

## **ОТЗЫВ**

официального оппонента

на диссертационную работу **Воекова Владимира Николаевича** «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»

### **СТРУКТУРА И ОБЪЕМ РАБОТЫ**

Представленная работа изложена на 161 странице и включает в себя введение, четыре главы, выводы, заключение, библиографический список из 97 наименований. Работа содержит 138 рисунков, 10 таблиц и 4 приложения.

### **АНАЛИЗ ДИССЕРТАЦИИ**

#### **1. Актуальность темы диссертации**

Насосные и нефтеперекачивающие установки составляют изрядную часть всех электрифицированных механизмов, применяемых в нефтедобывающей отрасли промышленности. В последние два десятилетия все они оснащаются частотными асинхронными или синхронными электроприводами, заменившими нерегулируемый электропривод, благодаря стремительному развитию силовой полупроводниковой электроники и микропроцессорной техники, а также удешевлению ее производства. При выполнении операций по откачке нефти из глубоких скважин довольно частыми являются случаи резких перепадов нагрузки, например, при попадании в газовый карман и важно сохранять стабильные обороты насоса, чтобы обеспечивать оптимальное соотношение напора и подачи и, соответственно, поддерживать КПД насоса близким к максимальному.

В диссертационной работе Воекова В.Н. решаются задачи, направленные на разработку объектно-ориентированных к условиям работы нефтедобывающий центробежных насосов систем вентильного электропривода с векторной системой управления, с релейным регулированием токов статора и дополнительным импульсным преобразователем напряжения в звене постоянного тока, применение которого на улучшение электромагнитной совместимости с питающей сетью и поддержания требуемого значения напряжения на обмотке статора синхронного двигателя, питающегося через протяженные кабельные линии.

Поставленные в работе задачи являются актуальными для механизмов нефтяной промышленности, а также близких к ним по характеру выполняемых операций общепромышленных механизмов, так как их решение позволит получить эффективную, но в то же время простую в реализации систему векторного управления.

#### **2. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций**

Обоснованность основных теоретических положений, рекомендаций и выводов диссертации подтверждается использованием современных математических и экспериментальных методов исследования. Полученные результаты работы основаны на использовании классических методов теорий электрических цепей, электропривода и автоматического управления, электрических машин, численных методов решения дифференциальных уравнений, известных методов

программирования и математического моделирования. Основные выводы диссертации не противоречат опубликованным ранее в независимых источниках результатам исследований по рассматриваемой тематике.

### **3. Новизна и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций**

Автором получены следующие новые научные результаты.

Во-первых, установлено, что в случае применения разработанного алгоритма управления преобразователем частоты с релейными регуляторами фазных токов инвертора, отличающегося релейным регулированием напряжения на входе инвертора с помощью дополнительного импульсного понижающего преобразователя напряжения, возможно обеспечить стабилизацию напряжения на входе инвертора на требуемом уровне и улучшение гармонического состава токов статора.

Во-вторых, установлено, что в системе вентильного электропривода, питающегося через протяженные кабельные линии, целесообразно использовать алгоритм управления преобразователем частоты с релейными регуляторами фазных токов инвертора, отличающийся формированием сигнала управления дополнительным повышающим преобразователем напряжения с помощью релейного регулятора тока на основе использования принципа баланса мощности на входе и выходе преобразователя напряжения, для получения улучшенной электромагнитной совместимости электропривода с питающей сетью и поддержания требуемого значения напряжения на обмотке статора двигателя.

В-третьих, установлено, что при использовании алгоритма управления преобразователем частоты с релейными регуляторами фазных токов инвертора и дополнительным повышающим импульсным преобразователем напряжения с релейным регулятором тока, отличающегося формированием сигнала управления в результате сравнения сигнала задания на ток с измеренным значением тока, возможно поддержание заданных значений тока в выпрямленной цепи и напряжения на выходе инвертора.

Достоверность результатов научных исследований подтверждается обоснованием математических моделей и положений теории электропривода, использованием пакетов прикладных программ моделирования Matlab Simulink для исследования электромагнитных процессов, сопоставлением расчетных результатов с экспериментальными, широтой привлеченных источников. Сформулированные научные положения и выводы диссертации подтверждаются результатами, полученными в ходе экспериментов.

### **4. Значимость для науки и практики результатов диссертации и возможные пути ее использования**

Значение диссертационной работы для науки и практики состоит в разработке математических моделей, алгоритмов управления для систем вентильного электропривода погружных центробежных насосов нефтегазовой промышленности с векторным релейным управлением, обеспечивающим улучшенную электромагнитную совместимость с питающей сетью.

Результаты работы реализованы в виде:

– разработанной системы вентиляного электропривода, в которой реализован алгоритм совместного управления инвертором напряжения преобразователя частоты и дополнительным импульсным преобразователем напряжения, обеспечивающий возможность поддержания требуемого уровня, питающего статор напряжения и его наилучшее качество, при котором гармонический состав токов статора, при котором коэффициент гармонических снизился до 31%;

– разработанного вентиляного электропривода с векторным управлением, при котором в схеме с повышающим преобразователем напряжения в звене постоянного тока наблюдается значительное улучшение гармонического состава токов на входе преобразователя частоты до 18 %.

Результаты исследования Воекова В.Н. используются ООО «Производственная компания Борец» при проектировании силовой части и систем управления станций управления погружными центробежными насосами.

## **5. Степень завершенности диссертации в целом и качество её оформления**

Диссертация Воекова В.Н. содержит теоретические и практические результаты, которые в совокупности позволяют квалифицировать ее как законченную научную работу. Диссертация написана технически-грамотным языком, хорошо оформлена, положения аргументированы.

