

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина

(РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина)

119991, г. Москва, Ленинский просп., д. 65, корп. 1,  
Телефон: (499) 507-88-88 (многоканальный); факс: (499) 507-88-77  
ОКПО 02066612; ОГРН 1027739073845; ИНН/КПП 773 6093125/773601001  
E-mail: [com@gubkin.ru](mailto:com@gubkin.ru); <http://www.gubkin.ru>

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной и международной работе  
доктор технических наук, профессор  
А.Ф. Максименко  
«20» января 2020 г.



### ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Воекова Владимира Николаевича на тему «Частотный электропривод на базе синхронного двигателя с постоянными магнитами с релейным управлением для насосов нефтегазовой отрасли», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 – «Электротехнические комплексы и системы»

В представленной на отзыв диссертационной работе и автореферате Воекова В.Н. отражены выполненные исследования, направленные на решение задачи по совершенствованию частотно-регулируемого электропривода на базе синхронного двигателя с постоянными магнитами (СДПМ).

Актуальность темы диссертационной работы связана с особенностью электропривода погружных насосов механизированной добычи нефти, двигатели которых работают в условиях повышенных температур, давлений, изменений нагрузки, больших расстояний от станций управления. В последнее время широкое применение в качестве электропривода погружных насосов получила система «вентильный двигатель»

(вентильный электропривод) на базе синхронного двигателя с постоянными магнитами, которая в диапазоне малых и средних мощностей, имеет преимущества перед частотно-регулируемыми асинхронными двигателями погружных насосов. В месте с тем практика эксплуатации свидетельствует о необходимости дальнейшего совершенствования системы частотного вентильного электропривода, направленного на повышение его эффективности. Актуальным является создание вентильных электроприводов погружных центробежных насосов с векторным управлением с применением принципов релейного регулирования мгновенных значений токов статора, обладающих улучшенной электромагнитной совместимостью с питающей сетью. Поставленные в работе задачи являются своевременными и актуальными, так как их решение позволит обеспечить надежную, безаварийную и экономически эффективную работу электроприводов погружных центробежных насосов.

### **Основные результаты работы и их значимость**

Одним из возможных решений, обеспечивающих улучшение электромагнитной совместимости и повышение эффективности вентильного электропривода является введение в силовую часть преобразователя частоты дополнительного импульсного преобразователя напряжения и реализации алгоритма совместного управления силовыми ключами инвертора напряжения и этим преобразователем. Автором диссертации выполнены исследования систем управления вентильным электроприводом, обеспечившие достижение следующих результатов:

- установлено, что эффективным направлением совершенствования системы управления вентильным приводом является применение векторного управления в сочетании с релейным регулированием тока статора синхронного двигателя с постоянными магнитами;
- установлено, что систему вентильного привода с релейным регулированием тока при протяженной линии питания двигателя перспективно дополнить импульсным преобразователем напряжения (понижающим или понижающим) в звене постоянного тока и выполнена оценка влияния указанных преобразователей напряжения на состав высших гармоник тока в питающей сети и в цепи статора двигателя;

- для системы вентильного привода с релейными регуляторами фазных токов инвертора и дополнительным *понижающим* импульсным преобразователем напряжения разработан алгоритм управления преобразователем частоты, отличающийся формированием сигнала управления в результате сравнения сигнала задания напряжения в звене постоянного тока и его измеренного значения, обеспечивающий поддержание напряжения на выходе инвертора в системах с протяженной линией питания двигателя;

- для системы вентильного привода с релейными регуляторами фазных токов инвертора и дополнительным *повышающим* импульсным преобразователем напряжения разработан алгоритм управления преобразователем частоты, отличающийся формированием сигнала управления в результате сравнения сигнала тока в звене постоянного тока с измеренным значением тока и на основе использования принципа баланса мощности на входе и выходе преобразователя напряжения, обеспечивающий поддержание напряжения на выходе инвертора в системах с протяженной линией питания двигателя и улучшающий электромагнитную совместимость электропривода с питающей сетью.

### **Обоснованность и достоверность результатов работы**

Степень обоснованности научных положений и выводов, сформулированных в диссертационном исследовании, подтверждается сходимостью результатов теоретических исследований, моделирования и экспериментальных данных, публикацией результатов в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, а также апробацией результатов в ряде российских и международных научных конференций.

Достоверность полученных в диссертационной работе научных результатов обеспечивается корректностью постановки задачи, обоснованностью принятых допущений, применением апробированных математических методов и подтверждена результатами имитационного моделирования и экспериментальными исследованиями.

### **Соответствие работы заявленной научной специальности**

Работа соответствует паспорту специальности 05.09.03 – «Электротехнические комплексы и системы».

## **Личный вклад соискателя**

Все выносимые на защиту результаты и положения, составляющие основное содержание диссертационного исследования, разработаны и получены лично автором или при его непосредственном участии. В работах, опубликованных в соавторстве, соискателю принадлежат результаты, относящиеся к разработке функциональных и силовых схем вентильного электропривода, разработке алгоритмов совместного релейного управления импульсным преобразователем напряжения и силовыми ключами инвертора напряжения, реализации и исследовании компьютерных моделей вентильного электропривода в среде Matlab.

