

**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**

Поздняя стадия разработки нефтяных месторождений обусловила необходимость особого подхода к технологии эксплуатации осложнённых скважин. Так, в частности, образование негативных отложений в призабойной зоне пласта (ПЗП) приводит к снижению проницаемости нефтегазоносных коллекторов и к неоднородностям в профилях притока жидкости к скважинам, их приёмистости. Соле- и асфальтосмолопарафиновые отложения (АСПО) на стенках насосно-компрессорных труб (НКТ) существенно уменьшают их пропускной диаметр, значительно снижая эффективность лифта скважин. Твёрдые минеральные отложения перекрывают межлопаточные каналы рабочих колёс и диффузоров электроцентробежных насосов (УЭЦН), следствием чего является деградация их эксплуатационных характеристик. Таким образом, добыча нефти в осложнённых условиях эксплуатации скважин приводит к преждевременному выходу из строя нефтедобывающего оборудования и необходимости проведения дополнительных ремонтов скважин. Рост динамических нагрузок на насосы в результате отложений увеличивает расход электроэнергии, требует дополнительных материальных и трудовых затрат на их обслуживание, следствием чего является ухудшение технико-экономических показателей работы нефтедобывающих предприятий.

Необходимость повышения эффективности существующих и создание новых методологических подходов к эксплуатации скважин осложнённого фонда на поздней стадии эксплуатации месторождений с использованием модельного прогнозирования влияния осложняющих факторов на эксплуатационные параметры погружного насосного оборудования с целью минимизации рисков управления добычей нефти и научно-обоснованного определения сроков межочистного периода (МОП) эксплуатации скважин, определяет актуальность исследования диссертанта.

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

Научные положения, выводы и рекомендации диссертационных исследований автора научно обоснованы, поскольку их достоверность обеспечивалась применением апробированных, а также оригинальных методов феноменологического моделирования стационарных и нестационарных течений газожидкостной смеси в проточных элементах погружного оборудования нефтедобывающих скважин и методов статистического анализа экспериментальных замеров параметров эксплуатации электроцентробежных насосов (ЭЦН) и газосепараторов на испытательных стендах, методов современной теории авто-

матического управления для решения задач синтеза и анализа алгоритмов управления процессами, протекающими в нефтедобывающих скважинах.

Результаты, полученные автором, характеризуются внутренней непротиворечивостью, качественным и количественным совпадением по различным методикам. Обоснованность выводов также подтверждается эффективностью внедрения разработок автора на месторождениях нефти и газа, эксплуатируемых ПАО «НК «Роснефть». Работа прошла апробацию на ряде всероссийских конференций.

### 3. Достоверность и новизна результатов

Достоверность результатов диссертационной работы подтверждена используемой нормативной базой, апробированными современными экспериментальными и расчётными методами. Общий методологический подход к решению поставленных задач основывается на аналитических и численных методах математического моделирования на базе дифференциальных уравнений движения пузырьков газа и уравнений Навье-Стокса в двухмерной постановке с генерацией моделей в разработанных программных модулях. Для формального описания процесса сепарации газа в погружном центробежном газосепараторе и течения газожидкостной смеси в вертикальных трубопроводах, с учётом проскальзывания и массообмена между фазами, использованы разделы механики сплошных сред и теория гидрогазодинамики. Анализ исходных данных, положенных в основу выявленных закономерностей, осуществлён на основе информации, полученной с помощью стандартных приборов и методов измерений.

Новизна результатов работы заключается, в частности, в разработке комплекса методик расчёта рабочих характеристик центробежных роторных газосепараторов (ЦРГ), включающего в себя методики:

- расчёта естественной сепарации газа при нестационарном течении газожидкостной смеси на приёме УЭЦН, учитывающего динамику состояния ПЗП и её течение в затрубном пространстве нефтедобывающих скважин;

- прогнозирования деградации расходно-напорных характеристик шнекового нагнетателя газосепаратора для перекачивания газожидкостной смеси (ГЖС), учитывающую наличие солеотложения;

- расчёта коэффициента сепарации газосепаратора, отличающуюся механистическим подходом к расчёту траекторий движения пузырьков газа вдоль лопаточной центрифуги;

- расчёта изменения перепада давления вдоль лопаточного профиля кавернообразующего колеса лопаточной центрифуги с заданной геометрией в зависимости от объёмного расхода жидкости и угла набегающего потока добываемой скважинной продукции.

