

ГАЗОВАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

№ 10

888 | 2025

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ, ИЗДАЕТСЯ С 1956 г.,
ВХОДИТ В ПЕРЕЧЕНЬ РЕЦЕНЗИРУЕМЫХ НАУЧНЫХ ИЗДАНИЙ ВАК



12 УКРЕПЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО СУВЕРЕНИТЕТА ГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ ОБСУДИЛИ НА ЕЖЕГОДНОМ СОВЕЩАНИИ ПО ВОПРОСАМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ ПАО «ГАЗПРОМ»

52 ИННОВАЦИОННЫЙ ВЕКТОР РАЗВИТИЯ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ НЕЙТРОМЕТРИИ СКВАЖИН. ОТ ТЕХНОЛОГИИ – К НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМЕ

90 РАСЧЕТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ГАЗОДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ, РАБОТАЮЩЕГО НА АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ТОПЛИВАХ

ИННОВАЦИОННЫЙ ВЕКТОР РАЗВИТИЯ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ НЕЙТРОНОМЕТРИИ СКВАЖИН. ОТ ТЕХНОЛОГИИ – К НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМЕ

УДК 550.832.53::622.32

С.Н. Меньшиков, к.э.н., ПАО «Газпром» (Санкт-Петербург, Россия),
S.Menshikov@adm.gazprom.ru

П.П. Слугин, ПАО «Газпром», P.Slugin@adm.gazprom.ru

С.А. Кирсанов, к.т.н., ПАО «Газпром», S.Kirsanov@adm.gazprom.ru

С.А. Егурцов, ООО «ИНТ «ГеоСпектр» (Москва, Россия),
S_Egurtsov@int-geos.ru

Ю.В. Иванов, к.т.н., ООО «ИНТ «ГеоСпектр», Y_Ivanov@int-geos.ru

Многие крупные месторождения нефти и газа в Западной Сибири находятся в промышленной разработке уже десятки лет. Для поддержания добычи в традиционных регионах присутствия проводится доразведка, вовлекаются объекты и запасы из других горизонтов – надсеноманского (турон, сенон), неокомского, ачимовского и юрского нефтегазоносных комплексов. Другое важное направление работ – освоение новых месторождений, которые, как правило, характеризуются значительно более сложными, иногда уникальными горно-геологическими условиями. Например, в Восточной Сибири к таким особенностям, осложняющим разработку, можно отнести: а) галитизацию, карбонатизацию, ангидритизацию продуктивных отложений венда; б) ультравысокую минерализацию пластовых вод; в) сильную изменчивость коллекторских свойств многих объектов по глубине и простираию (в том числе в соседних скважинах, вдоль их горизонтальных стволов и т.п.); г) рапоносность разрезов с риском опасных рапопроявлений и др.

Практика освоения подобных объектов в этих условиях показывает, что стандартные методы геофизических исследований скважин часто недостаточны или неприменимы, т.е. требуют доработки и развития. К этому следует добавить ограничения доступа к зарубежным технологиям в связи с санкционным давлением на Россию. В совокупности указанные вызовы формируют новые задачи и стимулируют поиск возможностей для их решения с использованием инновационных подходов. В связи с этим для нефтегазовой отрасли приоритетными становятся разработка и применение отечественных технологий получения и анализа геолого-геофизических данных, базирующихся на собственных алгоритмах и программах, методиках интерпретации и аппаратно-методических комплексах, гарантирующих обеспечение технологического суверенитета страны.

В статье представлены основные результаты работы Департамента ПАО «Газпром» (С.Н. Меньшиков) при решении актуальных задач контроля за разработкой месторождений методами промысловой геофизики с применением научно-технологической платформы «Мультиметодный многозондовый нейтронный каротаж» в 2020–2025 гг.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: МЕСТОРОЖДЕНИЕ УГЛЕВОДОРОДОВ, ЯДЕРНО-ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ, НЕЙТРОНОМЕТРИЯ СКВАЖИН, МУЛЬТИМЕТОДНЫЙ МНОГОЗОНДОВЫЙ НЕЙТРОННЫЙ КАРОТАЖ, НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПЛАТФОРМА.

