

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе и инновациям
ФГБОУ ВО «Кубанский государственный
технологический университет»

В.В. Шапошников

« 27 » июня 2025 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет» на диссертационную работу Кулешовой Любови Сергеевны «Научно-методические основы создания искусственного интеллекта в решении задач повышения эффективности управления разработкой месторождений крупных нефтегазоносных провинций в условиях неопределенности», представленную на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук по специальности 2.8.3 – Горнопромышленная и нефтегазопромысловая геология, геофизика, маркшейдерское дело и геометрия недр

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, списка использованной литературы, включающего 335 наименований. Объем работы составляет 494 страниц, 74 рисунка, 48 таблиц, 8 приложений. Работа выполнена на кафедре «Разведка и разработка нефтяных и газовых месторождений» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет».

В результате ознакомления с диссертацией, авторефератом и опубликованными научными трудами соискателя установлено:

1. Актуальность темы выполненной работы

Диссертационная работа Кулешовой Л. С. посвящена созданию научно-методической базы для реализации комплексного геолого-промыслового обоснования решений, направленных на повышение эффективности разработки залежей крупных нефтегазоносных провинций с использованием искусственного интеллекта в условиях неопределенностей.

Рост количества объектов разработки, изменение структуры запасов, снижение рентабельности разработки залежей как находящихся в разработке, так и вновь вводимых в пределах крупных нефтегазоносных провинций обуславливают повышение значимости использования информационных технологий в решении задач повышения эффективности эксплуатации этих объектов с целью снижения себестоимости добываемой продукции.

Разнообразие залежей по параметрам, отражающим геолого-физические и физико-химические свойства пластов и их флюидов, требует создания системы для обоснования и использования метода аналогий на основе идентификации залежей и выделения на различных уровнях однородных групп объектов. В пределах этих групп важно провести исследование процессов выработки запасов нефти с использованием различных технологий разработки и эксплуатации залежей и скважин с проведением процедур моделирования и созданием методических основ для обоснования принятия управляющих решений, направленных на снижение издержек на добычу углеводородов.

Решение этой важной народно-хозяйственной задачи возможно на основе анализа и обобщения опыта разработки длительно эксплуатируемых месторождений. Важным моментом при этом является получение возможности решения задач в условиях наличия различного рода неопределенностей, возникающих в силу причин как объективного, так и субъективного характеров.

В этих условиях решение задач снижения рисков принятия ошибочных решений, направленных на повышение эффективности процесса нефтеизвлечения невозможно без применения современных цифровых технологий и соответствующей научно-методической основы, что обуславливает безусловную актуальность темы диссертационной работы.

2. Значимость для науки результатов диссертационных исследований, полученных автором

Наиболее значимыми результатами для науки являются следующие:

- созданы алгоритмы: подбора объектов-аналогов на качественном уровне для залежей на ранней стадии разработки на основе использования типа коллектора, принадлежности к стратиграфической системе, ярусу, горизонту, тектоническому элементу; идентификации и группирования, адаптированные к условиям залежей нефти, основанные на использовании параметров, оказывающих превалирующее влияние на процессы выработки запасов нефти и эффективность разработки, и лежащие в основе подсчета запасов и проектирования разработки месторождений; идентификации залежей нефти с различным типом коллекторов для поиска залежей-аналогов в коллекторах, приуроченных к различным стратиграфическим системам; идентификации залежей для стадии полного разбуривания месторождений, основанный на последовательном использовании получаемой информации об объекте;

- установлены: области определения объектов-аналогов в карбонатных коллекторах, приуроченных к различным стратиграфическим системам; необходимость предварительной дифференциации объектов в зависимости от принадлежности к той или иной системе; сходство отдельных залежей в карбонатных коллекторах каменноугольной системы, приуроченных не только к различным тектоническим элементам, но и к различным стратиграфическим комплексам; различие степени влияния параметров, характеризующих особенности геологического строения и свойства пластовых флюидов, на идентифицируемость залежей в разных условиях; минимальный набор параметров, характеризующих различные геологические системы для проведения процедуры идентификации с использованием ограниченного объема информации на ранних стадиях разработки нефтяных месторождений;

- показано, что: при группировании процент верно сгруппированных объектов существенно выше при комплексном использовании факторов тектоники и стратиграфии по залежам с различными типами коллекторов; в пределах групп, выделенных по тектонико-стратиграфическому принципу, присутствуют отдельные объекты, входящие в состав сопредельных тектонических элементов, ввиду идентичности условий формирования залежей и это необходимо учитывать при идентификации и поиске объектов-аналогов;

