

Научная статья
УДК 622.276
<https://doi.org/10.24143/1812-9498-2025-2-23-28>
EDN YOJTEQ

Внедрение системы геолого-промыслового анализа с использованием инструментов интегрированного моделирования

**Елена Валерьевна Егорова[✉], Екатерина Николаевна Приходько,
Арсен Аскарлович Срымов, Азамат Талапгалиевич Шаушиев**

*Астраханский государственный технический университет,
Астрахань, Россия, egorova_ev@list.ru[✉]*

Аннотация. Рассматриваются вопросы геологического контроля за динамикой пластовых условий в процессе разработки месторождений углеводородов, ключевые методы глубинных исследований, включая промыслово-геофизические, газогидродинамические и термометрические исследования, а также исследование физико-химических свойств пластовых флюидов. Особое внимание уделено методам интегрированного моделирования, которые позволяют эффективно анализировать геологическую структуру и свойства месторождений, создавать трехмерные модели, прогнозировать динамику залежей, а также оптимизировать параметры добычи и оценивать экономическую эффективность. Подчеркивается важность применения современных технологий для точного прогноза и оценки рисков в геолого-промысловом анализе, а также для повышения эффективности управления разработкой. Рассматриваются преимущества использования численного моделирования, искусственного интеллекта и машинного обучения при интерпретации данных, полученных в ходе исследований. Эти методы способствуют более глубокому пониманию процессов, происходящих в недрах, и позволяют формировать обоснованные рекомендации по регулированию системы разработки. Отмечается значимость комплексного подхода к анализу, сочетающего геофизические, химические, физические и экономические данные, что обеспечивает высокую точность построения моделей. Подчеркивается, что современный геолого-промысловый анализ представляет собой мощный инструмент, направленный на достижение максимального извлечения углеводородов при соблюдении требований экологической и технологической безопасности.

Ключевые слова: геолого-промысловый анализ, интегрированное моделирование, контроль за системой разработки, динамическая модель залежи, потери по переходящему фонду

Для цитирования: Егорова Е. В., Приходько Е. Н., Срымов А. А., Шаушиев А. Т. Внедрение системы геолого-промыслового анализа с использованием инструментов интегрированного моделирования // Нефтегазовые технологии и экологическая безопасность. 2025. № 2. С. 23–28. <https://doi.org/10.24143/1812-9498-2025-2-23-28>. EDN YOJTEQ.

Original article

Implementation of a geological and field analysis system using integrated modeling tools

**Elena V. Egorova[✉], Ekaterina N. Prikhodko,
Arsen A. Srymov, Azamat T. Shaushiev**

*Astrakhan State Technical University,
Astrakhan, Russia, egorova_ev@list.ru[✉]*

Abstract. The issues of geological control over the dynamics of reservoir conditions during the development of hydrocarbon deposits, key methods of in-depth research, including field-geophysical, gas-hydrodynamic and thermometric studies, as well as the study of the physico-chemical properties of reservoir fluids, are considered. Special attention is paid to integrated modeling methods that make it possible to effectively analyze the geological structure and properties of deposits, create three-dimensional models, predict the dynamics of deposits, as well as optimize production parameters and evaluate economic efficiency. The importance of using modern technologies for accurate forecasting and risk assessment in geological and field analysis, as well as for improving the efficiency of development management,

is emphasized. The advantages of using numerical modeling, artificial intelligence, and machine learning in interpreting research data are considered. These methods contribute to a deeper understanding of the processes taking place in the subsurface, and allow us to form sound recommendations for regulating the mining system. The importance of an integrated approach to analysis combining geophysical, chemical, physical and economic data is noted, which ensures high accuracy of model construction. It is emphasized that modern geological and field analysis is a powerful tool aimed at achieving maximum extraction of hydrocarbons while complying with environmental and technological safety requirements.

Ключевые слова: geological and field analysis, integrated modeling, control over the development system, dynamic reservoir model, losses on the transfer fund

For citation: Egorova E. V., Prikhodko E. N., Srymov A. A., Shaushiev A. T. Implementation of a geological and field analysis system using integrated modeling tools. *Oil and gas technologies and environmental safety*. 2025;2:23-28. (In Russ.). <https://doi.org/10.24143/1812-9498-2025-2-23-28>. EDN YOJTEQ.