Надым–Пур–Тазовский регион (НПТР) – традиционный регион добычи углеводородов для Группы «Газпром», играющий ключевую роль в развитии российского нефтегазового комплекса. Здесь расположено около сотни месторождений, в том числе Медвежье, Уренгойское и Ямбургское, создана вся необходимая

инфраструктура для добычи газа. Именно в этой части Ямало–Ненецкого авт. окр. извлекается 67 % всего текущего объема природного газа в России. Стоит отметить, что выработанность крупнейших месторождений региона превышает 75 %. Однако еще многие годы НПТР останется перспективным



благодаря имеющимся запасам газа (до 18 трлн м³, согласно [1]).

ПАО «Газпром» комплексно работает над задачей максимально эффективного и рационального освоения запасов НПТР. Именно поэтому Правление Общества утвердило «Технологическую программу вовлечения остаточных извлекаемых запасов Надым–Пур–Тазовского региона на 2025–2029 годы» [2]. Продолжается реализация государственной «Программы создания в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке единой системы добычи, транспортировки газа и газоснабжения с учетом возможного экспорта газа на рынки Китая и других стран АТР» (Восточной газовой программы), координацию деятельности по реализации которой Правительство Российской Федерации поручило ПАО «Газпром». Запасы газа промышленных категорий на лицензионных участках Общества в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке превышают 5 трлн м³ [3]. Расширяются стратегическое сотрудничество и направления взаимодействия между ПАО «Газпром» и Китайской национальной нефтегазовой корпорацией.

Успешное решение таких масштабных задач требует не только мобилизации имеющегося технологического потенциала газовой отрасли страны, но и его ускоренного развития. Существенное усложнение горно-геологических и геолого-технических условий (ГТУ) проведения геофизических исследований скважин (ГИС) как в традиционных регионах присутствия (в частности, в Западной Сибири), так и на востоке России объективно повышает требования к используемым технологиям.

Определенный дефицит возможностей существующих методов ГИС-контроля за разработкой нефтегазоконденсатных месторождений при решении геолого-промысловых задач в новых ГТУ влечет снижение геологической информативности получаемых результатов. Недостаточность, а порой и неприменимость имеющихся ГИС-технологий для решения актуальных геолого-промысловых задач сделали необходимым их совершенствование или полную переработку в целях обеспечения требуемого соответствия условиям и достоверности определения текущего насыщения пластов-коллекторов для оперативного уточнения объемов извлекаемых запасов углеводородного сырья (УВС) и планирования геолого-технических мероприятий.

Основное направление технической политики в этих условиях – нацеленность на рентабельное извлечение текущих запасов НПТР и освоение запасов УВС востока России с поиском, созданием и массовым внедрением новых отечественных ГИС-технологий, учитывающих специфику месторождений, снижающих себестоимость геолого-геофизических методов по сравнению с зарубежными разработками и позволяющих обеспечить технологическую независимость отрасли.

РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ ОБЗОР ЭТАПОВ ФОРМИРОВАНИЯ И РАЗВИТИЯ НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

Начало работ по созданию отечественных инновационных объектно и проблемно ориентированных, в том числе импортозамещающих ГИС-технологий на новом научно-техническом уровне, нацеленных на решение актуальных задач недропользования, в первую очередь на количественное определение текущего насыщения пластов-коллекторов, было положено резолюцией Председателя Правления ОАО «Газпром» А.Б. Миллера от 20.11.2014 № 01–3582.