- реализована процедура моделирования продуктивности скважин и залежей с использованием косвенной информации в условиях неопределенностей, вызванных отсутствием достоверных и достаточных данных гидродинамических исследований для реализации концепции эффективной разработки залежей с использованием искусственного интеллекта;

- построены модели для прогнозирования продуктивности и удельной продуктивности скважин и залежей групп объектов, выделенных как с использованием

тектонико-стратиграфического фактора, так и в результате глубокой идентификации внутри крупных тектонических и стратиграфических элементов;

- создан комплекс алгоритмов, позволяющих проводить прогноз и оценку конечного коэффициента извлечения нефти и выбор плотности сетки скважин в условиях неопределенности параметров пластовых систем по различным группам объектов, на основе полученных геолого-статистических моделей, построенных с использованием многовариантности и включающие в себя параметры, определяемые:

- по данным гидродинамических исследований скважин;

- достаточно надежно на начальной стадии разработки по результатам геофизических и лабораторных исследований;

- после полного разбуривания месторождений с учетом геологической неоднородности;

- установлены наборы параметров геологической неоднородности, в наибольшей мере оказывающие влияние на нефтеотдачу, причем степень и характер влияния их в условиях представленных групп объектов различны, что должно учитываться при проведении процедуры прогноза через идентификацию и выбор соответствующей модели;

- создана научно-методическая база геолого-технологического обоснования повышения эффективности управления заводнением в условиях неоднородной информации о залежах. При этом предложены параметры, характеризующие успешность заводнения, определены критические и минимальные их значения для фактической оценки взаимодействия нагнетательных и добывающих скважин, критические и максимальные расстояния между ними, а также алгоритмы снижения зон неопределенности при оценке успешности заводнения и прогноза максимальных значений взаимнокорреляционных функций по геолого-геофизическим данным;

- предложено использовать параметр интенсивности воздействия, который в комплексе включает в себя не только плотность сетки скважин, но и отношение количества скважин добывающего и нагнетательного фондов. Созданы модели для прогноза конечного коэффициента извлечения нефти при использовании различных плотностей сеток скважин и систем заводнения на основе проведения гидродинамических исследований по скважинам после очистки призабойной зоны от продуктов бурения. Показана необходимость дифференциации плотности сетки добывающих и систем размещения нагнетательных скважин по площади объектов разработки;

- показано, что в условиях каждой выделенной группы объектов на степень выработки запасов нефти оказывает влияние свой специфический набор геологических параметров, при этом вклад их в конечный результат различен, различны характер и степень влияния плотности сетки скважин и соотношения количества добывающих скважин к нагнетательным, что является отражением влияния неучтенных факторов и нивелируется процедурой идентификации, последующей дифференциацией объектов и использованием соответствующих моделей.

3. Значимость для производства результатов диссертационных исследований, полученных автором

Наиболее значимыми для производства результатами являются следующие:

- определенные: состав групп объектов, входящих в различные тектонико-стратиграфические элементы, а также вероятность их появления в группе с выделением группообразующих тектонико-стратиграфических элементов, что расширяет области поиска объектов-аналогов при их явном отсутствии; области в осях канонических дискриминантных функций для поиска объектов в терригенных коллекторах близких по геологическому строению, приуроченных к различным стратиграфическим системам; набор единых параметров, обеспечивающих семидесятипроцентную идентифицируемость залежей.

- для условий групп объектов, выделенных по тектонико-стратиграфическому принципу, а также с использованием глубокой идентификации созданная методика, позволяющая в условиях неопределенностей, связанных с ограниченным проведением гидродинамических исследований с использованием косвенной информации дифференцированно по различным группам объектов: определять время восстановления реальных свойств призабойной зоны посредством проведения исследований методом установившихся отборов в период очистки ПЗП; оценивать дебиты скважин в период от освоения и до выхода на максимальный оптимальный дебит; сравнивать эффективность добычи нефти с использованием забоев различной конструкции;

- созданные модели для оценки продуктивности построены на основе использования как полного комплекса имеющейся информации о залежах групп объектов, в том числе и с использованием показателей геологической неоднородности, так и с использованием ограниченного объема, что позволяет осуществлять процедуру прогнозирования в стадии ввода месторождений в эксплуатацию, а также в условиях отсутствия или непредставительного объема информации о залежах;