Введение

Условия извлечения нефти и газа (газоконденсата) из недр определяются геолого-промысловой характеристикой эксплуатационных объектов, системой и режимом разработки. От того, насколько система и режим разработки соответствуют геолого-промысловой характеристике эксплуатационного объекта, зависит эффективность процесса извлечения запасов нефти, газа, газоконденсата. Следовательно, главная практическая задача геолого-промысловых исследований при разработке – обоснование изменений в системе разработки, распределение отборов нефти, газа (жидкости), закачки воды (газа) из различных участков залежи в зависимости от их геолого-промысловой характеристики [1]. Целью этого является обеспечение достаточно высоких текущих показателей разработки и максимально возможного извлечения нефти, газа, газоконденсата из недр.

Геолого-промысловые исследования включают геолого-промысловые контроль за разработкой и анализ полученных данных [2].

Под системой геолого-промыслового анализа в рамках данной статьи понимается совокупность мероприятий и технологий, направленных на интеграцию геолого-промыслового контроля, математического моделирования, методов искусственного интеллекта и машинного обучения, а также автоматизация и анализ экономических параметров. Эта система служит для обеспечения всестороннего понимания состояния месторождения и обоснованного принятия решений по его дальнейшей разработке. Таким образом, геолого-промысловый контроль является важнейшей, но не единственной, составляющей системы анализа, охватывающей так же интерпретацию данных, прогнозирование, оптимизацию и оценку эффективности.

Геолого-промысловый контроль: сущность и назначение

Геолого-промысловый контроль представляет собой одну из ключевых составных частей системы геолого-промыслового анализа, обеспечивая первичное получение данных, на основе которых формируются дальнейшие этапы интерпретации, моде-

лирования и оптимизации разработки.

Геолого-промысловый контроль – это получение и первичная обработка информации о характере и динамике изменения в процессе промышленной разработки условий извлечения нефти, газа, газоконденсата в пласте по отдельным скважинам в процессе эксплуатации с целью детального изучения разрабатываемых залежей для уточнения их геологического строения и по всестороннему исследованию процессов извлечения нефти и газа из продуктивных пластов.

Результаты геолого-промыслового контроля являются основой геолого-промыслового анализа разработки [3]. Мероприятия по геолого-промысловому контролю при разработке включают: получение новых данных о геологическом строении эксплуатационных объектов; геологический контроль за режимом работы скважин и изменением пластовых условий выработки нефти, газа, газоконденсата.

В процессе промышленного разбуривания и эксплуатации залежей накапливаются новые данные, уточняющие и дополняющие прежние представления о геологическом строении эксплуатационных объектов. Поэтому необходимо проводить регулярный учет этих данных для детализации геологического строения эксплуатационных объектов в течение всего срока разработки.

Построение модели залежи

Основной целью контроля за разработкой является создание близкой к действительности модели залежи и процесса ее разработки, позволяющей осуществить ее рациональную систему [4].

Под моделью залежи понимается систематизированная информация, описывающая:

1) геометрию резервуара залежи, т. е. пространственное распределение фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС), закономерности их изменения, взаимосвязи, анизотропию, погрешности прогнозирования и т. д. [5];

2) распределение в пространстве различных флюидальных фаз (нефти, газа и воды), их физико-химических свойств (плотности, вязкости, газонасыщенности, давления насыщения, коэффициента

светопоглощения и др.), содержания микроэлементов (Co, Ni и др.);

3) распределение давления в пласте, направления и скорости перемещения нефти и других флюидов на разных участках залежи, дебитов скважин и пластов по нефти, газу и воде в любой момент времени;

4) положение поверхностей водо-, газонефтяного и газовойдяного контактов (ВНК, ГНК и ГВК), контуров нефтеносности, фронта закачиваемой воды и динамической переходной зоны в реальном масштабе времени;

5) закономерности и количественные зависимости между наблюдаемыми явлениями и фактами, позволяющие:

- устанавливать причинные связи;
- восстанавливать более полную (связную) картину процесса разработки при отсутствии некоторых сведений;
- с той или иной степенью достоверности прогнозировать поведение залежи;

– более обосновано планировать мероприятия, направленные на реализацию рациональной системы разработки.

Модель залежи представляется в виде карт, профилей, таблиц, графических зависимостей, формул (уравнений), текстового описания.

Методы глубинных исследований

Основной информацией для геологического контроля за динамикой пластовых условий являются данные глубинных исследований скважин и пластов. К наиболее широко осуществляемым видам глубинных исследований в процессе разработки относятся промыслово-геофизические и газогидродинамические исследования скважин и пластов, исследования физико-химических свойств пластовых флюидов и физических свойств пласта по данным отбора пластовых проб флюидов и породы [6]. Основные методы и их характеристики приведены в таблице.