Поскольку для исследования текущей газонефте-насыщенности коллекторов в обсаженных скважинах наиболее информативна нейтронметрия, лучшим ответом на указанные вызовы стало объединение всех интегральных методов и модификаций стационарного и импульсного нейтронного каротажа (НК), дополненных рядом методов ГИС, в технологически и методически взаимосвязанную систему. В процессе выполнения работ было достигнуто понимание необходимости и целесообразности развития и применения нейтронных технологий исследования газовых скважин на основе платформенных подходов. Впервые предложена и обоснована концепция научно-технологической платформы (НТП) «Мультиметодный многозондовый нейтронный каротаж» (ММНК).

В своем развитии платформа последовательно прошла несколько этапов, которые условно можно представить схемой: от однозондовых методов к мультиметодным многозондовым технологиям и далее – к НТП ММНК. Результатами начального этапа работ (2014–2018 гг.) стали созданные в 2016 г. «Методические рекомендации по применению комплекса многозондового нейтронного каротажа для оценки характера насыщения и коэффициента газонасыщенности коллекторов в обсаженных газовых скважинах» [4], которые были одобрены Экспертно-техническим советом Государственной комиссии по запасам полезных ископаемых, рекомендовавшим их для использования в производственных и научных организациях.

Достиженные ПАО «Газпром» результаты в области геолого-геофизических исследований нефтегазовых скважин с применением технологии мониторинга насыщенности пласта комплексом многозондового НК были доложены и нашли положительный отклик в 2017 г. на очередном всероссийском совещании [5], ежегодно проводимом ФГБУ «ВНИГНИ» и собирающим представителей академической и отраслевой науки, ведущих нефтегазовых компаний и сервисных предприятий, специалистов учреждений, подведомственных Федеральному агентству по недропользованию. Позитивный опыт ПАО «Газпром» был отмечен в резолюции совещания и рекомендован к применению. Как его обобщение и развитие в 2018 г.

опубликовано методическое издание [6], получившее высокую оценку академика РАН А.Э. Которовича [7]. Обе работы отражали возможности широкооконых спектрометрических и интегральных методов многозондового НК (преимущественно ЗНГК-С) для исследования обсаженных газовых скважин, которые существовали в предшествующее десятилетие.

Возникновение новых задач, связанных с необходимостью вовлечения в разработку остаточных извлекаемых запасов НПТР, а также сложные ГТУ новых объектов и месторождений УВС в Западной и Восточной Сибири, накопление и обработка информации стимулировали развитие теории и создание инновационных методических подходов и технологий геолого-геофизического обеспечения их освоения. В этот период концептуально обоснована необходимость и возможность перехода на более высокий уровень развития и применения ядерно-физических методов в ГИС, а именно от комплекса многозондового НК – к технологии ММНК [8]. Итогом стало завершение создания соответствующей технологии, ставшей базовой для НТП ММНК. Взамен устаревших методических рекомендаций 2016 и 2018 гг. [4, 6], действие которых было прекращено, разработаны «Методические рекомендации по применению технологии и методики мультиметодного многозондового нейтронного каротажа (ММНК) для определения коэффициента газонасыщенности пластов-коллекторов в обсаженных скважинах НГКМ и ПХГ» [9]. В них отражены новые подходы, позволившие преодолеть ограничения традиционных методов и найти решения актуальных задач, выдвинутых практикой освоения нефтегазо-конденсатных месторождений.

В 2020–2021 гг. была выдвинута концепция и обоснована целесообразность развития нейтронных технологий исследования скважин на базе платформенных подходов. Разработка специализированной проблемно и объектно ориентированной платформы, какой является НТП ММНК, проводится в России впервые (в качестве базовой технологии платформы принята ММНК) [8, 10, 11]. Применение такого подхода полностью соответствует целям, задачам и приоритетам научно-технологического развития Российской Федерации, определенным Указом Президента Российской Федерации от 28.02.2024 №145 [12].