## **6. Полнота опубликования основных результатов диссертации в научных изданиях**

Основные положения диссертации в достаточном объеме изложены в 11 печатных работах. Три публикации выполнены в изданиях, рекомендованных ВАК России, 2 статьи в журналах материалах конференций, входящих в международные наукометрические базы Scopus, IEEE Xplore остальные – в других научных изданиях, в том числе в сборниках докладов и статей международных и региональных конференций по вопросам науки и техники, получен 1 патент РФ на полезную модель.

## **7. Соответствие содержания автореферата основным идеям и выводам диссертации**

Автореферат в полной мере отражает основные положения, идеи и выводы диссертации. Материалы автореферата дают полное представление о научных результатах работы.

## **8. Личный вклад соискателя в разработку научной проблемы**

Личный вклад соискателя Воекова В.Н. в разработку темы диссертации и научной проблемы состоит в решении следующих задач:

– разработке функциональной схемы системы векторного управления вентиляльным электроприводом с релейными регуляторами токов статора;

– разработке и исследовании имитационной математической компьютерной модели частотного вентиляного электропривода в среде Matlab Simulink, включающей в себя силовую часть и систему векторного управления с релейными регуляторами, управляющими коммутацией силовых ключей инвертора напряжения;

- разработке функциональной схемы системы совместного управления преобразователем частоты с релейными регуляторами токов статора и дополнительным импульсным преобразователем напряжения, включенным в звено постоянного тока;
- разработке и исследовании имитационной модели в среде Matlab систем частотного вентильного электропривода с включенным в звено постоянного тока импульсным повышающим преобразователем напряжения;
- разработке и исследовании имитационной модели в среде Matlab систем частотного вентильного электропривода с включенным в звено постоянного тока импульсным понижающим преобразователем напряжения;
- исследовании гармонического состава токов питающей сети и токов статора двигателя средствами Matlab Simulink.

### **9. Отсутствие в диссертации использования заимствованного материала без ссылки на автора и источник заимствования, результатов научных работ, выполненных соискателем ученой степени в соавторстве, без ссылок на соавторов**

В диссертации, по мнению рецензента, не содержится использования заимствованного материала без ссылки на автора и источник заимствования, результатов научных работ, выполненных соискателем ученой степени в соавторстве, без ссылок на соавторов.

### **10. Соответствие диссертации и автореферата требованиям Положения о присуждении ученых степеней**

Диссертационная работа и автореферат Воекова В.Н. соответствуют требованиям «Положения о присуждении ученых степеней» №842 от 24 сентября 2013 г.

### **11. По материалам диссертации имеются замечания и дискуссионные положения:**

1. Необходимо более детально раскрыть новизну предлагаемых законов релейно-векторного управления.
2. В чем состоит преимущество снижения массы электромеханического преобразователя для стационарного технологического объекта (насоса), работающего в длительном (не в повторно-кратковременном) режиме работы?
3. Для электроприводов переменного тока, управляемых в режимах релейно-векторного управления, характерен повышенный уровень пульсаций электромагнитного момента. Являются ли эти пульсации для разрабатываемого технологического объекта критическими и какие предлагаются автором решения, позволяющие снизить их отрицательное влияние?
4. В каком диапазоне мощностей систем электроприводов предложенные соискателем научно-технические результаты будут иметь наибольший эффект?
5. Необходимо, чтобы автор раскрыл причины потенциального снижения эксплуатационных затрат (замену изношенных насосных систем, а также уменьшатся складские и транспортные расходы) при внедрении разработанной системы электропривода.

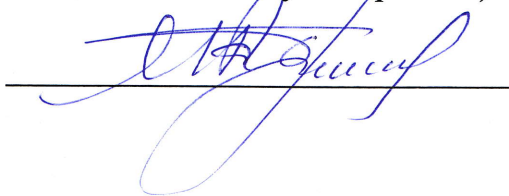
## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертационная работа Воекова В.Н. «Частотный электропривод на базе синхронного двигателя с постоянными магнитами с релейным управлением для насосов нефтегазовой отрасли» является самостоятельной, законченной научно-квалификационной работой, обладающей актуальностью, новизной и практической значимостью. В работе представлены и обосновано решение существенной научной задачи по разработке и исследованию новых систем вентильного электропривода с частотным векторным управлением с улучшенными технико-показателями, что достигнуто за счет совершенствования системы управления с использованием релейных регуляторов тока статора.

Диссертационная работа соответствует паспорту специальности 05.09.03 – «Электротехнические комплексы и системы». Содержание диссертации соответствует поставленным задачам и подробно отражает последовательность их решения. Диссертация написана логичным, понятным языком, выводы и рекомендации аргументированы.

На основании изложенного считаю, что диссертационная работа отвечает требованиям, предъявляемым к научно-квалификационным работам на соискание ученой степени кандидата технических наук согласно п.п. 9–11, 13, 14 Положения о присуждении ученых степеней от 24 сентября 2013 г. № 842 с изменениями постановления Правительства РФ от 21 апреля 2016 г. № 335 «О внесении изменений в Положение о присуждении ученых степеней», а ее автор, Воеков Владимир Николаевич, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 – «Электротехнические комплексы и системы».

Официальный оппонент –  
доктор технических наук по специальности  
05.09.03 – «Электротехнические комплексы  
и системы», и.о. зав. кафедрой «Автоматизированный электропривод», профессор  
ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)»



Григорьев Максим Анатольевич

11 февраля 2020 г.

454080 г. Челябинск, проспект Ленина, 76

[www.epa.susu.ru](http://www.epa.susu.ru)

Тел. +7-919-332-35-96, [grigorevma@susu.ru](mailto:grigorevma@susu.ru)

