

УДК 338.27

Н. А. Алексеева ORCID ID 0000-0003-4220-0193

ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный аграрный университет», Ижевск, Россия,
e-mail: 497477@mail.ru

Е. В. Марковина ORCID ID 0000-0002-4385-9814

ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный аграрный университет», Ижевск, Россия

И. А. Мухина

ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный аграрный университет», Ижевск, Россия

О. И. Рыжкова ORCID ID 0000-0002-0345-9584

ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный аграрный университет», Ижевск, Россия

Л. Д. Коробейникова

ФГБОУ ВО «Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации»,
Москва, Россия

ОПТИМИЗАЦИЯ ОСВОЕНИЯ НОВЫХ ЛИЦЕНЗИОННЫХ УЧАСТКОВ НА ОСНОВЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ: АНАЛИЗ РИСКОВ И ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ

Ключевые слова: цифровые технологии, искусственный интеллект, машинное обучение, оптимизация, кустование, лицензионный участок, скважина.

Актуальность темы исследования обусловлена высокой капиталоемкостью и рисками при освоении новых лицензионных участков в нефтегазовой отрасли. Традиционные методы оценки сталкиваются с проблемами: использованием устаревшей документации, отсутствием развитой инфраструктуры для обустройства месторождений, необходимостью одновременного учета огромного массива разнообразных параметров и колоссальными временными затратами. Это требует разработки новых, интеллектуальных инструментов для принятия эффективных инвестиционных решений. Цель исследования – оценить возможности и эффективность применения специализированных программных комплексов для анализа и оптимизации освоения новых лицензионных участков с целью минимизации рисков и максимизации экономического эффекта. Методы исследования включали анализ существующих рисков, описание и оценку работы интеллектуальных модулей отечественной разработки, применяющих методы Монте-Карло и k-средних для кластеризации и оптимизации, а также апробацию модифицированных алгоритмов на реальном объекте. Систематизированы ключевые риски, связанные с оценкой новых участков. Описаны принципы работы корпоративных интеллектуальных систем управления и их модулей. Проанализированы преимущества и недостатки алгоритмов кластеризации, предложены модификации для нейтрализации отрицательных эффектов. Предложено использование модифицированных алгоритмов в рамках интеллектуальных систем для комплексной оценки участков, оптимизации размещения фонда скважин и инженерной инфраструктуры, которые способны существенно увеличить технико-экономические показатели инвестиционных проектов в нефтяной отрасли.

N. A. Alekseeva ORCID ID 0000-0003-4220-0193

Udmurt State Agrarian University, Izhevsk, Russia, e-mail: 497477@mail.ru

Ye. V. Markovina ORCID ID 0000-0002-4385-9814

Udmurt State Agrarian University, Izhevsk, Russia

I. A. Mukhina

Udmurt State Agrarian University, Izhevsk, Russia

O. I. Ryzhkova ORCID ID 0000-0002-0345-9584

Udmurt State Agrarian University, Izhevsk, Russia

L. D. Korobeinikova

Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow, Russia

OPTIMIZATION OF DEVELOPMENT OF NEW LICENSED INTELLIGENT SITES: RISK ANALYSIS AND ASSESSMENT OF ECONOMIC EFFICIENCY

Keywords: digital technologies, artificial intelligence, machine learning, optimization, handicrafts, licensed area, well.

The relevance of the research topic is due to the high capital intensity and risks in the development of new license areas in the oil and gas industry. Traditional assessment methods have become problematic: the use of outdated documentation, the lack of a developed infrastructure for field development, the need to simultaneously take into account a huge array of various parameters and colossal time costs. This requires the development of new, intelligent tools for making effective investment decisions. The purpose of the study is to assess the possibilities and effectiveness of using specialized software complexes to analyze and optimize the development of new license areas in order to minimize risks and maximize the economic effect. Research methods included analysis of existing risks, description and evaluation of the work of smart modules of domestic development using Monte Carlo and k-means methods for clustering and optimization, as well as testing of modified algorithms at a real facility. Key risks associated with the assessment of new sites are systematized. The principles of operation of corporate intelligent control systems and their modules are described. Advantages and disadvantages of clustering algorithms are analyzed, modifications are proposed to neutralize negative effects. It is proposed to use modified algorithms within the framework of intelligent systems for a comprehensive assessment of sites, optimization of the well stock and engineering infrastructure, which can significantly increase the technical and economic indicators of investment projects in the oil industry.

