

УТВЕРЖДАЮ

Первый проректор федерального
государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего
образования «Санкт-Петербургский горный
университет»

доктор экономических наук, профессор

Н.В. Пашкевич

31 августа 2023 г.



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет» на диссертационную работу Пашали Александра Андреевича на тему «Научно-методическое обеспечение цифровых систем управления процессами добычи нефти», 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

Актуальность исследований диссертационной работы обусловлена необходимостью совершенствования цифровых систем управления эксплуатацией месторождений нефти и газа для создания условий перехода отечественной нефтяной отрасли от традиционной экспортно-сырьевой эволюционной стратегии к интеллектуально-инновационному развитию. Ранее информационное обеспечение систем управления отечественными нефтяными месторождениями в основном базировалось на использовании комплекса зарубежных программных средств, функционал которых был направлен на получение экономического эффекта за счёт решения тривиальных задач, таких как снижение простоев эксплуатации фонда нефтедобывающих скважин или сокращение потерь нефти в процессе сепарации попутно добываемого нефтяного газа (ПНГ), обезвоживания и обессоливания скважинной продукции. Современные условия эксплуатации нефтяных месторождений, находящихся на завершающей стадии эксплуатации, требуют разработки эффективных технологий добычи нефти, основанных на кардинально новых подходах и принципах. К таким инновационным подходам можно отнести и предложенную автором работы

новую концепцию интеллектуального управления эксплуатацией месторождения, в которой эффективность программного обеспечения реализуется не только путём расширения их функциональных возможностей, но и за счёт применения «интеллектуальных» компьютерных технологий на основе алгоритмов искусственного интеллекта для диагностирования работы погружного скважинного оборудования и цифровой имитации показаний отсутствующих или вышедших из строя измерительных скважинных устройств.

На решение этих задач и направлена диссертационная работа соискателя – разработку методов интегрированного моделирования, направленного на цифровизацию процессов управления нефтедобычей, транспорта жидких и газообразных углеводородов, путём создания косвенных алгоритмов, основанных на математическом моделировании, что и определяет её актуальность.

2. Структура диссертационной работы

Диссертационная работы изложена на 347 страницах машинописного текста, состоит из введения, шести глав, заключения и приложений, содержит 144 рисунка, 18 таблиц и списка используемой литературы из 158 наименований.

Во введении обоснована актуальность избранной темы, определены цель, задачи и методы исследования, приведены научная новизна, теоретическая и практическая значимость, сформулированы научные положения, выносимые на защиту.

В первой главе представлено современное состояние в области информационного обеспечения систем управления эксплуатацией нефтяных месторождений. Сделан вывод о наличии научной проблемы в области повышения интеллектуализации процессов добычи и промышленной транспортировки нефти. Определены научно-методические подходы к повышению эффективности отечественных программных продуктов за счёт разработки и внедрения их функциональных возможностей, таких как диагностирование работы погружного скважинного оборудования и имитация показаний отсутствующих или вышедших из строя измерительных скважинных устройств. Предложена формулировка новой концепции создания научно-методического обеспечения цифровых систем управления добычей нефти в сложных геолого-технических условиях. Определены нерешённые проблемы, сформулированы цель и задачи исследования.

Вторая глава посвящена гидродинамическому моделированию газожидкостных течений в вертикальных трубопроводах кольцевой и

цилиндрической формы, водонефтяных расслоенных и дисперсных течений в горизонтальных трубопроводах для разработки «интеллектуальных» технологий имитации показаний датчиков для замера забойного давления вертикальной скважины и расходомеров для замера величины локальных притоков двухфазного пластового флюида через трещины многостадийного гидроразрыва пласта (МГРП) к стволу горизонтальной скважины (ГС). В качестве исходных данных для разработанных алгоритмов датчиков давления и расходомеров использовались устьевые замеры скважины и замеры распределений давления и температуры вдоль горизонтального ствола скважины.