Основные методы глубинных исследований и их характеристики

The main methods of in-depth research and their characteristics

Метод	Назначение	Получаемые параметры
Промыслово-геофизические	Определение границ залежей, текущей насыщенности	ВНК, ГНК, ГВК, обводненность, нефтегазонасыщенность, толщина пласта
Газогидродинамические	Оценка фильтрационно-емкостных свойств пласта	Пьезопроводность, гидропроводность, радиус дренирования
Термометрические	Обнаружение зон перетока, отклонений температурного режима	Температурные аномалии, термограммы
Отбор глубинных проб	Изучение свойств флюидов	Газонасыщенность, плотность, вязкость, минерализация

Промыслово-геофизические методы применяют для определения текущего положения ВНК, ГВК, ГНК, обводненного интервала, текущей нефтегазонасыщенности и работающей мощности пласта.

Газогидродинамические и термометрические исследования – снятие индикаторных кривых, кривых восстановления пластового, забойного давления, термограмм – дают информацию об изменении коэффициента продуктивности, пьезопроводности, гидропроводности, радиуса дренирования скважины [7].

Исследование на гидродинамическое взаимодействие скважин (гидропрослушивание) позволяет уточнить особенности геологического строения пласта: наличие литологических, тектонических и других экранов, зон слияния коллекторов различных пластов, тектонических разрывов – путей перетока жидкости, газа из пласта в пласт.

Отбор глубинных проб пластовых флюидов специальными (герметичными) пробоотборниками дает информацию об изменении физико-химических свойств пластовых флюидов (газонасыщенности, со-

держании конденсата, плотности, вязкости, минерализации и т. п.).

Интегрированное моделирование

Интегрированное моделирование является мощным инструментом для геолого-промыслового анализа, позволяющим объединить различные типы данных и информацию, полученную из различных источников, для создания более точного и детализированного представления о геологической структуре и свойстве месторождения [8].

В геолого-промысловом анализе интегрированное моделирование может быть использовано для:

- 1) создания трехмерных моделей геологической структуры и свойств месторождения, основываясь на данных, полученных из различных источников, таких как геофизические данные, экспериментальные результаты, исторические данные и т. д.;
- 2) анализа неустановленных параметров месторождения, таких как пористость, проницаемость, концентрация полезных ископаемых и т. д.;

3) моделирования динамики залежи (например, изменение свойств залежи под воздействием давления и температуры);

4) определения оптимизированных параметров добычи полезных ископаемых, таких как направление бурения, глубина и шаг бурения [9];

5) анализа рисков добычи и оценки потенциала месторождения;

6) создания прогнозных моделей добычи и оценки экономической эффективности добычи.

Инструменты интегрированного моделирования, используемые в геолого-промысловом анализе, могут включать системы:

1) моделирования геологической структуры, такие как RFD tNavigator, Petrel, Schlumberger's Eclipse, GOCAD и т. д.;

2) моделирования свойств месторождения, такие как STARS, CMG, TOUGH и т. д.;

3) моделирования добычи и оценки экономической эффективности, такие как ProMax, CMG, Schlumberger's ECLIPSE и т. д.;

4) интеграции данных, такие как Petrel, Schlumberger's Data Integration Platform, GOCAD и т. д. [10].

В результате геолого-промыслового анализа получается целостная и детальная информация о геологической структуре и свойствах залежи, что позволяет принимать осознанные решения в области разработки и добычи полезных ископаемых.

Для более точного и комплексного геолого-промыслового анализа также важным аспектом является использование методов, основанных на применении математических моделей и алгоритмов машинного обучения. Современные технологии обработки данных позволяют значительно улучшить точность прогнозирования, уменьшив ошибки при определении характеристик месторождения и повышая надежность прогнозных моделей.

Современные технологии и математические методы

Одним из актуальных направлений является использование методов искусственного интеллекта (ИИ) и машинного обучения (МЛ) для анализа больших объемов данных, полученных в ходе глубинных исследований. Эти методы позволяют выявлять скрытые зависимости между различными параметрами пластов и флюидов, что значительно повышает эффективность прогнозирования изменений в геологических характеристиках и динамике пласта. Применение нейронных сетей, например, позволяет автоматизировать процесс интерпретации данных и предсказания поведения скважин в различных условиях эксплуатации.

