

**ОТЗЫВ**  
**официального оппонента на диссертационную работу**  
**Волкова Максима Григорьевича**  
**«Научно-методические основы моделирования процессов управления**  
**эксплуатационными характеристиками осложнённых нефтедобывающих скважин»,**  
**представленную на соискание учёной степени доктора технических наук**  
**по специальности 2.8.4. – Разработка и эксплуатация нефтяных**  
**и газовых месторождений**

**1. Актуальность темы выполненной работы**

Процесс добычи нефти истощённых месторождений, находящихся на последних стадиях разработки, как правило, сопровождается наличием осложнений, в частности, в призабойной зоне пласта (ПЗП), что влечёт за собой снижение проницаемости коллектора, неравномерность притока жидкости к забою скважин. Соле- и асфальтосмолопарафиновые отложения (АСПО) на внутренних стенках насосно-компрессорных труб (НКТ) снижают их пропускной диаметр, ухудшая эффективность лифта скважин. Твёрдые минеральные отложения перекрывают межлопаточные каналы рабочих колёс и диффузоров установок электроцентробежных насосов (УЭЦН), следствием чего является деградация их эксплуатационных характеристик, вплоть до выхода их из строя. Кроме того, рост динамических нагрузок на УЭЦН под влиянием осложнений увеличивает потребление электроэнергии.

Очевидно, что проблема повышения эффективности существующих и разработка новых инновационных подходов к эксплуатации осложнённых нефтедобывающих скважин, остаётся актуальной. Одним из путей её решения является автоматизация управления работой УЭЦН для устранения негативного влияния осложнений путём непрерывной оптимизации процесса добычи нефти. Вследствие сложности гидродинамических процессов, протекающих в нефтедобывающих скважинах, и несовершенства мониторинга эффективной эксплуатации элементов погружного оборудования, обеспечить автоматическое управление нефтедобычей в полной мере в настоящее время не представляется возможным, однако возможно использование концепции цифровой скважины с функциональными возможностями выработки рекомендаций, носящих ныне субъективный характер.

В ряду решаемых при этом задач следует отметить определение научно-обоснованных сроков проведения организационных и технологических мероприятий для повышения эффективности эксплуатации погружного оборудования нефтяных скважин; степень форсирования работы УЭЦН вследствие наличия осложнений; оптимизацию процесса добычи нефти путём контроля состояния погружного оборудования в режиме реального времени, включая выдачу информации о деградации его рабочих характеристик; минимизации рисков управления добычей нефти путём проверки возможных сценариев на цифровых аналогах системы ПЗП-скважина.

Таким образом, исследования, направленные на развитие и совершенствование методов оптимизации процесса управления параметрами работы осложнённого фонда скважин на основе модельного прогнозирования режимов эксплуатации в рамках концепции цифровой скважины, на сегодняшний день весьма актуальны, поскольку до 80% нефти в РФ добывается при наличии осложняющих факторов (ОФ).

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

Научные положения, выводы и рекомендации диссертации научно обоснованы, достоверность результатов обеспечена использованием апробированных методов, в том числе феноменологического моделирования стационарных и нестационарных течений газожидкостной смеси в каналах погружного оборудования нефтедобывающих скважин, статистического анализа промысловых данных эксплуатации ЭЦН и газосепараторов, методов теории автоматического управления, использованных для оптимизации эксплуатации нефтедобывающих скважин.

Результаты исследований подтверждены качественным и количественным совпадением результатов, полученных с использованием различных методик. Достоверность выводов диссертационной работы подтверждена результатами внедрения разработок на месторождениях нефти и газа ПАО «НК «Роснефть», апробацией материалов диссертационной работы на российских конференциях.

## **3. Достоверность и новизна результатов**

Достоверность результатов диссертационной работы подтверждена используемой нормативной базой, современными апробированными экспериментальными и расчётными методами. Методология решения задач основана на аналитических и численных методах математического моделирования с использованием уравнений движения пузырьков газа в добываемой газожидкостной жидкости и уравнений Навье-Стокса в двухмерной постановке, что реализовано в разработанных программных модулях. Используются методы теории гидрогазодинамики и механики сплошных тел при формальном описании сепарации газа в центробежных газосепараторах, течения газожидкостной смеси в НКТ, учитывающего массообмен между фазами. Анализ данных, положенных в основу выявленных закономерностей, представлен на основе результатов, полученных с использованием стандартных методов измерений и приборов.

