразива на внутренних полостях насоса, что приводит к ускорению гидроабразивного износа.

Перспективный способ борьбы с бросками тока и момента в переходном режиме – это разработка и внедрение векторной системы управления ПЭД. Для реализации этой системы необходимо получить информацию о векторе переменных состояния ПЭД. Один из методов получения информации, который позволяет оценивать переменные состояния без изменения и доработки подземной части оборудования УЭЦН – создание наблюдателей полного порядка переменных состояния электротехнической подсистемы УЭЦН на основе явных математических моделей. Помимо этого, для реализации наблюдателя необходимо разработать методику идентификации параметров схемы замещения каждого электротехнического компонента, входящего в исследуемую систему, для обеспечения адекватного восстановления вектора переменных состояния.

Синтез наблюдателя состояния, который может оценивать переменные состояния ПЭД, позволит получить сигнал обратной связи (ОС) и на основе ОС создать замкнутые контуры управления электроприводом. Это уменьшит такие нежелательные эффекты, как броски тока и момента ПЭД, пульсации механических напряжений в подземном оборудовании и позволит переводить низко- и среднедебитные скважины на ЦЭС без резкого снижения среднего срока наработки на отказ подземной части оборудования УЭЦН.

На основании вышеизложенного разработка методики оценивания параметров и переменных состояния электротехнического комплекса «КЛ-АД» на основе баланса мгновенной полной потребляемой мощности является своевременной и актуальной задачей, решение которой позволит создать предпосылки для реализации векторной системы управления ПЭД, а это позволит увеличить надежность УЭЦН при ЦЭС и увеличить рентабельность добычи нефти из низко- и среднедебитных нефтяных скважин.

Тематика исследований соответствует приоритетным направлениям развития науки, технологий и техники в Российской Федерации (указ Президента РФ № 899 от 7 июня 2011 г.): 8. Энергоэффективность, энергосбережение, ядерная энергетика

Личное участие автора в получении результатов, изложенных в диссертации.

Все разработки и научные результаты, выносимые на защиту и изложенные в тексте диссертации, получены самим автором или при его непосредственном участии. Экспериментальные исследования и программная реализация выполнялась автором лично.

Степень достоверности результатов проведенных исследований.

Достоверность полученных результатов и выводов диссертационной работы подтверждается путем математического моделирования, а также результатами, полученными в ходе экспериментальных исследований.

Новизна результатов проведенных исследований.

1. Развита теория оценивания параметров схемы замещения электротехнических комплексов, отличающаяся от известных тем, что производится отдельно оценивание параметров схемы замещения каждого компонента, входящего в комплекс, после чего задается ограничение поискового пространства и производится оценивание параметров схемы замещения электротехнического комплекса в сборе;

2. Предложена и апробирована структура наблюдателя полного порядка вектора переменных состояния электротехнического комплекса «КЛ-АД», в которой произведено уточнение математической модели кабельной линии путем ее редуцирования;

3. Развита и экспериментально подтверждена методика настройки масштабирующих коэффициентов наблюдателя полного порядка на основе баланса мгновенной полной потребляемой мощности, обеспечивающая параметрическую робастность наблюдателя.

Практическая значимость результатов проведенных исследований.

Разработанное программное обеспечение для оценивания параметров схемы замещения электротехнических комплексов и оборудования на основе баланса мгновенной полной потребляемой мощности используется в ООО «ИНТ» для оценивания параметров Т-образной схемы замещения асинхронных электродвигателей лифтовых лебедок на основе измеренных мгновенных значений тока и напряжения в частотных преобразователях ELSY-ALT.

Разработанная методика оценивания параметров и переменных состояния электротехнического комплекса «Кабельная линия – Асинхронный двигатель» на основе баланса мгновенной полной потребляемой мощности используются в учебном процессе при подготовке магистрантов по направлению 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника», профиль «Электроприводы и системы управления электроприводов» по дисциплине «Моделирование в электроприводе».

Апробация результатов работы:

Результаты исследований использованы при выполнении НИР по гранту УМНИК-20 (ЦЭ-1) №434ГУЦЭС8-D3/62067 от 05.10.2020 «Разработка нейросетевого наблюдателя угловой скорости вращения погружного асинхронного двигателя при циклической эксплуатации нефтяной скважины». Результаты

исследований использованы при выполнении НИР в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № FENG-2023-0001 «Предиктивное управление потоками энергии электрогенерирующих комплексов Арктики и Крайнего Севера, при стохастических характерах потребления и генерации электрической энергии: теория, синтез, эксперимент». Результаты диссертационной работы обсуждались и получили одобрение на XV Международной научно-технической конференции «Современные проблемы машиностроения», г. Томск, 22 – 25 ноября 2022; на Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Актуальные вопросы энергетики», г. Омск, 25 – 26 мая 2023.

Ценность научных работ соискателя и полнота изложения материалов в опубликованных работах.

Результаты выполненных исследований отражены в 10 печатных работах, которые включают в себя 3 статьи в журналах, рекомендуемых ВАК, 3 публикации, индексируемые в реферативной базе SCOPUS, 1 программа для ЭВМ, 3 тезиса докладов в материалах конференций различного уровня.

