



УТВЕРЖДАЮ

Ректор ФГБОУ ВО «ТУСУР»

*В.М. Рулевский*  
В.М. Рулевский

26 02 2020 г.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники» (ТУСУР)

Диссертация «Система управления установкой штангового глубинного насоса на основе анализа сигнала потребляемой электроприводом мощности» выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники».

В период подготовки диссертации соискатель Торгаева Дарья Сергеевна работала в НИИ Космических технологий ТУСУР младшим научным сотрудником.

В 2016 окончила федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» по специальности «Электроника и наноэлектроника».

Удостоверение о сдаче кандидатских экзаменов выдано в 2020 году Федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники».

Научный руководитель – Шиняков Юрий Александрович, д.т.н., профессор Кафедры компьютерных систем в управлении и проектировании (КСУП), директор НИИ Космических технологий ТУСУР.

### **Утверждение темы диссертации**

Тема диссертации утверждена Ученым советом факультета вычислительных систем Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники (протокол заседания совета факультета № 7 от 31.10.2017 г.).

По итогам обсуждения принято следующее заключение.

### **Оценка выполненной соискателем работы**

Диссертация Торгаевой Д.С. является научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные решения и разработки, имеющие существенное значение для развития страны, заключающиеся в совершенствовании методов регулирования подачи и диагностики установок штанговых глубинных насосов для добычи нефти, что позволило повысить их эффективность.

### **Актуальность темы и направленность исследования**

В настоящее время в нефтедобывающей промышленности наблюдается значительная выработка континентальной базы, что приводит к необходимости разрабатывать месторождения с низкими дебетами скважинной жидкости. В связи с этим актуальными становятся исследования, связанные с разработкой систем

управления нефтедобывающими установками, позволяющими производить откачку скважинной жидкости с высокой эффективностью при высокой обводненности продукции и пескопроявлении.

Штанговый глубинный насос со станком-качалкой является наиболее распространенным видом оборудования, применяемого при добыче из малодобетных скважин и скважин с различными типами осложнений. Система управления установкой штангового глубинного насоса реализует две основные задачи: регулирование подачи и диагностика оборудования. В настоящее время большую популярность набирают системы управления, позволяющие регулировать подачу установки штангового глубинного насоса, а также определять состояние погружного и наземного оборудования посредством математической обработки диаграмм активной мощности, затрачиваемой электроприводом штанговой насосной установки на работу по подъему скважинной жидкости. Такие системы управления требуют установки только датчиков электрических величин для осуществления алгоритмов управления и диагностики, что позволяет существенным образом сократить их себестоимость, а также затраты на обслуживание. Однако существующие на данный момент методы управления имеют низкую точность, сложны в реализации и требуют дальнейшего изучения и совершенствования.

#### **Личное участие автора в получении результатов проведенных исследований**

Все результаты, сформулированные в положениях, выносимых на защиту, и составляющие научную новизну работы, получены лично автором. В ходе выполнения поставленных задач проведен анализ информационных источников по теме диссертационных исследований, существующих методов регулирования подачи установки штангового глубинного насоса, а также методов диагностики неисправностей. Разработана имитационная модель объекта управления, с помощью которой проведен анализ влияния различных неисправностей на форму сигнала потребляемой электроприводом мощности (ваттметрограммы). На основании полученных результатов разработаны метод регулирования подачи УШГН, основанный на поддержании оптимального динамического уровня жидкости в затрубном пространстве нефтяной скважины, а также метод диагностики неисправностей штангового глубинного насоса посредством анализа сигнала потребляемой электроприводом мощности. С помощью разработанной имитационной модели объекта управления и экспериментального образца системы управления УШГН автором проведены экспериментальные исследования предложенных методов и анализ полученных результатов.