НОВЫЕ ФОРМЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПРОМЫШЛЕННОСТИ И НАУКИ ПРИ РЕШЕНИИ АКТУАЛЬНЫХ ЗАДАЧ КОНТРОЛЯ ЗА РАЗРАБОТКОЙ МЕСТОРОЖДЕНИЙ МЕТОДАМИ ПРОМЫСЛОВОЙ ГЕОФИЗИКИ

В Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2050 г. [13] отмечается, что освоение уникального ресурсного потенциала страны сопряжено с рядом вызовов и структурных проблем:

- постепенное истощение наиболее качественных запасов в традиционных, хорошо изученных регионах добычи с развитой инфраструктурой, увеличение доли сложных запасов УВС в общей структуре, смещение геологоразведки и разработки на более сложные с точки зрения геологических и физико-географических условий территории;
- острая необходимость опережающего создания и оперативного внедрения передовых российских технологий геологоразведки, добычи;
- санкционные ограничения на поставки оборудования, доступ к технологиям и услугам.

Все перечисленное обуславливает необходимость ускорения в достижении технологического суверенитета в данной сфере. Это особенно актуально, учитывая, что одной из семи национальных целей определено технологическое лидерство [14]. Как следствие, среди ключевых задач формирования экосистемы для обеспечения технологического суверенитета и достижения технологического лидерства в ТЭК, согласно [13], – создание собственных разработок на основе передовых технологий и инноваций. В «Перечень технологий, оборудования, материалов и специализированного программного обеспечения, востребованного организациями топливно-энергетического комплекса Российской Федерации, создание или локализация производства которых необходимы на территории Российской Федерации до 2050 года» [13, прил. 7] для нефтегазовой отрасли включены оборудование и технологии для ГИС, в том числе для метрологического обеспечения работ.

ПАО «Газпром» принимает участие в разработке передовых технологий, реализуя программы поддержки технологических компаний совместно с государством и институтами развития. Примером такого партнерства может служить инициатива «Новое оборудование и технологии в нефтегазовой отрасли» в рамках национального проекта «Новые атомные и энергетические технологии» [15].

Интересен также опыт, накопленный ПАО «Газпром» при решении актуальных задач контроля за разработкой месторождений УВС методами промысловой геофизики на базе НТП ММНК с привлечением малых технологических компаний. Соответствующие мероприятия организованы в формате разработки и реализации трехлетних «Программ оценки текущего насыщения пластов-коллекторов с целью оперативного уточнения объемов извлекаемых (дренируемых и связанных) запасов углеводородного сырья и планирования геолого-технических мероприятий на базе научно-технологической платформы ММНК». Программы ММНК нацелены на решение как традиционных производственных задач ГИС-контроля за разработкой месторождения, но только на качественно новом технологическом уровне, так и актуальных и перспективных научно-методических задач. За период 2020–2025 гг.



Департаментом ПАО «Газпром» (С.Н. Меньшиков) была организована реализация двух программ ММНК. Это пример практического исполнения положений Указа Президента Российской Федерации от 28.02.2024 №145 [12], в том числе при развитии *«принципов партнерства государства, промышленности, науки и высшего образования, объединения государственных и частных ресурсов для проведения научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ, четкого распределения функций, полномочий и ответственности, а также ускоренного внедрения в экономику российских наукоемких технологий и продукции».*

Суть такой успешно реализованной и положительно зарекомендовавшей себя формы партнерства заключается в следующем. ПАО «Газпром» по предложениям дочерних обществ – недропользователей («промышленность») организует подготовку, согласование и утверждение программ ММНК. Цели и задачи последних определяются с учетом экспертного рассмотрения и обсуждения на заседаниях Комиссии газовой промышленности по разработке месторождений и использованию недр. Организация и исполнение комплекса полевых работ на скважинах проводятся ООО «Газпром недра». Для регистрации данных измерений современными отечественными малогабаритными аппаратурно-методическими комплексами ряда ММНК в скважинах, обработки и интерпретации материалов полевых ГИС с применением отечественного программного обеспечения, подготовки заключений по традиционным производственным задачам ГИС-контроля и отчетов о результатах научно-методических и технологических исследований, выполнения комплекса мероприятий методического характера привлекается малая технологическая компания ООО «ИНТ «ГеоСпектр» («наука»). Недропользователи в установленном порядке предоставляют скважины для проведения ГИС. Общее количество скважин, вовлекаемых в исследования по программам ММНК, определяется поставленными на текущий период задачами и, как правило, не превышает 5–10 % от всего объема ГИС при контроле за разработкой месторождений.