Введение

Оценка экономической эффективности приобретения новых лицензионных участков для разработки месторождений нефти – это процесс, требующий взаимодействия большого количества служб, связанный с необходимостью обрабатывать большой объем первичной информации, находящейся в различных источниках. Оценка новых лицензионных участков часто осложняется необходимостью прохождения нескольких этапов отбора участков, в которых некоторые итерации многократно повторяются, что замедляет процессы принятия решений. Цифровые решения, основанные на искусственном интеллекте и машинном обучении, способны кардинально изменить подходы к выбору перспективных направлений геологоразведки и последующих управленческих решений. Актуальным является разработка методики оптимизации кустования скважин методами искусственного интеллекта и с помощью существующих на нефтегазовом предприятии программных продуктов.

Цель исследования заключается в анализе имеющихся методологических и методических подходов к обоснованию выбора новых участков недр для размещения фонда нефтяных скважин, способствующего оптимизации затрат на разработку месторождений, а также в совершенствовании алгоритмов искусственного интеллекта и машин-

ного обучения, применяемых в процедурах такого выбора.

Материалы и методы исследования

Основным источником информации стали научные разработки отечественных ученых по оценке эффективности внедрения новых технологий, результаты апробации усовершенствованных технологий в условиях реального производства. Основные методы исследования связаны с системным подходом, сравнительным анализом.

Результаты исследования и их обсуждение

Деятельность каждого нефтегазодобывающего предприятия напрямую зависит от расширения его ресурсной базы, поэтому предприятия постоянно должны быть в поиске новых участков недр и технико-технологических решений для разработки месторождений. В последние годы вектор таких поисков лежит в направлении цифровизации производственных и управленческих процессов [2, 4]. Президент РФ своим указом о национальных целях развития на перспективу до 2036 г. установил, что в обеспечение технологического лидерства и «цифровой зрелости» экономики необходимо выйти на новые рынки технологий искусственного интеллекта, энергетических технологий, рынки данных, обеспечить до 80% исполь-

зование в управленческих процессах базового и прикладного отечественного программного обеспечения [9]. И.В. Филимонова, А.В. Ивершинь сообщили, что в целях максимизации эффективности освоения месторождений нефти и поиска «минимально рентабельного дебита скважин как одного из критериев ранжирования проектов нефтедобычи» методом математического моделирования разработана методика прогнозирования оптимального профиля добычи нефти на месторождении [10, с. 6]. Учеными Е.К. Соложенкиной и другими сформирован четырехэтапный методический подход по обоснованию выбора новых участков недр для размещения попутных вод в процессах сбора продукции нефтяных скважин [1, с. 31]. Черненко К.И., Харченко В.М., Неркаряян А.Е., Еремина Н.В. отметили, что в целях недопущения падения уровня добычи нефти в основных нефтегазодобывающих регионах осваиваются мелкие и очень мелкие месторождения. Например, в Татарстане, до 20% добычи обеспечиваются за счет освоения запасов нефти в пропущенных пластах и пропластках. Для этого разработана и используется методика выделения зон повышенной продуктивности скважин по совокупности геолого-промысловых и дистанционных методов геологического картирования [6, с. 9]. В.Н. Кожин, А.В. Никитин и их соавторы заметили, что крупные ВИНК давно склоняются к проведению работ в уже обустроенных старых нефтегазовых провинциях. Этому способствует пересмотр прежних оценок запасов с учетом развития современных технологий повышения нефтеотдачи пластов, разбуриванием более глубоких горизонтов, включением в баланс ранее нерентабельных запасов мелких месторождений, а также залежей с трудноизвлекаемыми запасами [8, с. 22]. С.А. Кириллов, А.М. Алисолтанов сообщили о внедрении в производство программного обеспечения цифровой технологии «Динамическое видение» отечественной разработки с огромной базой геолого-геофизических и промысловых данных целой нефтегазовой провинции с множеством лицензионных участков, месторождений и скважин для освоения [5, с. 35]. Перечисленные методики способствуют росту добычи нефти, но они касаются выбора объектов в пределах имеющихся лицензий на разработку недр [1], либо основаны на зарубежном программном обеспечении, удобном для принятия про-

мисленных решений на разных стадиях разработки месторождений [10], либо выбор методов оптимизации добычи нефти обусловлен их дешевизной и оперативностью, что важно для работы в «старых» добывающих регионах [6]. В данном исследовании важно найти решения для ускорения оценивания эффективности ежегодного приобретения 5-6 новых лицензионных участков с небольшим проектным фондом скважин, в каждом из которых прохождение полного цикла оценивания может достигать семи итераций, на основе имеющегося на нефтегазовом предприятии оборудования и программного обеспечения.

Текущий алгоритм оценивания новых лицензионных участков включает следующие процедуры: подготовка исходных данных, предполагаемое размещение фонда скважин, расчет стартовых дебитов, построение профилей добычи, раскустовка, проектирование наземной инфраструктуры, экономическое обоснование выгоды такого размещения.