#### **Новизна результатов проведенных исследований**

1. Разработана имитационная модель объекта управления, включающая в себя подсистему «продуктивный пласт – скважина» и следующие узлы УШГН: ШГН, СК, электродвигатель. Имитационная модель отличается модульной структурой, возможностью моделирования двух типов балансирного привода, а также учетом изменения скорости притока скважинной жидкости. Кроме того, разработанная модель позволяет имитировать различные неисправности штангового глубинного насоса.

2. Выявлены закономерности изменения форм сигнала потребляемой электроприводом установки штангового глубинного насоса мощности, проведены аналогии между изменениями форм этих сигналов и характерными изменениями

динамограмм с целью разработки метода диагностики неисправностей ШГН. Исследованы неисправности: обрыв и отворот штанг, попадание газа в цилиндр насоса, образование эмульсии, запарафинивание, удар плунжера о приемный клапан, удар плунжера о верхнюю ограничительную гайку вставного насоса, утечка в приемном клапане, утечка в нагнетательном клапане.

3. Предложен метод регулирования подачи установки штангового глубинного насоса, основанный на анализе сигнала потребляемой электроприводом мощности, отличающийся поддержанием оптимального динамического уровня жидкости в затрубном пространстве нефтяной скважины без использования дополнительных датчиков физических величин.

4. Разработан метод диагностики неисправностей штангового глубинного насоса на основании анализа сигнала потребляемой электроприводом мощности без использования дополнительных датчиков физических величин.

### **Теоретическая значимость работы**

Выявлены и исследованы закономерности изменения форм сигнала потребляемой электроприводом установки штангового глубинного насоса мощности (характерные смещения фронтов и спадов, площадей под кривой, а также амплитуд сигнала), проведены аналогии между изменениями форм этих сигналов и характерными изменениями динамограмм с целью разработки метода диагностики неисправностей. Разработана имитационная модель подсистемы «продуктивный пласт – скважина» с учетом изменения скорости притока скважинной жидкости. Обоснован выбор имитационной модели штангового глубинного насоса. При разработке имитационной модели станка-качалки выведены уравнения баланса сил для двух типов балансирного привода (одноплечего и двухплечего). Разработана имитационная модель объекта управления, позволяющая представить пласт, скважину, установку штангового глубинного насоса и систему управления как замкнутую систему с учетом изменения скорости притока скважинной жидкости.

### **Практическая значимость работы**

Результаты диссертационной работы внедрены при разработке экспериментальной установки, включающей стенд испытаний и экспериментальный образец системы управления, разработанной совместно с предприятием АО «Энергонефтемаш» (г. Омск). Метод регулирования подачи установки штангового глубинного насоса, основанный на поддержании оптимального динамического уровня жидкости в затрубном пространстве нефтяной скважины, и метод диагностики неисправностей ШГН на основании анализа сигнала потребляемой электроприводом мощности позволяют снизить себестоимость разрабатываемой системы управления и повысить эффективность УШГН. Методы реализованы в экспериментальном образце системы управления УШГН. Разработанная имитационная модель объекта управления позволяет получать мощностные и токовые профили нагрузки, необходимые для работы стенда испытаний при проведении экспериментальных исследований систем управления УШГН. Результаты исследований использованы при выполнении ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 – 2020 годы» по теме «Исследование и разработка интеллектуальной системы управления штанговым глубинным насосом для поддержания оптимального динамического уровня жидкости в нефтяной скважине» (соглашение № 14.574.21.0157, уникальный идентификатор RFMEFI57417X0157).

## **Ценность научных работ соискателя, и полнота изложения материалов диссертации в опубликованных работах.**

Ценность научных работ соискателя определяется разработкой математической модели установки штангового глубинного насоса, а также новых методов управления и диагностики, позволяющих повысить ее эффективность. Основные результаты работы представлены в 20 публикациях, 7 из которых опубликованы в изданиях, входящих в международную базу цитирования Scopus, 3 – в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 4 – в материалах конференций, получено 5 свидетельств о регистрации программ для ЭВМ и 1 патент на полезную модель.