Новизна результатов состоит в разработке:

– двухфазной (трёхкомпонентной) математической модели восходящего течения добываемого пластового флюида в НКТ, учитывающей как фазовое проскальзывание жидкость-газ, так и проскальзывание компонентов вода-нефть, позволившей уточнить распределение объёмного содержания воды в жидкой фазе и продольную теплоотдачу ствола скважины;

– двухжидкостной модели неустановившегося пузырькового течения в стволе нефтедобывающей скважины, отличающейся наличием механистического замыкающего соотношения при расчёте гидродинамического сопротивления пузырьков газа и учётом фазового перехода жидкость-газ. Представлена модификация стационарной модели Н.- Q. Zhang для численного исследования влияния инерционных свойств добываемой жидкости на скорость распространения возмущений давления и расхода при пробковой газожидкостной структуре течения добываемой смеси в НКТ;

– комплекса методик расчёта эксплуатационных характеристик центробежных роторных газосепараторов (ЦРГ), включающего в себя методики:

– расчёта естественной сепарации газа в условиях нестационарного течения газожидкостной смеси на приёме УЭЦН, учитывающего динамику состояния ПЗП и нестационарных течений газожидкостной смеси в затрубном пространстве НКТ;

– прогнозирования деградации расходно-напорных характеристик шнекового нагнетателя газосепаратора для перекачивания газожидкостной смеси (ГЖС) с учётом поверхностного солеотложения;

– методику расчёта коэффициента сепарации газосепаратора, перепада давления вдоль лопаточного профиля кавернообразующего колеса его лопаточной центрифуги в зависимости от объёмного расхода жидкости и угла набегающего потока.

Разработаны механистическая модель прогнозирования границ структур газожидкостного течения: «пузырьковой», «переходной» и с «устойчивой газовой каверной» в межлопаточных каналах импеллера ЭЦН; нестационарная математическая модель системы «погружной электродвигатель-электроцентробежный насос», позволяющая моделировать появление неустойчивости течения газожидкостной смеси в межлопаточных каналах многоступенчатого насоса, прогнозировать условия срыва его подачи.

Разработаны методика прогнозирования теплового режима работы погружного электродвигателя УЭЦН в осложнённых условиях эксплуатации с оценкой влияния солеотложения и наличия свободного газа в продукции скважин на теплоотвод от электродвигателя в широком диапазоне изменения его нагрузок, интегрированные модели «пласт-скважина» для фонтанирующих и механизированных скважин для исследования рисков в процессе управления добычей нефти в осложнённых условиях их эксплуатации.

#### **4. Значимость результатов для науки и практики**

Значимость результатов диссертационной работы для науки состоит в разработке методологии создания математических моделей трёхфазных стационарных газоводонефтяных течений и нестационарных пузырьковых и пробковых газожидкостных режимов течения добываемой жидкости; в математическом описании условий изменения режимов газожидкостного течения в поле центробежных сил ЭЦН; в научно-методическом обосновании механизма сепарации газа центробежными газосепараторами.

Значимость результатов работы для практики обоснована тем, что на основе предложенной методологии прогнозирования рабочих характеристик центробежных роторных газосепараторов разработаны и апробированы программные алгоритмы в программном комплексе «Rosneft-WellView», внедрённом на объектах ПАО «НК «Роснефть», в частности, ООО «РН-Юганскнефтегаз», «РН-Пурнефтегаз», позволившие повысить эффективность мониторинга и оптимизации режимов эксплуатации механизированного фонда скважин.

Математическая модель трёхфазных стационарных газоводонефтяных восходящих течений в нефтедобывающих скважинах реализована в программные алгоритмы, апробированные в рамках проекта РН-КИН (Комплекс инженера-нефтяника), внедрённого в промышленную эксплуатацию на добывающих предприятиях ПАО «НК «Роснефть», в частности, в ООО «РН-Юганскнефтегаз», «РН-Пурнефтегаз», «РН-Башнефть», и позволило повысить эффективность обустройства и проектирования при создании концептуальных моделей месторождений.

Математическая модель трёхфазных стационарных газоводонефтяных восходящих течений в нефтедобывающих скважинах опубликована в изданном в соответствии с программой курса учебном пособии и изучается в рамках курса «Теоретические и экспериментальные методы научных исследований» магистерской программы подготовки «Цифровые технологии в разработке и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений» по направлению 21.04.01 «Нефтегазовое дело».