Особое внимание стоит уделить моделированию геологических процессов на микро- и макроуровне. С помощью современных подходов можно анализировать пористость и проницаемость на уровне мик-

роструктуры породы, что, в свою очередь, дает возможность более точно оценить эффективность процесса добычи, а также оптимизировать технологические параметры. В этом контексте актуальны методы численного моделирования, такие как метод конечных элементов (МКЭ), который позволяет учитывать различные физико-химические взаимодействия на самых разных уровнях.

Не менее важным аспектом является интеграция данных, получаемых не только с помощью традиционных методов исследования, но и с использованием дистанционного зондирования и спутниковых данных. Современные спутниковые технологии позволяют получать информацию о состоянии поверхности и экологических изменениях в реальном времени, что способствует улучшению контроля за безопасностью добычи и минимизации воздействия на окружающую среду.

Важным элементом анализа является также учет экономических факторов при моделировании разработки месторождения. Моделирование должно учитывать стоимость буровых работ, возможные инвестиции в разработку новых технологий и оборудования, а также риски, связанные с изменениями в рыночной стоимости нефти и газа. Это позволит не только улучшить технико-экономическое обоснование проектных решений, но и значительно повысить рентабельность разработки месторождений.

Таким образом, современный геолого-промысловый анализ включает в себя комплексный подход, объединяющий геофизические, химические, физические и экономические данные, что позволяет получить наиболее полное и точное представление о состоянии месторождения. Развитие технологий интегрированного моделирования и применения инновационных методов анализа, таких как ИИ и МЛ, открывает новые возможности для более эффективно и безопасно освоения природных ресурсов.

Интеграция данных и автоматизация

Важной составляющей системы геолого-промыслового анализа является интеграция данных различных типов и источников. Современные системы управления данными позволяют эффективно комбинировать геофизическую информацию, результаты буровых работ, данные гидродинамических исследований, а также результаты лабораторных анализов образцов флюидов и пород. Это дает возможность создать более полное представление о состоянии пласта, учитывать все изменения, происходящие в процессе эксплуатации месторождения, и принимать более обоснованные решения относительно методов разработки.

Особую роль в этом процессе играет использование новых технологий в области сенсорных систем и автоматизации. Развитие датчиков и систем мониторинга позволяет в реальном времени отсле-

живать динамику изменений в пластах, что является ключевым для своевременного реагирования на любые отклонения от прогнозируемых параметров. Применение беспилотных технологий и автоматических систем для проведения геофизических исследований также открывает новые горизонты для повышения точности и безопасности разведки.

Важной тенденцией в геолого-промысловом анализе является переход от отдельных исследовательских методов к комплексному подходу, который включает мультидисциплинарные исследования и тесное сотрудничество специалистов разных областей. Геологи, инженеры, специалисты по автоматизации и анализу данных объединяются для решения общих задач, что позволяет максимально эффективно использовать возможности каждого из методов и технологий.

Заключение

Система геолого-промыслового анализа представляет собой комплексный инструмент, объединяющий методы геолого-промыслового контроля, интегрированного моделирования, обработки больших данных, автоматизации и оценки экономической эффективности. Такой подход позволяет обеспечить всестороннее понимание состояния место-

рождения и повысить обоснованность принимаемых технических и управленческих решений.

Применение современных технологий, включая численное моделирование, методы ИИ и МЛ, способствует более точному прогнозированию динамики разработки и позволяет адаптировать проектные решения под изменяющиеся геолого-промысловые условия. Кроме этого, важную роль играет интеграция разнородных данных, получаемых на различных этапах разработки – от бурения и геофизических исследований до мониторинга добычи в реальном времени.

Развитие сенсорных технологий, автоматических систем сбора и обработки данных, а также применение беспилотных и дистанционных методов контроля, открывает новые возможности для повышения эффективности и экологической безопасности разработки месторождений.

Таким образом, внедрение системы геолого-промыслового анализа способствует переходу к более устойчивой, научно обоснованной и экономически эффективной разработке углеводородных ресурсов, что особенно важно в условиях возрастающих требований к технологической надежности и экологической ответственности.