В третьей главе решаются задачи гидродинамического моделирования процесса естественной сепарации ПНГ в затрубном пространстве скважины, мощностного расчёта асинхронного погружного электродвигателя (ПЭД) и электроцентробежного насоса (ЭЦН), машинного обучения по замерам устьевых параметров. Разработаны алгоритмы для «интеллектуальных» технологий имитации работы датчиков замера естественной сепарации газа на приёме насоса, «виртуального расходомера» замера подачи насоса, датчика на его приёме. Разработан метод диагностирования неустойчивых режимов работы ЭЦН.

В четвёртой главе рассматриваются подходы к совершенствованию технологических процессов эксплуатации нефтяных скважин. В качестве «интеллектуальных» технологий предлагаются методы решения оптимизационных задач энергопотребления скважинами куста и методы расчёта притока из пласта охлаждающих флюидов без предварительных замеров дебита скважины и её динамического уровня.

Пятая глава посвящена совершенствованию гидродинамического моделирования газожидкостного течения в поверхностных трубопроводах рельефного типа, разработке гидродинамического критерия потери устойчивости застойных жидкостных пробок при транспортировке ПНГ на V-образных участках рельефных трубопроводов, гидродинамическому прогнозированию режимов течения «вода-нефть-газ» в промысловых трубопроводах. Полученные в виде алгоритмов «интеллектуальные» технологии могут быть использованы в программном обеспечении для уточнения расчётов давления и температуры в системе нефтесбора и промысловых газовых трубопроводах, а также для анализа структуры течения «вода-нефть-газ» для определения участков промысловой трубопроводной системы, наиболее пригодных для эффективного предварительного отбора воды.

Шестая глава посвящена разработке нестационарной интегрированной модели «пласт-скважина-установка электроцентробежного

насоса (УЭЦН)» для её применения в «интеллектуальной» технологии, используемой для повышения добычи нефти скважинами малодебитного фонда за счёт их перевода в периодический режим эксплуатации.

В заключении сформулированы основные результаты и выводы по работе.

Содержание диссертационной работы обладает внутренним единством и подчинено единой цели и задачам исследования.

3. Значимость для науки результатов диссертационных исследований автора

Значимость для науки результатов диссертационных исследований автора состоит в следующем:

1. Разработана методика расчёта забойного давления аналитического типа для добывающих скважин с замеренным динамическим уровнем.

2. Для повышения эффективности добычи нефти из скважин, характеризующихся высоким газосодержанием добываемой продукции, разработана математическая модель аналитического типа для расчёта коэффициента естественной сепарации ПНГ на приёме УЭЦН, расположенной в эксплуатационной колонне ниже уровня перфорации.

3. Для использования в программном продукте цифрового месторождения разработан программный алгоритм, позволяющий решать оптимизационную задачу по интенсификации добычи нефти группой скважин без увеличения общих затрат электроэнергии.

4. Для автоматизации процесса вывода скважины на режим разработан алгоритм расчёта притока охлаждаемой жидкости из пласта при отсутствии данных давления на приёме ЭЦН (динамического уровня в затрубе скважины) или данных автоматической газомерной установки (АГЗУ), позволяющий получить расчётные результаты, точность которых достаточна для принятия решения о времени дальнейшего освоения скважины в реальном масштабе.

5. Разработана математическая модель расчёта гидравлического сопротивления трубопровода с учётом влияния теплообмена с окружающей средой и структуры режимов водонефтяной смеси: стратифицированного, стратифицированного с перемешиванием на границе раздела жидкостей, дисперсного нефть в воде и вода, дисперсного нефть в воде, дисперсного вода в нефти.

6. Разработаны механистические подходы к прогнозированию стратифицированных режимов течения, основанные на анализе устойчивости межфазной границы по Кельвину-Гельмгольцу с учётом

вязкости и волновой неустойчивости. Для прогнозирования дисперсных режимов течения разработана методика, основанная на силовом балансе между гравитационными и турбулентными силами в нормальном сечении потока с замыканием уравнений полуэмпирическими зависимостями диаметра максимально устойчивой глобулы от обводнённости смеси.

7. Получен критерий устойчивости по параметрам Кельвина-Гельмгольца на границе «жидкость-газ», позволяющий определить значение скорости газа, при которой застойная жидкостная зона на V-образном участке трубопровода деградирует, превращаясь в жидкостную пробку, увлекаемую на восходящем участке трубопровода потоком газа.