Разработанная двухфазная (трёхкомпонентная) математическая модель вертикального течения газожидкостных смесей в НКТ для УЭЦН реализована в программе информационной системы управления механизированным фондом скважин (ИС Мехфонд), позволяющей осуществлять автоматический поиск резервов увеличения производительности насосных установок, повысить технологическую эффективность эксплуатации установок ЭЦН.

Применение ИС Мехфонд позволило увеличить продолжительность межочистного периода работы скважин, снизить расход электроэнергии на механизированную добычу нефти.

### 5. Оценка содержания диссертации

Содержание диссертации соответствует решению поставленных задач, изложено грамотным, лаконичным языком.

#### Замечания:

Тем не менее, к работе имеются замечания:

1. Результаты расчётов процесса движения ГЖС в затрубном пространстве (рис. 3.17 и 3.18) нуждаются в анализе (анализ отсутствует). В чем причины отличий зависимостей дебита по жидкости от времени для условий уменьшения и увеличения производительности ЭЦН? То же самое относится и к линиям коэффициента естественной сепарации. Насколько важны эти отличия с точки зрения условий эксплуатации ЭЦН и вероятности образования осложнений?

2. В методике расчёта коэффициента сепарации газосепаратора не учитывается свойство газа накапливаться на твёрдой поверхности лопатки (окклюдование). Насколько это может повлиять на конечные результаты расчёта?

3. В диссертации сделаны ссылки на текст многих диссертационных работ, которые, как правило, нигде не публикуются и, стало быть, недоступны для читателя. Лучше ссылаться на опубликованные работы. Кроме того, отмечается, что в опытах, проведённых в РГУ им. И.М. Губкина, для оценки работы газосепаратора были созданы условия более жёсткие, чем в скважине. По газу (количество, дисперсность) – да. А по свойствам жидкости – нет. Насколько это важно?

4. На рис. 5.18 приведено сопоставление расчётных кривых границ между режимами течения в межлопаточном канале центробежного рабочего колеса насоса с экспериментальными данными. Однако из данных, представленных на рисунке, не видны преимущества предложенной модели для расчётов движения газожидкостной смеси и прогнозирования деградации расходно-напорных характеристик для различных типов ЭЦН.

Указанные замечания не принципиальны и не снижают ценности диссертационной работы.

## 6. Публикации, отражающие основное содержание диссертации

Основные результаты диссертационной работы опубликованы в 31 научном труде, в том числе 15 статьях в ведущих рецензируемых научных журналах, включённых в перечень рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ, трёх монографиях, одном учебном и одном методическом пособиях. Получено свидетельство РФ о государственной регистрации программы для ЭВМ. Результаты диссертационных исследований докладывались на российских научно-практических конференциях.

## 7. Автореферат отражает основное содержание диссертации

### 8. Заключение

Диссертация Волкова М.Г. является завершённой научно-квалификационной работой, соответствующей критериям, установленным Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842 (ред. от 11.09.2021) «О порядке присуждения учёных степеней» (вместе с «Положением о присуждении учёных степеней») ВАК Министерства науки и высшего образования РФ, в которой на основании выполненных автором исследований изложены новые научно обоснованные технологические разработки в области оптимизации управления процессами добычи нефти осложнёнными скважинами за счёт реализации модельных исследований изменения эксплуатационных параметров погружного нефтепромыслового оборудования, влияния на гидродинамику течения добываемой жидкости отложения неорганических солей и АСПВ, свободного попутно добываемого нефтяного газа, имеющие существенное значение для нефтедобывающей отрасли страны.

Автор заслуживает присуждения искомой учёной степени доктора технических наук по специальности 2.8.4. – Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений.

Официальный оппонент,  
доктор технических наук, профессор,  
технический директор АО НПП «ВМ-Система»

Марат Давлетович Валеев  
21.01.2022 г.

Подпись М.Д. Валеева заверяю:

*Марат Давлетович Валеев* (Генеральный директор Ф.И.)



Валеев Марат Давлетович,  
доктор технических наук по специальности 25.00.17 –  
Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений, профессор,  
технический директор ООО НПП «ВМ-Система».  
450516, Башкортостан, Уфимский район, с. Кумлекуль, ул. Береговая, 46. Общество с  
ограниченной ответственностью Научно-производственное предприятие «ВМ- Система».  
Тел. 8-98760-8-0482.  
E-mail: VM5943@mail.ru