Разработана двухфазная (трёхкомпонентная) математическая модель восходящего течения добываемой жидкости в НКТ, учитывающая как фазовое проскальзывание жидкость-газ, так и проскальзывание компонентов вода-нефть, что позволило уточнить распределение объёмного содержания воды в жидкой фазе и продольную теплоотдачу ствола скважины.

Разработана двухжидкостная модель неустановившегося пузырькового течения в стволе нефтедобывающей скважины, отличающаяся наличием механистического замыкающего соотношения при расчёте гидродинамического сопротивления пузырьков газа и учётом фазового перехода жидкость-газ. Модифицирована стационарная модель Н.- Q. Zhang для численного исследования влияния инерционных свойств добываемой смеси на

скорость распространения возмущений давления и расхода при пробковой газожидкостной структуре течения добываемой жидкости в НКТ.

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» (ПЭД-ЭЦН), позволяющая моделировать появление неустойчивости течения газожидкостной смеси в межлопаточных каналах многоступенчатого насоса, прогнозировать условия срыва его подачи; методика прогнозирования теплового режима работы погружного электродвигателя УЭЦН в осложнённых условиях эксплуатации с оценкой влияния солеотложения и наличия свободного газа в добываемой продукции на теплоотвод от электродвигателя в широком диапазоне изменения его нагрузок; интегрированные модели «пласт-скважина» для фонтанирующих и механизированных скважин, предназначенные для исследования рисков в процессе управления добычей нефти в осложнённых условиях эксплуатации, отличающиеся от известных моделированием неустойчивости течения газожидкостной смеси в НКТ.

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

Значимость результатов диссертационной работы для науки состоит в разработке методологических подходов к созданию математических моделей трёхфазных стационарных газоводонефтяных течений и нестационарных пузырьковых и пробковых газожидкостных режимов течения добываемой скважинной жидкости в вертикальных стволах скважин; в теоретическом обосновании и математическом описании условий изменения режимов газожидкостного течения в поле центробежных сил рабочего колеса ЭЦН; в научно-методическом обосновании механизма сепарации пузырьков газа в центробежном погружном газосепараторе.

Значимость результатов работы для практики состоит в разработке математических моделей и методик, позволяющих повысить эффективность оптимизации режимов управления эксплуатацией механизированного фонда нефтедобывающих скважин.

Создан программный комплекс «Rosneft-WellView», реализующий предложенные модели и алгоритмы, внедрённый в промышленную эксплуатацию на добывающих предприятиях ПАО «НК «Роснефть», позволивший повысить эффективность мониторинга и оптимизации режимов эксплуатации механизированного фонда скважин.

Разработаны программные алгоритмы, апробированные в рамках проекта РН-КИН (Комплекс инженера-нефтяника). Программный комплекс РН-КИН внедрён в промышленную эксплуатацию на добывающих предприятиях ПАО «НК «Роснефть», что позволило повысить эффективность обустройства и проектирования при создании концептуальных региональных моделей месторождений. Математическая модель трёхфазных стационарных газоводонефтяных восходящих течений в нефтедобывающих скважинах 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» и опубликована в изданном учебном пособии.

