

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

Разработка нефтяных месторождений, находящихся на поздних стадиях эксплуатации, обуславливает необходимость особого подхода к технологии эксплуатации осложнённых скважин. Так, образование негативных отложений в призабойной зоне пласта (ПЗП) влечёт за собой снижение проницаемости нефтегазоносных коллекторов, неоднородность в профилях притока добываемых флюидов к скважинам, снижение их приёмистости. Отложения солей и асфальтосмолопарафиновых веществ (АСПВ) на стенках насосно-компрессорных труб (НКТ) существенно уменьшает их пропускной диаметр, снижая эффективность лифта скважин. Твёрдые минеральные отложения блокируют межлопаточные каналы рабочих колёс и диффузоров электроцентробежных насосов (ЭЦН), что влечёт за собой снижение их эксплуатационных характеристик.

Добыча нефти в осложнённых условиях эксплуатации приводит к преждевременному выходу из строя нефтедобывающего оборудования, необходимости проведения дополнительных ремонтов скважин. Рост динамических нагрузок на насосы в результате негативных отложений увеличивает расход электроэнергии, требует дополнительных материальных и трудовых затрат на их обслуживание, следствием чего является снижение технико-экономических показателей работы нефтедобывающих предприятий.

Актуальность диссертационных исследований соискателя определяется необходимостью повышения эффективности существующих и созданием новых методологических подходов к эксплуатации осложнённого фонда нефтедобывающих скважин с использованием модельного прогнозирования влияния осложняющих факторов на эксплуатационные параметры погружного насосного оборудования.

2. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций диссертации

Научные положения, выводы и рекомендации исследований автора научно обоснованы, достоверность полученных результатов обеспечена использованием апробированных, а также рядом методов феноменологического моделирования стационарных и нестационарных течений газожидкостной смеси в каналах погружного оборудования нефтедобывающих скважин, методов статистического анализа промысловых замеров параметров эксплуатации ЭЦН и газосепараторов на испытательных стендах, методов современной теории автоматического управления для оптимизации эксплуатации нефтедобывающих скважин.

Результаты исследований подтверждены как качественным, так и количественным совпадением результатов, полученных согласно использованию различных методик. Достоверность диссертационных выводов подтверждена результатами внедрения разработок

на месторождениях нефти и газа, в частности, эксплуатируемых ПАО «НК «Роснефть», апробацией материалов работы на российских конференциях.

2. Достоверность и новизна результатов

Достоверность результатов подтверждена используемой нормативной базой, апробированными расчётными и экспериментальными подходами. Методология решения диссертационных задач базируется 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 нашло применение 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 с учётом массообмена между фазами. Анализ данных, на основании которых базируются выявленные закономерности, представлен на основе результатов, полученных с использованием стандартных методов измерений и приборов.

Новизна результатов работы состоит в разработке двухфазной (трёхкомпонентной) математической модели восходящего течения добываемого пластового флюида в НКТ, учитывающей не только фазовое проскальзывание жидкость-газ, но и проскальзывание компонентов вода-нефть, что позволило уточнить не только распределение объёмного содержания воды в жидкой фазе, но и продольную теплоотдачу ствола скважины.

Разработана двухжидкостная модель неустановившегося пузырькового течения в стволе скважины, отличающаяся наличием механистического замыкающего соотношения для расчёта гидродинамического сопротивления пузырьков газа и учётом фазового перехода жидкость-газ. Проведена модификация стационарной модели Н.- Q. Zhang для численного исследования влияния инерционных свойств добываемой смеси на скорость распространения вариации давления и расхода при пробковой газожидкостной структуре течения добываемой смеси в НКТ.

Разработаны методики прогнозирования эксплуатационных характеристик центробежных роторных газосепараторов (ЦРГ), в частности:

- методика расчёта естественной сепарации газа в условиях нестационарного течения газожидкостной смеси на приёме УЭЦН, учитывающая динамику состояния ПЗП и нестационарных течений газожидкостной смеси в затрубном пространстве скважин;

- методика прогнозирования деградации расходно-напорных характеристик шнекового нагнетателя газосепаратора в процессе перекачивания газожидкостной смеси (ГЖС), учитывающая наличие солеотложения;

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

- методика оценки изменения перепада давления вдоль лопаточного профиля кавернообразующего колеса лопаточной центрифуги с заданной геометрией в зависимости от объёмного расхода жидкости и угла её набегающего потока.

Разработаны механистическая модель прогноза 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 не-

устойчивости течения газожидкостной смеси в межлопаточных каналах многоступенчатого насоса, прогнозировать условия его выхода из строя.