### *Статьи в журналах из Перечня ВАК*

1. Алгоритм управления установкой штангового глубинного насоса для определения и поддержания оптимального динамического уровня жидкости в скважине / Д.С. Торгаева, Ю.А. Шурыгин, Ю.А. Шиняков, М.П. Сухоруков, А.Г. Старинов // Доклады ТУСУР. – 2019. – Т. 22, № 4. – С. 62–68.
2. Имитационное моделирование установки штангового глубинного насоса для добычи нефти / Д.С. Торгаева, М.П. Сухоруков, Ю.А. Шурыгин, Ю.А. Шиняков, Н.А. Шаляпина // Доклады ТУСУР. – 2019. – Т. 22, № 3. – С. 71–78.
3. Многоуровневое моделирование физико-технических задач на примере глубинного насоса / М.И. Кочергин, Д.С. Торгаева, М.П. Сухоруков, В.М. Дмитриев, Ю.А. Шурыгин // Доклады ТУСУР. – 2019. – Т. 22, № 3. – С. 79–86.

### *Статьи в изданиях, входящих в международную базу цитирования Scopus*

4. Detection and maintenance of optimum dynamic fluid level in oil well / D.S. Torgaeva, Y.A. Shinyakov, N.A. Shalyapina, M.P. Sukhorukov // International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering. – 2019. – October. – Vol. 8, Issue 12. – P. 5395–5399.
5. Multilevel simulation of physical and engineering problems / M.I. Kochergin, D.S. Torgaeva, M.P. Sukhorukov, V.M. Dmitriev // International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering. – 2019. – October. – Vol. 8, Issue 12. – P. 5400–5405.
6. Development of a Sucker Rod Pumping Unit Simulation Model / D.S. Torgaeva, M.P. Sukhorukov, Y.A. Shinyakov, N.A. Shalyapina // International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT). – 2019. – October. – Vol. 9, Issue 1. – P. 4403–4409.
7. Torgaeva Daria S. Simulation of Load on a Polished Rod of Sucker Rod Pump for Oil Production / Daria S. Torgaeva, Maxim P. Sukhorukov // International Multi-Conference on Engineering, Computer and Information Sciences (SIBIRCON). – 2019. – P. 504–508.
8. Mathematical simulation of sucker rod pump and its control system / Y. Shinyakov, M. Sukhorukov, D. Torgaeva, N. Shalyapina // International Journal of Mechanical Engineering and Technology. – 2018. – Vol. 9. – P. 1141–1147.
9. Methods and facilities for monitoring the operation of a sucker rod pump / Y. Shinyakov, M. Sukhorukov, D. Torgaeva, A. Soldatov // International Journal of Mechanical Engineering and Technology, – 2018. – Vol. 9. – P. 1224–1231.
10. Analysis of methods for measuring the liquid level in the annular space of an oil well / J. Shinyakov, M. Sukhorukov, D. Torgaeva, A. Soldatov, N. Shalyapina, D. Li // MATEC Web of Conferences. – 2018. – P. 158. (Scopus)

### *Другие публикации по теме диссертации*

11. Сухоруков М.П. Сравнительный анализ методов определения динамического уровня жидкости в межтрубном пространстве нефтяной скважины / М.П. Сухоруков, Д.С. Торгаева, В.В. Мамлина // Электронные средства и системы управления: материалы докладов XIII Международной научно-практической конференции (29 ноября – 1 декабря 2017 г.): в 2 ч. – Томск: В-Спектр, 2017. – Ч. 1. – С. 178–181.

12. Моделирование усилий на полированном штоке штангового глубинного насоса для добычи нефти / Д.С. Торгаева, М.П. Сухоруков, Ю.А. Шиняков, Н.А. Шаляпина // Новые информационные технологии в исследовании сложных структур: материалы Двенадцатой конференции. – Томск: Изд. дом Томского государственного университета, 2018. – С. 52.