4. Значимость для производства результатов диссертационных исследований автора

Значимость диссертационных исследований автора для производства заключается в реализации разработанных моделей и алгоритмов в программных комплексах и продуктах. Так, программный комплекс «Rosneft-WellView» внедрён в промышленную эксплуатацию на добывающих предприятиях ПАО «НК «Роснефть» и позволил повысить эффективность мониторинга эксплуатации механизированного фонда скважин, оптимизировать режимы их работы. Алгоритмы интеллектуального вывода скважин на рабочий режим внедрены в программных продуктах «Интеллектуальный вывод скважин на режим» и ИС «Мехфонд». Алгоритмы виртуального мониторинга баланса с расчётом термобарических условий для условий эксплуатации трубопроводной системы использованы в программных продуктах «РН-СИМТЕП» и «РН-КИН».

5. Конкретные рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Нефтедобывающим предприятиям ПАО «НК «Роснефть», ОАО «Лукойл», ТНК-ВР рекомендуется использовать результаты диссертационной работы по повышению эффективности режимов работы механизированного фонда скважин за счёт оптимизации управления технологическим процессом добычи нефти путём внедрения в производство программных комплексов «Rosneft-WellView», «Интеллектуальный вывод скважин на режим», информационной системы «Мехфонд», программных продуктов «РН-СИМТЕП» и «РН-КИН».

6. Публикации, отражающие основное содержание диссертации

Основное содержание диссертации представлено в 34 научных трудах, в том числе 17 статьях в ведущих рецензируемых научных журналах, включённых в перечень рекомендованных ВАК Министерства науки и высшего образования РФ, в одной монографии и одном методическом пособии. Автором получено три свидетельства РФ о государственной регистрации программ для ЭВМ. Результаты работы докладывались на международном форуме общества инженеров-нефтяников, международных и российских научно-технических конференциях.

7. Общая оценка диссертационной работы

Диссертационная работа Пашали А.А. посвящена актуальной проблеме научно-методического обеспечения цифровизации процессов управления добычи нефти путём разработки инновационных интеллектуальных компьютерных технологий, созданию методов и алгоритмов, позволяющих системам управления в режиме реального времени поддерживать оптимальные параметры добычи нефти, устойчивые к варьированию условий эксплуатации.

Автором разработаны: метод виртуального мониторинга забойного давления и давления на приёме насоса для скважин с замеренным динамическим уровнем; математические модели двухжидкостного течения для интерпретации данных промыслово-геофизических исследований по оценке распределённого притока жидкости на горизонтальном участке скважины с МГРП и расчёта коэффициента естественной сепарации свободного газа на приёме погружного ЭЦН при подъёме жидкости из области ниже уровня перфорации колонны скважины; газоконденсатного течения по газовой трубопроводной сети нефтяного месторождения. Представлены: алгоритм решения оптимизационной задачи по наращиванию добычи нефти группой скважин без увеличения затрат электроэнергии; метод расчёта параметров газожидкостного течения, учитывающий влияние эффектов продольной кривизны стенок трубопровода на формирование пробковой структуры течения на его V-образном участке; метод оптимизации работы скважин малодебитного фонда в периодическом режиме эксплуатации.

На основе предложенных моделей и алгоритмов разработаны и внедрены на добывающих предприятиях ПАО «НК «Роснефть» – ООО «РН-Юганскнефтегаз», «РН-Пурнефтегаз» программный комплекс «Rosneft-WellView» для повышения энергоэффективности фонда скважин, программные продукты ИС «Мехфонд» и «Интеллектуальный вывод

скважин на режим». Расчётные алгоритмы виртуального мониторинга баланса с расчётом термобарических условий для каждой узловой точки трубопроводной системы цифрового месторождения использованы в программных продуктах «РН-СИМТЕП» и «РН-КИН».