**Значимость полученных результатов для развития науки и производства** заключается в следующем:

- разработан алгоритм совместного управления силовыми ключами инвертора напряжения и дополнительным импульсным понижающим преобразователем напряжения в звене постоянного тока преобразователя частоты, реализованный в системе вентильного электропривода;
- разработан алгоритм совместного управления силовыми ключами инвертора напряжения и дополнительным импульсным повышающим преобразователем напряжения в звене постоянного тока преобразователя частоты, реализованный в системе вентильного электропривода;
- разработана система векторного управления, в которой реализованы принципы релейного регулирования мгновенных значений токов статора синхронного двигателя с возбуждением от постоянных магнитов, позволяющая формировать синусоидальную форму токов статора;
- улучшена электромагнитная совместимость преобразователя частоты с питающей сетью, а также улучшен гармонический состав токов статора синхронного двигателя с возбуждением от постоянных магнитов.

По результатам работы был получен патент РФ на полезную модель «Устройство для управления электроприводом переменного тока» - пат. №166655 Российская Федерация, опубликован 10.12.2016, бюлл. № 34.

### **Апробация результатов исследований**

Уровень апробации результатов диссертационной работы на научно-технических конференциях и публикаций в периодических научных изданиях представляется вполне достаточным и удовлетворяет требованиям пунктов 11 и 13 Положения о присуждении научных степеней, утвержденного постановлением Правительства РФ №842 от 24 сентября 2013 г. По теме диссертации опубликованы 11 печатных работ, из них 3 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК, 2 статьи в журналах материалов конференций, входящих в международные наукометрические базы Scopus, IEEE Xplore, 3 статьи в других изданиях, 3 доклада на конференциях, 1 патент на полезную модель.

### **Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации**

Основные результаты и выводы диссертационной работы Воекова В.Н., разработанные модели и алгоритмы векторного управления с релейными регуляторами, методики проведения экспериментальных исследований разработанного электропривода используются в научно-технических разработках ООО «Борец-НЭО» при проектировании систем частотного электропривода центробежных насосов. Их применение позволяет повысить качество испытаний новых систем частотного электропривода и сократить затраты на натурные испытания за счет использования результатов математического моделирования.

Полученные в работе выводы и результаты рекомендуются к использованию электротехническими компаниями, осуществляющими разработку частотно-регулируемых вентильных электроприводов.

## **Замечания по диссертационной работе**

1. Не понятен смысл анализа устройства и привода станков-качалок в первой главе, если далее электротехнические комплексы этого вида механизированной добычи нефти в диссертации не рассматриваются.
2. Во второй главе в ряде формул (2.3 – 2.12) не полностью расшифрованы обозначения параметров, входящих в указанные формулы.
3. Не понятно, чем выбора параметров регуляторов скорости и регуляторов тока, представленный на стр. 38 – 40, для рассматриваемой системы с релейным управлением отличается от выбора указанных параметров для систем скалярного управления.
4. В части представленных в диссертации материалов моделирования (вторая и третья глава) не раскрыты модели насосов, а параметры двигателей ограничены их мощностью и напряжением, что затрудняет оценку результатов моделирования.
5. Терминология «повышающие и понижающие» преобразователи напряжения в звене постоянного тока представляется не установившейся и не очень понятной. Если судить по задающим и контролируемым сигналам этих преобразователей (см. функциональные схемы 3.22 и 3.40), то было бы более обосновано назвать их стабилизаторами напряжения и тока соответственно. Так же не ясен термин «гармонический состав питающей сети» (см. рисунки 10, 11 автореферата). Речь может идти о гармониках тока или напряжения.

## **Заключение**

Представленная Воековым В.Н. диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук является законченной научно-квалификационной работой по специальности 05.09.03 – «Электротехнические комплексы и системы», в которой на основании выполненных автором исследований дано решение актуальной задачи по разработке вентильного электропривода на основе синхронного двигателя с возбуждением от постоянных магнитов с векторным управлением и улучшенной электромагнитной

совместимостью с питающей сетью. Новые научные результаты, полученные диссертантом, имеют существенное значение для науки и практики. Выводы и рекомендации диссертации подтверждены результатами компьютерного моделирования, сравнением результатов компьютерного моделирования с данными экспериментальных исследований. Автореферат диссертации отражает основные положения, идеи и выводы диссертации.

Диссертационная работа Воекова В.Н. «Частотный электропривод на базе синхронного двигателя с постоянными магнитами с релейным управлением для насосов нефтяной отрасли» соответствует требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации, за №842 от 24 сентября 2013г., а её автор, Воеков Владимир Николаевич, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 – «Электротехнические комплексы и системы».

Диссертационная работа и отзыв на неё обсуждены и одобрены на заседании кафедры «Теоретическая электротехника и электрификация нефтяной и газовой промышленности» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина» 16 января 2020 года, протокол № 6

И.о. заведующего кафедрой теоретической электротехники и электрификации нефтяной и газовой промышленности, кандидат технических наук, доцент



Мелик-Шахназарова  
Ирина Александровна

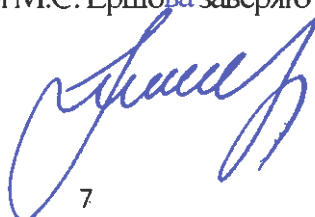
Профессор кафедры теоретической электротехники и электрификации нефтяной и газовой промышленности, доктор технических наук, профессор



Ершов Михаил Сергеевич

Подписи И.А. Мелик-Шахназаровой и М.С. Ершова заверяю

Начальник отдела кадров



17.01.2020

Ю.Е. Ширяев