Разработана методика прогнозирования теплового режима эксплуатации электродвигателя УЭЦН в осложнённых условиях эксплуатации, учитывающая наличие солеотложения и свободного газа в добываемой продукции, их влияния на теплоотвод от электродвигателя в широком диапазоне изменения нагрузок.

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 определяется тем, что на основе предложенной методологии прогнозирования эксплуатационных характеристик центробежных роторных газосепараторов разработаны программные алгоритмы в программном комплексе «Rosneft-WellView». Программный комплекс «Rosneft-WellView» внедрён на добывающих предприятиях ПАО «НК «Роснефть», в частности, в ООО «РН-Юганскнефтегаз», «РН-Пурнефтегаз», «РН-Сахалинморнефтегаз», «РН-Ставропольнефтегаз», что позволило повысить эффективность мониторинга и оптимизировать режимы эксплуатации механизированного фонда скважин.

Разработанная 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, в частности, в ООО «РН-Юганскнефтегаз», «РН-Пурнефтегаз», «РН-Сахалинморнефтегаз», «РН-Ставропольнефтегаз», «РН-Самотлорнефтегаз», «РН-Башнефть», 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 учебном пособии.

Разработанная двухфазная (трёхкомпонентная) математическая модель вертикального течения газожидкостных смесей в НКТ для погружных центробежных насосов реализована в программе информационной системы управления механизированным фондом скважин (ИС Мехфонд) и позволила проводить автоматический поиск резервов увеличения производительности насосных установок, повысить технологическую эффективность эксплуатации установок ЭЦН, что особо актуально для эксплуатации осложнённого фонда добывающих скважин, оснащённых УЭЦН. Применение ИС Мехфонд в 2018 г. позволило увеличить межочистной период эксплуатации скважин (МОП) нефтедобывающих предприятий ООО «РН-Пурнефтегаз» на 0,3 % или 2,3 сут., увеличить продолжительность работы скважинного оборудования на отказ в ООО «РН-Юганскнефтегаз» в среднем на 0,3 % или 1,2 сут., МОП работы скважин на 0,5 % или 3,6 сут. ИС Мехфонд с 2017 г. внедрена на месторождениях ООО «РН-Ванкор» и используется для оценки энергопотенциала меха-

низированного 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 работы отвечает решению поставленных задач, изложено в соответствии цели и задачам исследований, однако, есть некоторые замечания по использованию нестандартной терминологии.

Замечания:

Тем не менее, к работе имеются замечания:

1. В числе задач диссертационного исследования поставлена задача по выполнению анализа влияния относительного забойного давления (отношения давления на забое скважины к давлению насыщения нефти газом) нефтедобывающих скважин месторождений Западно-Сибирского региона на интенсивность проявления осложняющих факторов и безотказность работы погружного оборудования. При этом в разделе 1.4 «Особенности эксплуатации скважин в условиях образования асфальтосмолопарафиновых отложений при добыче газосодержащей продукции отсутствуют сведения о характеристиках осложнённых добывающих скважин, оборудованных УЭЦН. Отмечается, что «преимущественно это касается производительности скважин по жидкости, которая намного превосходит производительность скважин, оборудованных штанговыми насосами», однако конкретные сведения о геолого-технических параметрах работы анализируемых скважин отсутствуют.

2. Не представлен анализ или распределение фонда скважин по объему свободного газа у приема насоса для анализируемых объектов. Отмечается только, что «Распределение фонда скважин по величине свободного газосодержания в добываемой продукции имеет различный характер, что связано с отличием величины газового фактора пластовой нефти различных объектов разработки» (стр.25).

3. На стр. 27 отмечается, что «содержание в жидкости поступающего из пласта в скважины свободного газа способствует интенсификации осложнений: образованию отложений твёрдых углеводородов, неорганических солей, газовых гидратов и механических примесей, что оказывает негативное влияние на параметры эффективности эксплуатации скважин: МРП их работы, среднюю наработку на отказ насосного оборудования (СНО), коэффициент эксплуатации скважин и др.», при этом результаты анализа параметров работы скважин, иные подтверждающие данное утверждение экспериментальные исследования не представлены.

4. Автор отмечает, что «...для условий месторождений, эксплуатируемых ООО «РН-... ПНГ», вследствие особенностей свойств пластовых флюидов, негативное, влияние высоко-, го газового фактора проявляется существеннее» (стр.29), при этом исследования по оценке влияния свойств пластовых флюидов на негативное влияние газового фактора не представлены.