ООО «ИНТ «ГеоСпектр» (далее также институт), решая текущие производственные задачи (на правах подрядчика ООО «Газпром недра» в рамках выделенных лимитов), изучает возникающие при геолого-геофизическом сопровождении разработки месторождений УВС проблемные вопросы, выявляет актуальные и перспективные методические задачи ГИС-контроля и эксплуатации фонда скважин, рекомендует пути преодоления возникающих сложностей для рассмотрения и принятия решения недропользователем, Департаментом ПАО «Газпром» (С.Н. Меньшиков). При этом институт инвестирует в такой проект собственные идеи, результаты интел-

лектуальной деятельности, научно-методические наработки и подходы, методики, аппаратные комплексы ММНК, программное и программно-интерпретационное обеспечение, базы данных (научно-технологические разработки – за счет ООО «ИНТ «ГеоСпектр»). Обладая статусом малой технологической компании, ООО «ИНТ «ГеоСпектр» при поддержке ПАО «Газпром» имеет возможность привлекать грантовое финансирование федеральных институтов инновационного развития, например ФГБУ «Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере» (Фонд содействия инновациям), Московского инновационного кластера, членом которого является, и целевое банковское финансирование для инвестирования в разработку инновационной аппаратуры и программного обеспечения для решения указанных задач.

Практическая польза такой формы партнерства и реализации программ ММНК заключается в двух основных аспектах. Первый – решение традиционных производственных задач ГИС-контроля за разработкой месторождения на новом технологическом уровне (например, задача количественной оценки газонасыщенности по методике ММНК в обсаженных газонаполненных скважинах, которую позволяет выполнить только одна технология – ММНК). Второй – нацеленность на решение перспективных научно-методических задач, возникающих в рамках ГИС-контроля и эксплуатации фонда скважин. Практика освоения новых месторождений или объектов, ранее не вовлеченных в разработку, показывает, что традиционных ГИС-технологий часто недостаточно или они неприменимы, требуют доработки и развития. В ходе реализации программ ММНК и специальных исследований проводится апробация предлагаемых инновационных методических подходов и технических решений, что позволяет оперативно оценивать их эффективность в реальных скважинных условиях. Не стоит забывать и об ограничениях на доступ к зарубежным разработкам в связи с санкционным давлением. В совокупности эти вызовы стимулируют развитие новых отечественных технологий. Как следствие, ПАО «Газпром» значительное внимание уделяет созданию и применению инновационных, импортозамещающих и импортоопережающих технологий, в том числе в области ГИС [15]. Важную роль здесь играют результаты обработки и теоретического анализа собранного полевого материала в рамках исполнения программ ММНК. Полученная таким образом база данных используется для цифрового (математического) моделирования, а результаты впоследствии служат основой разработки нового или уточнения существующего методического обеспечения ГИС-технологий в различных ГТУ.

Взаимодействие промышленности и науки в рамках реализации программ ММНК позволяет выполнить

глубокую проработку актуальных геолого-геофизических проблем, с которыми сталкиваются недропользователи, наметить пути их решения, что ведет к значительному сокращению сроков получения необходимой научно-технической продукции – методик, рекомендаций или стандартов, пакетов прикладных программ для ЭВМ и баз данных, а также аппаратурных скважинных комплексов. В случае заинтересованности и удовлетворенности предварительными научно-методическими и техническими результатами (реализация принципа потребительской ценности) дальнейшие работы проводятся через головной научный центр ПАО «Газпром» – ООО «Газпром ВНИИГАЗ» с привлечением ООО «ИНТ «ГеоСпектр».