- выделенные особенности процесса нефтеизвлечения дифференцированно в условиях различных групп месторождений с созданием научно-методических основ использования информационных технологий в решении задач повышения эффективности выработки запасов при разработке залежей без организации закачки в пласт воды;

- установление того, что модели, полученные для использования на ранней стадии разработки, имеют коэффициент детерминации на 25 % ниже, чем модели, полученные для использования после полного разбуривания месторождений, однако использование их на стадии составления технологических схем и проектов вполне оправдано, а погрешности моделей, построенных с учетом их тектонической и стратиграфической приуроченности выше погрешностей моделей, построенных по группам объектов, выделенным в результате проведения глубокой идентификации внутри этих элементов, что необходимо учитывать при проведении оценок и прогнозирования коэффициентов извлечения нефти;

- полученные геолого-статистические модели, которые легли в основу методики прогноза максимального оптимального дебита скважин при разработке залежей на естественном режиме, а также скважин, окружающих нагнетательные, для обоснования выбора и совершенствования систем заводнения, ввода в эксплуатацию простаивающих скважин и скважин с других горизонтов. Методика базируется на использовании ограниченного объема косвенной информации, имеющейся в наличии у недропользователей. При этом установлены области применения полученных результатов с минимальными рисками и показано существенное снижение зон неопределенности при проведении глубокой идентификации залежей в плане прогноза успешности реализации внутриконтурного заводнения;

- предложенный комплекс алгоритмов для установления скважин-кандидатов добывающего фонда для перевода их в нагнетательный на разбуренных объектах, а также выбора систем заводнения на залежах, вводимых в разработку по объектам групп, выделенных с учетом тектонико-стратиграфического фактора и в результате проведения процедуры глубокой идентификации на основе полученных формул и граничных значений параметров успешности;

- определенный актуальный набор параметров, позволяющий использовать созданные геолого-статистические модели прогноза конечного коэффициента извлечения нефти в различных условиях разработки, в том числе в условиях дефицита данных гидродинамических исследований.

4. Конкретные рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Результаты, представленные в работе, можно рекомендовать для использования на месторождениях ПАО «НК «Роснефть», ПАО «ЛУКОЙЛ», ПАО «Татнефть», ПАО «Сургутнефть», ПАО «Газпромнефть» и других компаний, осуществляющих добычу на нефтяных месторождениях на территориях Волго-Уральской и Западно-Сибирской нефтегазоносных провинций в процессах управления и проектирования разработки с целью повышения эффективности выработки трудноизвлекаемых запасов. Представленные разработки могут быть использованы научно-исследовательскими институтами при решении теоретических и практических задач при создании искусственного интеллекта, а также могут быть использованы в учебном процессе подготовки и переподготовки специалистов в области нефтегазопромысловой геологии и разработки нефтяных и газовых месторождений.

5. Публикации, отражающие основное содержание диссертации

По теме диссертации опубликовано 86 научных трудов (15 в моноавторстве), в том числе 26 статей в ведущих рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ (19 – в изданиях K1, K2), 44 статьи в изданиях, входящих в реферативную базу Web of Science, Scopus (21 – в изданиях Q1, Q2), 5 монографий, 3 учебных пособия. В зарубежных изданиях опубликовано 37 статей. Зарегистрировано 5 программ для ЭВМ.

Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на Международной научно-технической конференции, посвященной 60-летию филиала УГНТУ в г. Октябрьском (г. Октябрьский, 2016); Международной научно-технической конференции ICIAM (г. Санкт-Петербург, 2017); Международной научно-технической конференции «Методы и технологии добычи трудноизвлекаемых запасов природных углеводородов» (г. Уфа, 2017); Международных научно-технических конференциях «Innovations and Prospects of Development of Mining Machinery and Electrical Engineering» (г. Санкт-Петербург, 2018, 2019); Международной научно-технической конференции «Actual Issues of Mechanical Engineering» (AIME, 2018) (г. Новосибирск, 2018); Международной конференции «Информационные технологии в бизнесе и производстве» (г. Новосибирск, 2019); Международных научно-технических конференциях «Современные технологии в нефтегазовом деле» (г. Октябрьский, 2019, 2020, 2021), Международной научно-технической конференции «International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems» (г. Новосибирск, 2019); Международной научно-технической конференции «International Workshop on Innovations and Prospects of Development of Mining Machinery and Electrical Engineering» (IPDME, 2019) (г. Санкт-Петербург, 2019), Международной научно-технической конференции «High-Tech and Innovations in Research and Manufacturing» (HIRM, 2020) (г. Красноярск, 2020); Международной научно-технической конференции «International Conference on Information Technology in Business and Industry» (ITBI, 2020) (г. Новосибирск, 2020); Международной научно-технической конференции «International Conference on Extraction, Transport, Storage and Processing of Hydrocarbons & Materials» (ETSaP, 2020) (г. Тюмень, 2020); Международной научно-технической конференции «Earth sciences: history, contemporary issues and prospects» (EES, 2020) (г. Москва, 2020); Международной научно-технической конференции «International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems» (MEACS, 2020) (г. Новосибирск, 2021); Международной научно-технической конференции «International Conference on Innovations, Physical Studies and Digitalization in Mining Engineering» (IPDME, 2020) (г. Санкт-Петербург, 2021); Международной научно-