Автореферат полностью отражает и соответствует содержанию диссертации. Тема и содержание диссертационной работы соответствуют формуле паспорта специальности 2.8.4. – Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений: «научные аспекты и средства обеспечения системного комплексного (мультидисциплинарного) проектирования и мониторинга процессов разработки месторождений углеводородов, эксплуатации подземных хранилищ газа, создаваемых в истощённых месторождениях и водонасыщенных пластах с целью рационального недропользования» (п. 3); «научные основы компьютерных технологий проектирования, исследования эксплуатации, контроля и управления природно-техногенными системами, формируемыми для извлечения углеводородов из недр или их хранения в недрах с целью эффективного использования методов и средств информационных технологий, включая имитационное моделирование геологических объектов, систем выработки запасов углеводородов и геолого-технологических процессов» (п. 5).

8. Замечания и вопросы к диссертационной работе

1. Общая проблема многих месторождений с высокой обводнённостью добываемой продукции заключается в превышении нормативной температуры технологических процессов на объектах предварительной подготовки нефти. В процессе горячей сепарации ПНГ с газом теряется большое количество широкой фракции лёгких углеводородов (ШФЛУ). Автор предлагает для решения этой проблемы осуществлять предварительный отбор воды из системы нефтесбора. Однако существуют другие способы снижения температуры сепарации на дожимных насосных станциях, например, использование холодильных машин для низкотемпературной конденсации сепарируемого ПНГ. В диссертационной работе отсутствует анализ целесообразности использования различных способов снижения потерь ШФЛУ в процессе горячей сепарации ПНГ.

2. Поскольку в диссертационной работе используется коэффициент деградации потребляемой мощности насосом, следует учитывать в его определении уровень технического состояния насосной системы и связанного с ней электродвигателя, так как наличие развивающихся дефектов в оборудовании приводит к ухудшению энергетических

характеристик электрического двигателя и, как следствие, оказывает влияние на результаты расчётов предлагаемой оптимизации.

3. Необходимо пояснить, какие возможные диапазоны вариативности по уровню регулирования и частоте изменения скорости насосов необходимы при выполнении оптимизации режимов потребления электроэнергии УЭЦН на кусте скважин.

4. Как соотносятся упоминаемые в названии системы управления с описанными в работе методами расчёта и мониторинга?

Отмеченные замечания не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы.

9. Заключение

Диссертационная работа Пашали Александра Андреевича на тему «Научно-методическое обеспечение цифровых систем управления процессами добычи нефти» является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований изложены новые научно обоснованные технические решения, направленные на повышение эффективности системы управления добычей нефти в сложных геолого-технических условиях путём внедрения инновационных технологий на основе алгоритмов искусственного интеллекта и новых физико-математических моделей извлечения и транспортировки углеводородов в отечественное программное обеспечение, предназначенное для автоматизации бизнес-процессов, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие страны.

Тема и содержание диссертации соответствуют формуле и области исследований, приведённых в паспорте специальности 2.8.4. – Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений. Цель и задачи работы актуальны для отечественной нефтедобывающей отрасли. Автореферат в полной мере отражает содержание диссертации.

Диссертационная работа Пашали Александра Андреевича обладает научной новизной, имеет большую практическую значимость, и соответствует критериям, утверждённым Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842 (ред. от 18.03.2023 г.) «О порядке присуждения ученых степеней» (вместе с «Положением о присуждении ученых степеней») ВАК Министерства науки и высшего образования РФ, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени доктора технических наук.

Пашкевич Наталья Владимировна,
доктор экономических наук по специальности 08.00.05. – Экономика,
организация управления и планирования народного хозяйства
(промышленность), профессор.
первый проректор федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский
горный университет»,
РФ, 199106, г. Санкт-Петербург, 21-я В.О. линия, д. 2, аудитория 2401.
тел. +7(812)321-4077.
Электронный адрес: nvp01@spmi.ru

Сведения о ведущей организации:

Полное наименование на русском языке: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет»

Сокращенное наименование на русском языке: СПбГУ, Горный университет

Почтовый (фактический) адрес: 199106, г. Санкт-Петербург, 21-я В.О. линия, д. 2

Официальный сайт в сети Интернет: www.spmi.ru

E-mail: rectorat@spmi.ru, Mardashov_DV@pers.spmi.ru

Контактный телефон: +7 (812) 328-82-00; +7 (812) 328-82-81, +7 (812) 328-8420