5. В качестве дополнительных видов осложнений, связанных с высоким содержанием свободного газа автор приводит «полёты» ЭЦН (стр.36, таблица 1.2), при этом обоснование влияния свободного газа на падение ЭЦН на забой не представлено. Автор отмечает, что «большинство аварий связано с нарушениями целостности конструкции установки - обрывы происходят в местах повышенных концентраций вибрационных нагрузок», основной причиной появления которых является «наличие больших количеств свободного газа во входной части насосов». Обоснование влияния свободного газа на появление вибрационных нагрузок и зону их максимального проявления в работе отсутствует.

6. В разделе 1.3 «Состояние проблемы повышения эффективности эксплуатации скважин с отложениями солей в условиях высокого свободного газосодержания жидкости» представлены сведения о химическом составе отложений солей по 5 скважинам. Количество исследованных отложений недостаточно для статистически значимой оценки особен-

ностей формирования солей в условиях повышенного газосодержания по исследованным объектам.

7. На рисунке 1.13 представлено распределение солеотложений по секциям насоса при разборе. Показано, что доля газа в потоке в зависимости от ступени составляет 0,1-0,25%, и для ступеней от 400 до 700 составляет 0%. При этом в 64% насосов в данных ступенях имеются солеотложения, однако анализ причин солеотложений не представлен.

8. В разделе 1.4 «Особенности эксплуатации скважин в условиях образования асфальтосмолопарафиновых отложений при добыче газосодержащей продукции» не представлены результаты экспериментальных исследований, характеризующие состав АСПО анализируемых объектов. При этом автор делает выводы о «сложном составе АСПО (наличие пузырьков свободного газа, неорганических солей, продуктов коррозии, газогидратов и капель воды), характеризующихся высокой механической прочностью при взаимодействии с твёрдой поверхностью, что обуславливает необходимость больших затрат на их удаление».

9. На рисунке 2.2 стр.63 приведены расчётные границы возможных газожидкостных структур течения в вертикальной нефтедобывающей скважине, при этом исходные данные для выполнения расчетов не представлены.

10. В выводах к главе 2 говорится, что численные исследования с использованием разработанной модели позволили оценить характеристики переходных процессов по дебиту и объёмному содержанию газа для газожидкостного режима течения. Сопоставление результатов вычислений с промысловыми данными в работе отсутствует.

11. Расчётная карта режимов течения газожидкостной смеси в затрубном пространстве скважины (рис. 4.2) представляет большой интерес. Но, с точки зрения эксплуатации реальных скважин, желательно было бы указать - для каких значений технологических параметров работы скважин (дебит, $P/P_{нас}$, диаметры ОК и НКТ и др.) величины приведённых скоростей жидкости и газа имеют значения, представленные на рисунке.

12. Название диссертации «Научно-методические основы моделирования процессов управления эксплуатационными характеристиками осложнённых нефтедобывающих скважин», при этом основное внимание уделено только фонду скважин, оборудованных ЭЦН.

Указанные замечания носят рекомендательный характер и не снижают ценности диссертационной работы.

6. Публикации, отражающие основное содержание диссертации

По результатам проведённых автором исследований опубликован 31 научный труд, основные положения диссертации докладывались и обсуждались на ряде российских научно-практических конференций. В рецензируемых научных журналах ВАК опубликовано 15 статей. Опубликовано три монографии, учебное и методическое пособие, 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 ней изложены новые научно обоснованные технологические разработки в области оптимизации управления процессом добычи нефти осложнёнными скважинами, на основании реализации проведённых автором диссертационной работы модельных исследований изменения параметров эксплуатации погрязного

нефтепромыслового оборудования, в частности, влияния свободного газа, отложения солей и АСПВ на гидродинамику течения добываемой жидкости

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

Официальный оппонент,
профессор кафедры «Разработка и эксплуатация
нефтяных и газовых месторождений»
Альметьевского государственного нефтяного
института, доктор технических наук

Ирина Алексеевна Гуськова

И.А. Гуськова

24.01.2022г.

Подпись И.А. Гуськовой заверяю:

Начальник отдела кадров



Моркина С.А.

Ирина Алексеевна Гуськова,
доктор технических наук по специальности 25.00.17 –
Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений.
Профессор кафедры «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений»
Альметьевского государственного нефтяного института.
423450, Республика Татарстан, г. Альметьевск, ул. Ленина, 2, каб. Б-210.
тел. (8553) 31-00-79.
E-mail: guskovaagn1@rambler.ru