технической конференции «International Conference: Actual Issues of Mechanical Engineering» (AIME, 2020) (г. СанктПетербург, 2021); Международной научно-технической конференции «International Conference on IT in Business and Industry» (ITBI, 2021) (г. Новосибирск, 2021); Международной научно-технической конференции «Earth sciences: history, contemporary issues and prospects» (ESHCIР, 2021) (г. Москва, 2021), Международной научно-технической конференции «XIV Russian Conference on Petroleum and Mining Engineering» (PETMET, 2021) (г. Пермь, 2022), Международной научно-технической конференции «International Conference "High-tech and Innovations in Research and Manufacturing» (HIRM, 2021) (г. Красноярск, 2022); Международной научно-технической конференции «International Conference on Ensuring Sustainable Development: Ecology, Energy, Earth Science and Agriculture» (AEES, 2023) (г. Москва, 2024); Международной научно-технической конференции «III International Conference on Actual Problems of the Energy Complex: Mining, Production, Transmission, Processing and Environmental Protection» (ICAPE, 2024) (Республика Южная Корея, г. Чхонан); Международной научно-технической конференции «III International Conference "Sustainable Development: Agriculture, Energy and Ecology» (VMAEE, 2024) (г. Уфа, 2024).

6. Общая оценка диссертационной работы

Диссертационная работа Кулешовой Л.С. посвящена решению актуальной проблемы создания научно-методической базы для реализации комплексного геолого-промыслового обоснования решений, направленных на повышение эффективности разработки залежей крупных нефтегазоносных провинций с использованием искусственного интеллекта в условиях неопределенностей.

Автор успешно справился с поставленными задачами, наиболее существенными результатами решения которых являются:

1. Создание комплекса алгоритмов и методики идентификации залежей нефти Волго-Уральской нефтегазоносной провинции на различных этапах разработки в условиях наличия различного рода неопределенностей с учетом необходимой глубины дифференциации объектов. Интерпретация результатов проведенных исследований. Физическое толкование приведенной процедуры дифференциации, группирования и идентификации объектов разработки.

2. Создание моделей для прогноза продуктивности и удельной продуктивности скважин и залежей по данным геолого-геофизических и лабораторных исследований продуктивных пластов в условиях отсутствия достаточного объема гидродинамических исследований и наличия «шумов» при их проведении. Разработка методик и алгоритмов обеспечения достаточности и достоверности определения значений продуктивности при решении задач управления процессами добычи нефти с использованием косвенных данных.

3. Разработка научно-методических аспектов для принятия управляющих решений с использованием информационных технологий на основе геолого-статистического моделирования процесса нефтеизвлечения по группам объектов, находящихся длительное время в эксплуатации на естественных режимах.

4. Создание методик и алгоритмов, позволяющие проводить комплексное геолого-технологическое обоснование принятия решений, направленных на повышение эффективности заводнения залежей с трудноизвлекаемыми запасами в условиях наличия неоднородной информации об условиях разработки объектов.

Достоверность выводов и рекомендаций основана на использовании положений, сформулированных в исследованиях российских и зарубежных учёных, сопоставлении

результатов, полученных на базе апробированных методов решения задач, сходимости результатов, полученных на основе предложенных методик с фактическими данными.

Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

Тематика и содержание диссертационной работы соответствует паспорту научной специальности 2.8.3. – Горнопромышленная и нефтегазопромысловая геология, геофизика, маркшейдерское дело и геометрия недр, а именно: п. 7 «Анализ и типизация горно-геологических условий месторождений твердых, жидких и газообразных полезных ископаемых для их эффективного промышленного освоения», п. 9 «Методы и системы обработки геологической, маркшейдерской и геофизической информации, а также методы моделирования месторождений, прогнозирования горно-геологических условий, явлений и процессов», п. 16 «Научные основы методов, средств, компьютерных технологий геологического моделирования месторождений твердых, жидких и газообразных полезных ископаемых для их эффективного промышленного освоения», п. 17 «Разработка методов и технологий исследования и мониторинга горно-геологических и горнотехнических условий освоения и эксплуатации месторождений полезных ископаемых и подземных хранилищ нефти и газа, п. 18 «Геолого-геофизическая оценка нефтегазоносности, анализ и типизация горно-геологических условий освоения месторождений углеводородов».

7. Замечания по диссертационной работе

1. В работе проводится идентификация залежей по тектонико-стратиграфической приуроченности объектов разработки. В отдельные группы объектов выделены залежи нефти в карботаных коллекторах турнейского яруса, приуроченные к различным тектоническим элементам. Известно, что залежи нефти этого яруса в кизеловском, черепетском, упинском, мелевском и заволжском горизонтах, в отдельных случаях, характеризуются различной степенью выработки запасов. Однако группирование этих объектов проводилось в целом по турнейскому ярусу. Было бы интересно знать, насколько отличаются объекты этих горизонтов друг от друга по параметрам, отражающих геолого-физические свойства пластов и физико-химические свойства флюидов, какие факторы определяют степень нефтеизвлечения?

2. Не совсем понятно, почему в моделях параметров успешности заводнения и прогноза максимальных значений взаимнокорреляционных функций, а также максимальных оптимальных дебитов отсутствуют объем и давление закачки воды в нагнетательные скважины?

3. В работе в явном виде не представлен перечень критериев для оценки эффективности принятия управляющих решений.

4. В работе приведены различные геолого-статистические модели, однако не указаны границы применимости полученных уравнений, т.е. интервалы изменения значений переменных, в пределах которых полученный результат можно считать достоверным.

8. Заключение

Достоверность полученных результатов основана на использовании фактического геолого-промыслового материала по объектам исследования. Практическое использование рекомендаций осуществлено на различных нефтяных месторождениях с экономическим эффектом более 400 млн руб.

Сделанные замечания не умоляют достоинств диссертации и являются рекомендациями для дальнейших научных исследований в представленной области.

Защищаемые положения, приведённые в тексте автореферата, грамотно сформулированы и подтверждены множественными фактическими результатами.

В целом диссертация Кулешовой Л. С. «Научно-методические основы создания искусственного интеллекта в решении задач повышения эффективности управления разработкой месторождений крупных нефтегазоносных провинций в условиях неопределённости» отвечает критериям, утверждённым Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842 (пп. 9-14) «О порядке присуждения учёных степеней» ВАК Министерства науки и высшего образования РФ, предъявляемым к докторским диссертациям, является завершённой научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные технологические решения, направленные на создание научно-методической базы для реализации комплексного геолого-промыслового обоснования мероприятий, направленных на повышение эффективности разработки залежей крупных нефтегазоносных провинций с использованием искусственного интеллекта в условиях неопределённостей, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие страны

Автор диссертационной работы, Кулешова Любовь Сергеевна, заслуживает присуждения искомой степени доктора геолого-минералогических наук по специальности 2.8.3. – Горнопромышленная и нефтегазопромысловая геология, геофизика, маркшейдерское дело и геометрия недр.

Диссертационная работа Кулешовой Л.С. и отзыв заслушаны и обсуждены на заседании кафедры нефтегазового дела имени профессора Вартумяна Г.Т. 25 июня 2025 г., протокол № 12 от 25 июня 2025 г.

Гиалаев Гани Гайсинович

Заведующий кафедрой нефтегазового дела имени профессора Вартумяна Г. Т., доктор технических наук, профессор по специальности 25.00.17. – Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений»



Гиалаев Г. Г.

ФГБОУ ВО «КубГТУ»
350072, Краснодарский край,
г. Краснодар, ул. Московская, д.2
Телефон/факс (861) 255003-85
E-mail: rector@kubstu.ru



Гиалева Т.Т.
подпись _____ удостоверяю _____
Заведующий кафедрой
«27» июня 2025 г.