Разработанная двухфазная (трёхкомпонентная) математическая модель вертикального течения газожидкостных смесей в НКТ для погружных центробежных насосов реа-

лизована в программе информационной системы управления механизированным фондом скважин (ИС Мехфонд), позволяющей проводить автоматический поиск резервов увеличения производительности насосных установок, повысить технологическую эффективность эксплуатации установок ЭЦН, в частности, для эксплуатации осложнённого фонда добывающих скважин, оснащённых УЭЦН. Применение ИС Мехфонд позволило увеличить продолжительность МОП скважин нефтедобывающих предприятий ООО «РН-Пурнефтегаз», повысить продолжительность работы скважинного оборудования на отказ в ООО «РН-Юганскнефтегаз». ИС Мехфонд с 2017 г. внедрена на месторождениях, эксплуатируемых ООО «РН-Ванкор», и используется для оценки энергопотенциала механизированного фонда скважин и реализации программ энергосбережения, при этом удельный расход электроэнергии на механизированную добычу жидкости сократился от 12,05 кВт/т в 2016 г., до 11,95 кВт/т в 2018 г.

### **5. Оценка содержания диссертации**

Содержание диссертационной работы соответствует решению цели и поставленных задач.

#### **Тем не менее, к работе имеются замечания:**

1. В разделе 3.2.1 приводится описание основных моделей для расчёта процесса сепарации газа у приёма ЭЦН. Однако, ничего не говорится о преимуществах и недостатках моделей. Как влияет изменение количества свободного газа, попадающего в насос на его производительность? Ведь по мере продвижения газа в насосе (ЭЦН) он растворяется в жидкости. Какие недостатки имеет распространённая методика Ляпкина-Максимова по корректировке параметров ЭЦН?

2. На рис.3.33 и 3.37 приведены очень важные результаты. Только лучше в легенде условных обозначений показать не величину давления на приёме насоса, а отношение текущего значения давления на приёме насоса к величине  $P_{нас}$ . Тогда практическая интерпретация результатов будет максимально приближена к скважинным условиям.

3. На рис.2.24 приведены графики, характеризующие условия движения пузырька воздуха в воде. В диссертации не отмечено (и даже не предположено), что изменится при дрейфе пузырька природного газа в водонефтяной эмульсии (В+Н).

Указанные замечания не принципиальны и не снижают ценности диссертационной работы.

### **6. Публикации, отражающие основное содержание диссертации**

Основные результаты диссертационной работы докладывались на научно-практических конференциях России, опубликовано 15 статей в журналах, рецензируемых ВАК, учебное и методическое пособия. Кроме того, автором издано три монографии, а также получено одно свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

### **7. Автореферат отражает основное содержание диссертации**

## 8. Заключение

Диссертационная работа 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 процессом добычи нефти осложнёнными скважинами на основании реализации модельных исследований варьирования эксплуатационными параметрами погружного нефтепромыслового оборудования, влияния на гидродинамику течения добываемой продукции отложения АСПВ и неорганических солей, 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.

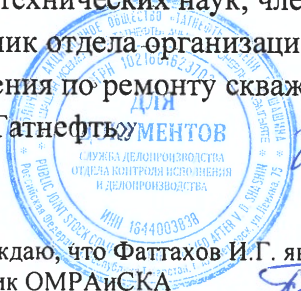
Официальный оппонент.

доктор технических наук, член РАЕН, доцент ВАК,

начальник отдела организации работ по повышению нефтеотдачи пластов

управления по ремонту скважин и ПНП

ПАО «Татнефть»



*И. Г. Фаттахов*

Фаттахов Ирик Галиханович

Подтверждаю, что Фаттахов И.Г. является работником ПАО «Татнефть» им. В.Д. Шашина.  
Начальник ОМРАиСКА *Глазкова* Ф.А. Глазкова 19.01.2022.

Фаттахов Ирик Галиханович,

доктор технических наук, член РАЕН, доцент ВАК по специальности

25.00.17 – Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений.

Начальник отдела организации работ по повышению нефтеотдачи пластов

управления по ремонту скважин и ПНП ПАО «Татнефть».

423450, Республика Татарстан, г. Альметьевск, ул. Ленина, 75.

тел. 8-(8553) 30-70-09.

E-mail: i-fattakhov@rambler.ru