Такой подход позволяет эффективно превращать научные заделы в конкретные, востребованные практикой нефтегазового освоения технологии, т.е. не просто проводить НИР, а гарантировать ускоренное внедрение в экономику разрабатываемых отечественных наукоемких технологий и продукции [12]. Это способствует достижению технологической независимости и обеспечивает лидерство отрасли в условиях глобальных ограничений, полностью соответствует принципам технологического развития, которые позволяют вырабатывать и принимать управленческие решения с учетом обозначенных ранее *«вызовов и текущей ситуации, а также в состоянии высокой неопределенности и возможного отсутствия данных для принятия таких решений»* [16].

Реализация программ ММНК и проведение специальных исследований в период 2020–2025 гг. позволили нарастить фактологическую базу исходной информации для совершенствования технологий НК действующих газовых скважин и получить значимые научные результаты, которые уже используются или планируются к применению при доразведке и контроле за эксплуатацией месторождений ПАО «Газпром» со сложными ГТУ. Подготовленные нормативно-методические документы, касающиеся как новых (в Восточной Сибири), так и базовых месторождений, находящихся на поздних стадиях разработки, получили одобрение Экспертно-технического совета Государственной комиссии по запасам полезных ископаемых и постоянно действующей Комиссии ПАО «Газпром» по внедрению инновационной продукции. По результатам выполнения программ ММНК и проведенных специальных исследований был выполнен анализ проблематики аппаратурного обеспечения ГИС, определены требования к новым образцам скважинного оборудования. С их учетом спроектирована и изготовлена аппаратура КА-ММНК-50, в которой реализованы все существующие методы стационарной нейтронометрии. Совместно с ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики

им. Н.Л. Духова» разрабатывается не имеющее аналогов оборудование для импульсно-стационарного НК.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Результаты деятельности Департамента ПАО «Газпром» (С.Н. Меньшиков) по созданию и применению инновационных технологий, методик и аппаратурных комплексов, направленных на решение актуальных задач контроля за разработкой месторождений методами промысловой геофизики в 2020–2025 гг. на базе НТП ММНК, приведены в табл. 1.

КОЛИЧЕСТВЕННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ И КОНТРОЛЬ ТЕКУЩЕЙ ГАЗОНАСЫЩЕННОСТИ ОБСАЖЕННЫХ ГАЗОВЫХ СКВАЖИН

В качестве конкретного примера приведены результаты более чем 10-летнего опыта научных исследований, аппаратурно-методического развития и производственного применения метода ММНК в ПАО «Газпром». На основе этих данных можно сделать вывод, что ММНК на сегодня представляет собой лучший геофизический метод для количественного определения и контроля текущей газонасыщенности по исследованиям в обсаженных нефтегазовых скважинах (табл. 2). Технология обеспечена методически, аппаратурно, программно, метрологически, признана Экспертно-техническим советом Государственной комиссии по запасам полезных ископаемых [11].

Данный вывод подтверждается следующими положениями:

- текущая газонасыщенность определяется в эксплуатационных скважинах, обсаженных стальными трубами и цементным кольцом, которые экранируют пласт и практически исключают применение электрических и электромагнитных методов, делая ядерные методы (и прежде всего метод НК) здесь безальтернативными;
- основные ограничения и недостатки других, неэлектрических методов ГИС по сравнению с НК делают их также практически неприменимыми в газозаполненных, обсаженных скважинах;
- из всех методов ГИС для оценки коэффициента газонасыщенности (K_g) лучшими являются стационарные интегральные методы НК. Они реализованы как стандартные монометодные модификации с 1–2 зондами типа НГК и 2ННК-Т в широко известных приборах СРК и др. и в виде приборов ряда ММНК;
- в лучшей действующей аппаратуре ряда ММНК, спроектированной с учетом результатов выполнения описанных программ, реализованы абсолютно все методы стационарной нейтронометрии: ННК-Нт, ННК-Т, НГК, НГК-С с общим числом зондов не менее шести, с широким диапазоном длин зондов. В скважинные приборы также добавлены модули ГК/СГК,



Таблица 1. Результаты создания и применения инновационных технологий, методик и аппаратурных комплексов, направленных на решение актуальных задач контроля за разработкой месторождений методами промысловой геофизики в 2020–2025 гг.