Риски, связанные с оценкой приобретения новых лицензионных участков, могут быть обусловлены следующими обстоятельствами:

- неточностью имеющейся проектно-технической документации, разработанной до периода массового применения цифровых технологий;
- новые участки недр находятся в зонах с непроработанной наземной инфраструктурой, что обязывает обращаться к первичному, разрозненному по источникам, масштабам и системам координат картографическому материалу [6]. Например, такими неизученными областями могут быть: наличие (отсутствие) скотомогильников, объектов культурного наследия, месторождений иных полезных ископаемых, особо охраняемых природных территорий, границ населенных пунктов, трасс разного назначения вблизи проектируемых скважин, соблюдение санитарных, охранных, лесных, противоэрозионных зон;
- одновременность учета множества параметров [3, с. 103]: рельеф и гидрография местности, имеющуюся и проектируемую дорожно-транспортную инфраструктуру (линии электропередач, дороги, мосты и т.д.), геологические характеристики местности (интервалы нецелевых пластов, глубину, длину, координаты горизонтальных участков, их расположение), сетку (координаты, траектории, конструкции) имеющихся

скважин, грузоподъемность бурового оборудования, технологические ограничения насосного оборудования, последовательность бурения скважин и другое;

- большие временные затраты для оценки крупных нефтеносных кластеров [6].

Так, в результате исследования возможностей приобретения пяти новых лицензионных участков, а также расширения границ одного лицензионного участка недр могут потребоваться тестирование около 100 скважин, до 40 итераций на каждую скважину, около 1300 часов рабочего времени или более семи месяцев работы одного специалиста.

В ПАО «НК «Роснефть»» разработан ряд программных комплексов, среди которых «РН-КИН», «РН-КИМ», «РН-Нейросети», создающих интегрированную среду для одновременной работы многих специалистов в вопросах проектирования, мониторинга, создания и анализа гидродинамических моделей, подбора оптимальных стратегий разработки месторождений [7, с. 31].

Рассмотрим работу этих модулей на примере крупного регионального нефтегазового предприятия. На основе входных характеристик запасов, нефтенасыщенности пластов, давлений и других параметров, содержащихся в картографических материалах, методом Монте-Карло подобрана система распределенных решений по фонду скважин с их индивидуальными параметрами. Работа модуля «РН-Нейросети» заключается в оптимизации поиска только таких ветвей по дереву решений, которые имеют высокие оценки. При этом функция оценки не дифференцирована. Оценка в виде чистого дисконтированного дохода может быть получена как на каждой итерации, так и по исходам всех итераций.

Другой программный модуль методом k-средних проводит кластеризацию скважин по некоторым заранее отобранным критериям (например, состояние скважины, дебиты, пластовое давление и другие). После каждой итерации, связанной с отработкой какого-либо очередного критерия, происходит новая кластеризация скважин с образованием нового кластерного центра. Итерации заканчиваются, когда структурные изменения в кластерах больше не происходят.

Преимущества использования интеллектуальных систем управления в данном модуле:

- высокая скорость обработки огромного массива информации;

- высокая точность кластеризации скважин;

- разработка множества модификаций распределений объектов.

Недостатки интеллектуальных систем управления:

- количество кластеров (группировок) задается аналитиком;

- не ко всем параметрам скважин можно применить понятие «среднего», что исключает работу данного параметра в алгоритмах кластеризации;

- на выбор центров кластеров влияют далеко разбросанные объекты, так что множественность итераций не гарантирует окончательность «оптимального» решения, требуется человеческий интеллект для выбора.

Для нейтрализации отрицательных эффектов кластеризации в модуль введены две модификации: ранжирование с помощью удельного веса расстояний между центром кластера и скважиной и предельное расстояние от скважины до центра кластера.

С помощью модуля «РН-КИН» спроектированы и ранжированы по значимости зоны с ограниченными возможностями для размещения инфраструктуры.

По совокупности полученной информации создана единая карта возможностей для размещения кустовых объектов и линейных коммуникаций с учетом пропускной способности трубопроводов и стоимостных показателей.

В итоге апробация модифицированных алгоритмов на одном из объектов на территории Удмуртской Республики показала, что использование интеллектуальных систем позволило так разместить фонд скважин, что увеличился дебит нефти, дебит жидкости снизился, коэффициент извлечения нефти на 1,89%, снизилась обводненность скважин, увеличилась добыча нефти на 94 тыс. т, достигнуты минимальные значения капитальных вложений на бурение и обустройство кустов (снижение более чем на 161 млн. руб.), чистый дисконтированный доход проекта вырос на более чем 200 млн руб., индекс доходности проекта увеличился на 0,11 по сравнению с данными из проектной технической документации. Достигнуто сокращение протяженности коммуникаций и их стоимости по нефтесборным сетям на 6,62%, водопроводам на 3,28%, линиям электропередач на 10,66%, автодорогам на 3,59%. Общая экономия затрат составила около 106 млн руб.