13. Перспективы использования искусственных нейронных сетей для диагностики и управления техническими объектами / М.П. Сухоруков, Ю.А. Шиняков, Н.А. Шаляпина, Д.С. Торгаева // Новые информационные технологии в исследовании сложных структур: материалы Двенадцатой конференции. – Томск: Изд. дом Томского государственного университета, 2018. – С. 20.

14. Сухоруков М.П. Методы регулирования подачи установки штангового глубинного насоса / М.П. Сухоруков, Д.С. Торгаева, Н.А. Шаляпина // Электронные средства и системы управления: материалы докладов XV Международной научно-практической конференции (20–22 ноября 2019 г.): в 2 ч. – Томск: В-Спектр, 2019. – Ч. 2. – С. 94–98.

*Патенты и свидетельства о гос. регистрации ПрЭВМ*

15. Свидетельство о гос. регистрации ПрЭВМ № 2018663030. Система управления автоматизированным стендом испытаний интеллектуальной системы управления штанговым глубинным насосом / Сухоруков М.П., Торгаева Д.С., Шаляпина Н., Кремзуков Ю.А. ; заявитель и правообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники». – № 2018660184. – Опубл. 18.10.18.

16. Свидетельство о гос. регистрации ПрЭВМ № 2018662951. Программа контроллера интеллектуальной системы управления штанговым глубинным насосом / Сухоруков М.П., Торгаева Д.С., Шаляпина Н., Ли Д. ; заявитель и правообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники». – № 2018619910.

17. Свидетельство о гос. регистрации ПрЭВМ № 2018662922. Программный модуль поддержания оптимального динамического уровня жидкости в нефтяной скважине / Сухоруков М.П., Торгаева Д.С., Матолыгин А.К. ; заявитель и правообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники». – № 2018619902.

18. Свидетельство о гос. регистрации ПрЭВМ № 2019663895. Модель штангового глубинного насоса / Торгаева Д.С., Сухоруков М.П., Шаляпина Н. ; заявитель и правообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники». – № 2019662790.

19. Свидетельство о гос. регистрации ПрЭВМ № 2019663894. Модель системы управления штанговым глубинным насосом / Торгаева Д.С., Сухоруков

М.П., Шаляпина Н.; заявитель и правообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники» - № 2019662792.

20. Патент № RU193003U1 Контроллер интеллектуальной системы управления штанговым глубинным насосом / Сухоруков М.П., Торгаева Д.С., Шаляпина Н.А. Патентообладатель(и): Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники" (ТУСУР) Заявка: 2019123047, 17.07.2019. Опубликовано: 09.10.2019 Бюл. № 28.

#### **Соответствие содержания диссертации научной специальности.**

Предмет исследования и материалы диссертационной работы соответствуют специальности 05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (промышленность):

1. Автоматизация контроля и испытаний;
2. Теоретические основы и методы математического моделирования организационно-технологических систем и комплексов, функциональных задач и объектов управления и их алгоритмизация;
3. Теоретические основы, методы и алгоритмы диагностирования, (определения работоспособности, поиск неисправностей и прогнозирования) АСУТП, АСУП, АСТПП и др.
4. Средства и методы проектирования технического, математического, лингвистического и других видов обеспечения АСУ.

Диссертация «Система управления установкой штангового глубинного насоса на основе анализа сигнала потребляемой электроприводом мощности» Торгаевой Дарьи Сергеевны рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (промышленность)».

Заключение принято на объединенном семинаре кафедр «Компьютерных систем в управлении и проектировании», «Промышленной электроники», «Телевидения и управления» и НИИ «Космический технологий» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники». Присутствовало на заседании 12 человек, в том числе 7 докторов технических наук, 4 кандидата технических наук и др.

Результаты голосования: «за» -12 чел., «против» - нет, «воздержались» - нет, протокол 19 от 06.02.2020 г.

Председатель семинара  
заведующий кафедрой  
КСУП, д.т.н., профессор



Шурыгин Ю.А.

Секретарь семинара,  
профессор КСУП, д.т.н.



Ганджа Т.В.