Список источников

1. Алексеев Р. А. Оптимизация процессов разработки месторождений углеводородов. Казань: КНИТУ, 2010. 265 с.
2. Новиков, А. М. Характеристика нефтегазовых пластов: Геолого-промысловый анализ. СПб.: Недра, 2012. 330 с.
3. Иванов А. П. Геолого-промысловый анализ разработки месторождений нефти и газа. М.: Недра, 2008. 320 с.
4. Кузнецов Д. А. Технологии контроля разработки нефтегазовых месторождений. Екатеринбург: УГГУ, 2012. 275 с.
5. Петров И. Н. Моделирование залежей нефти и га-

- за. М.: Недра, 2009. 350 с.
6. Лебедев П. К. Физико-химические исследования пластовых флюидов. М.: Недра, 2007. 278 с.
7. Смирнов В. И. Геолого-технические мероприятия в разработке нефтяных месторождений. СПб.: Питер, 2010. 290 с.
8. Сидоров В. С. Интегрированное моделирование в геолого-промысловом анализе. М.: Наука, 2011. 310 с.
9. Федоров Н. В. Методы управления добычей нефти и газа. Уфа: Гилем, 2014. 310 с.
10. Михайлов Ю. П. Инструменты и методы интегрированного моделирования. М.: Техносфера, 2013. 295 с.

References

1. Alekseev R. A. *Optimizacija processov razrabotki mestorozhdenij uglevodorodov* [Optimization of hydrocarbon field development processes]. Kazan', KNITU, 2010. 265 p.
2. Novikov, A. M. *Harakteristika neftegazovyh plastov: Geologo-promyslovyj analiz* [Characteristics of oil and gas reservoirs: Geological and field analysis]. Saint Petersburg, Nedra Publ., 2012. 330 p.
3. Ivanov A. P. *Geologo-promyslovyj analiz razrabotki mestorozhdenij nefiti i gaza* [Geological and commercial analysis of oil and gas field development]. Moscow, Nedra Publ., 2008. 320 p.
4. Kuznecov D. A. *Tehnologii kontrolja razrabotki neftegazovyh mestorozhdenij* [Oil and gas field development control technologies]. Ekaterinburg, UGGU, 2012. 275 p.
5. Petrov I. N. *Modelirovanie zalezhej nefiti i gaza* [Modeling of oil and gas deposits]. Moscow, Nedra Publ., 2009. 350 p.
6. Lebedev P. K. *Fiziko-himicheskie issledovanija plastovyh fljuidov* [Physico-chemical studies of reservoir fluids]. Moscow, Nedra Publ., 2007. 278 p.
7. Smirnov V. I. *Geologo-tehnicheskie meroprijatija v razrabotke nefjnyh mestorozhdenij* [Geological and technical measures in the development of oil fields]. Saint Petersburg, Piter Publ., 2010. 290 p.
8. Sidorov V. S. *Integrirovannoe modelirovanie v geologo-promyslovom analize* [Integrated modeling in geological and commercial analysis]. Moscow, Nauka Publ., 2011. 310 p.
9. Fjodorov N. V. *Metody upravlenija dobychej nefiti i gaza* [Methods of oil and gas production management]. Ufa, Gilem Publ., 2014. 310 p.
10. Mihajlov Ju. P. *Instrumenty i metody integrirovannogo modelirovanija* [Tools and methods of integrated modeling]. Moscow, Tehnosfera Publ., 2013. 295 p.

Статья поступила в редакцию 25.03.2025; одобрена после рецензирования 28.05.2025; принята к публикации 16.06.2025
The article was submitted 25.03.2025; approved after reviewing 28.05.2025; accepted for publication 16.06.2025

Информация об авторах / Information about the authors

Елена Валерьевна Егорова – кандидат технических наук, доцент; заведующий кафедрой разработки и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений; Астраханский государственный технический университет; egorova_ev@list.ru

Екатерина Николаевна Приходько – студент кафедры разработки и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений; Астраханский государственный технический университет; katya.p02@mail.ru

Арсен Аскарлович Срымов – студент кафедры разработки и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений; Астраханский государственный технический университет; srymov2001@mail.ru

Азамат Талангалиевич Шаушиев – студент кафедры разработки и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений; Астраханский государственный технический университет; shaushiev1@mail.ru

Elena V. Egorova – Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor; Head of the Department of Development and Operation of Oil and Gas Fields; Astrakhan State Technical University; egorova_ev@list.ru

Ekaterina N. Prikhodko – Student of the Department of Development and Operation of Oil and Gas Fields; Astrakhan State Technical University; katya.p02@mail.ru

Arsen A. Srymov – Student of the Department of Development and Operation of Oil and Gas Fields; Astrakhan State Technical University; srymov2001@mail.ru

Azamat T. Shaushiev – Student of the Department of Development and Operation of Oil and Gas Fields; Astrakhan State Technical University; shaushiev1@mail.ru