Статьи в журналах из перечня рецензируемых научных изданий для опубликования основных научных результатов диссертаций на соискания ученой степени кандидата наук:

1. Раков И.В. Экспериментальное исследование работоспособности методики адаптивной идентификации электрических параметров асинхронной машины с разомкнутой обмоткой ротора в установившемся режиме на основе баланса мощностей // Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2022. № 1. Т. 18. С. 63-76.

2. Раков И. В. Динамическая идентификация параметров схемы замещения асинхронного двигателя на основе баланса мгновенной полной мощности в установившемся режиме // Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2023. № 1. Т. 19. С. 24-48.

3. Раков И. В. Методика оценивания параметров электротехнического комплекса «Кабельная линия – Асинхронный двигатель» на основе баланса потребляемой мощности // Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2023. № 3. Т. 19. С. 101-117.

4. И.В. Раков, А.С. Глазырин, С.Н. Кладиев / Разработка и настройка наблюдателя полного порядка для электротехнического комплекса «Кабельная линия – Асинхронный двигатель» // Известия Томского политехнического университета [Известия ТПУ]. Инжиниринг георесурсов. — 2023. — Т. 334, № 10. — С. 219-231.

5. С.С. Шубин, В.У. Ямалиев, А.С. Глазырин, Д.С. Буньков, С.Н. Кладиев, И.В. Раков, Е.В. Боловин, В.З. Ковалев, Р.Н. Хамитов / Определение параметров схемы замещения погружного электродвигателя на основании данных испытаний // Известия Томского политехнического университета [Известия ТПУ]. Инжиниринг георесурсов. — 2021. — Т. 332, № 1. — С. 204-214.

6. А.С. Глазырин, Ю.Н. Исаев, С.Н. Кладиев, А.П. Леонов, И.В. Раков, С.В. Колесников, С.В. Ланграф, А.А. Филипас, В.А. Копырин, Р.Н. Хамитов, В.З. Ковалев

/ Оптимизация порядка редуцированной динамической модели ненагруженного нефтепогружного кабеля на основе аппроксимации амплитудно-частотной характеристики // Известия Томского политехнического университета [Известия ТПУ]. Инжиниринг георесурсов. — 2021. — Т. 332, № 9. — С. 154-167.

Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ:

7. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2021665731. Федеральная служба по интеллектуальной собственности. Программный модуль «Программа для ЭВМ для идентификации параметров асинхронной машины с помощью модифицированного метода дифференциальной эволюции с ограничением многомерного поискового пространства» / Буньков Д.С., Антяскин Д.И., Глазырин А.С., Раков И.В., Боловин Е.В., Кладиев С.Н., Набунский И.В., Баннов Д.М., Филипас А.А. Дата регистрации: 01 октября 2021 года.

Публикации в сборниках трудов конференций:

8. Раков И.В., Сунцов В.О. Генетический алгоритм в задаче настройки наблюдателя вектора переменных состояния двигателя постоянного тока с пропорциональным принципом компенсации невязки по току // Современные проблемы машиностроения: Сборник трудов XV Международной научно-технической конференции, Томск, 22 – 25 ноября 2022, С. 67-69.

9. Раков И.В. Разработка наблюдателя Люенбергера полного порядка вектора переменных состояния участка кабельной линии с повышенной параметрической робастностью // Актуальные вопросы энергетики. – 2023. – Т. 5, № 1.

10. Раков И.В. Генетический алгоритм в задаче оценивания параметров асинхронного двигателя с короткозамкнутой обмоткой ротора на основе баланса мгновенной полной потребляемой мощности // Актуальные вопросы энергетики. – 2023. – Т. 5, № 1.

Соответствие содержания диссертации избранной специальности.

Диссертация является завершенной научно-квалификационной работой и соответствует паспорту научной специальности – 2.4.2 Электротехнические комплексы и системы:

3. «Разработка, структурный и параметрический синтез, оптимизация электротехнических комплексов, систем и их компонентов, разработка алгоритмов эффективного управления»;

4. «Исследование работоспособности и качества функционирования электротехнических комплексов, систем и их компонентов в различных режимах, при разнообразных внешних воздействиях, диагностика электротехнических комплексов».

Диссертация «Методика оценивания параметров и переменных состояния электротехнического комплекса «Кабельная линия – Асинхронный двигатель» на основе баланса мгновенной полной потребляемой мощности» Ракова Ивана Витальевича рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.2. «Электротехнические комплексы и системы».

Заключение принято на заседании Электромеханической секции Научно-технического совета Инженерной школы энергетики федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет». Присутствовало на заседании 9 чел., из 14 членов совета и дополнительно 4 приглашенных специалиста ОЭЭ ИШЭ ФГАОУ ВО «НИ ТПУ». В голосовании приняло участие 8 членов совета. Результаты голосования: «за» - 8 чел., «против» - 0 чел., «воздержалось» - 0 чел.
Протокол № 27 от «25» декабря 2023г.

Председатель научно-технического совета Электромеханической секции
Гарганеев Александр Георгиевич, д.т.н.,
профессор, профессор Отделения
электроэнергетики и электротехники
Инженерной школы энергетики


_____ Подпись

Секретарь заседания
Филимонова Светлана Владиславовна,
Специалист по учебно-методической
работе Организационного отдела
Инженерной школы энергетики


_____ Подпись

Ученый секретарь ТПУ
Кулинич Екатерина Александровна, к.т.н.


_____ Подпись