Заключение

Традиционный подход к оценке новых лицензионных участков недр в новых условиях хозяйствования, связанных с повышенной скоростью принятия решений на высококонкурентных рынках, устарел и крайне ресурсоёмок. Он основан на ручном анализе разрозненных и неточных данных, требует многих месяцев работы даже для предварительной оценки. Ряд отечественных программных комплексов кардинально меняют процесс. Они позволяют автоматизировать обработку огромных массивов данных, моделировать множество сценариев и проводить оптимизацию по большому числу параметров одновременно. Стандартные алгоритмы технологии имеют ограничения и требуют адаптации, например, за счет введения весовых коэффициентов значимости процессов и предельных ве-

личин отклонения местонахождения скважин от центров кластеров. Ключевой экономический эффект достигается за счёт системной оптимизации всей инфраструктуры проекта. Как показала апробация, интеллектуальные системы позволяют оптимально разместить не только сами скважины с повышением дебита и коэффициента извлечения нефти, но и всю сопутствующую сеть – трубопроводы, дороги, ЛЭП. Именно эта комплексная оптимизация приводит к синергетическому эффекту: росту доходов и одновременному значительному снижению капитальных затрат. Научная новизна исследования заключается в установлении диапазона положительного влияния интеллектуальных технологий и алгоритмов машинного обучения на оптимизацию затрат по поиску и обоснованию новых лицензионных участков недр.

Библиографический список

1. Соложенкина Е.К., Федоткина О.С., Демин С.В. Папухин С.П., Данилов М.Н., Крюкова А.П., Ги-лаев Г.Г. Аспекты поиска и организации новых участков размещения попутных вод // Недропользование XXI век. 2024. № 5-6(105). С. 30-39. EDN: UAIMKU.
2. Данильченко С.Л., Шемет В.С., Минаков А.В. и др. Векторы социально-экономического развития России: современные вызовы и возможности: монография. Чебоксары: ООО «Издательский дом «Среда», 2025. 172 с. ISBN: 978-5-907965-15-7. DOI: 10.31483/a-10685.
3. Выломов Д.Д., Зенкова Ю.Г. Комплексный подход к оценке неопределенностей при проектировании разработки перспективных газовых объектов с применением многовариантных расчетов // Экспозиция Нефть Газ. 2024. № 7(108). С. 103-107. DOI: 10.24412/2076-6785-2021-7-103-107. EDN: MVNEWA.
4. Абашева О.Ю., Алексеева Н.А., Алпатова Э.С. и др. Генезис цифровой экономики: информационная безопасность, правовое регулирование, социальные и экономические последствия: монография. Самара: НИЦ «ПНК», 2024. 174 с.
5. Кириллов С.А., Алисолтанов А.М. Концепция технологии цифровой информационной экспертной оценки комплексных моделей нефтегазопромысловых объектов // Вестник РАЕН. 2024. Т. 24, № 3. С. 34-41. DOI: 10.52531/1682-1696-2024-24-3-34-41. EDN: CHQDRJ.
6. Черненко К.И., Харченко В.М., Неркаряна А.Е., Еремина Н.В. Обоснование зон с повышенной продуктивностью нефтяных залежей в карбонатных коллекторах (на примере зимне-Ставкинско-Правобережного месторождения) // Наука. Инновации. Технологии. 2023. № 2. С. 7-26. DOI: 10.37493/2308-4758.2023.2.1. EDN: GWRLMJ.
7. Рошин П.В., Савельев А.А., Парамзин А.Р. и др. Аналитический обзор цифровых инициатив производственных направлений международных вертикально-интегрированных нефтегазовых компаний. Геология и разработка // Экспозиция. Нефть Газ. 2025. № 6. С. 31–37. URL: <https://www.runeft.ru/upload/iblock/9c5/svbj5az7vytfu0k68alwl7r9uw01bf8e.pdf?ysclid=mjvehjmrdr8332002201> (дата обращения 30.12.2025).
8. Кожин В.Н., Никитин А.В., Киреев И.И. и др. Сравнительный анализ технологических показателей проектов по разработке месторождений с низкопроницаемыми коллекторами // Нефтепромысловое дело. 2022. № 11(647). С. 21-25. DOI: 10.33285/0207-2351-2022-11(647)-21-25. EDN: UBTQZL.
9. Указ Президента Российской Федерации от 07.05.2024 г. № 309 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года». URL: <http://www.kremlin.ru/events/president/news/73986> (дата обращения 30.12.2025).
10. Филимонова И.В., Ивершин А.В. Оптимизация режима разработки месторождения по критерию максимизации экономической эффективности // Проблемы экономики и управления нефтегазовым комплексом. 2021. № 12(204). С. 5-15. DOI: 10.33285/1999-6942-2021-12(204)-5-15. EDN: VYDOEP.