Методика/аппаратура	Результаты
<i>Результаты разработки инновационных проблемно и объектно ориентированных технологий и методик</i>	
«Методические рекомендации по применению технологии и методики мультиметодного многозондового нейтронного каротажа (ММНК) для определения газонасыщенности пластов-коллекторов в обсаженных скважинах НГКМ и ПХГ» [11]	Количественное определение и контроль текущего Кг пластов-коллекторов по исследованиям в обсаженных скважинах в типовых ГТУ для использования при подсчете текущих запасов углеводородов и для решения специальных задач
«Методические рекомендации по применению технологии и методики нейтрон-нейтронной цементометрии действующих скважин нефтегазоконденсатных месторождений и подземных хранилищ газа (технология ННК-Ц)» [17]	Оперативная и экономичная оценка состояния цементной крепи, особенно в старых скважинах, что делает технологию перспективной для систематического мониторинга технического состояния фонда скважин. Повышение точности определения текущего Кг за счет введения поправок за разрушенность цемента в показания ММНК. В действующих газовых скважинах, не подвергающихся глушению и извлечению НКТ, технология ННК-Ц безальтернативна
Методические рекомендации по выявлению рапонасыщенных интервалов, включая перспективные к испытанию рапонасыщенные пласты с повышенными концентрациями лития и других ценных элементов в разрезах обсаженных скважин Ковыктинского месторождения	Выделение рапонасыщенных пластов в солевых отложениях кембрия (Ковыктинское месторождение) и нижней перми (Астраханское месторождение). Методика позволяет точно выделять границы рапонасыщенных интервалов в эксплуатационных обсаженных скважинах через обсадную колонну. На данный момент безальтернативна
Методические рекомендации по определению газонасыщенности на Чаяндинском месторождении с учетом галитизации коллекторов на основе стационарного и импульсного НК в обсаженных скважинах в комплексе с данными ГИС открытого ствола	Оценка (с заданной точностью) изменения Кг и текущих запасов в процессе добычи и для управления разработкой Чаяндинского месторождения, учитывая галитизацию, теми же методами и отечественными приборами, которыми измеряется Кг. Методика важна для Чаяндинского месторождения и других подобных объектов (в отложениях венда) Восточной Сибири
Р Газпром 29–4.0–012–2025 [18]	Определение текущего и остаточного Кг в условиях длительного, значительного и неравномерного обводнения залежей в валанжинских отложениях Уренгойского и Ямбургского месторождений в целях оценки их подсчетных параметров, сроков дальнейшей рентабельной эксплуатации и управления разработкой. Методика может быть экстраполирована и адаптирована для использования на других месторождениях, для которых актуальна проблема оценки пониженного и остаточного Кг
<i>Результаты разработки аппаратурных комплексов ГИС нового поколения</i>	
Комплексная аппаратура для оценки технического состояния обсадных колонн и оценки состояния заколонного пространства скважины через НКТ в незаглушенных скважинах (шифр: КА ОТСК–ОСЗП (модификация ММНК)*)	Техническое задание на КА ОТСК–ОСЗП (модификация ММНК) разработано ООО «ИНТ «ГеоСпектр». Аппаратура изготовлена АО НПФ «ГИТАС», предназначена для оценки состояния заколонного пространства незаглушенных скважин через НКТ и диагностики технического состояния обсадных колонн и НКТ. Вся информация о пласте, техническом состоянии металлической и цементной крепи получается за один спуско-подъем
Комплексная аппаратура, реализующая технологию стационарного метода ММНК с радионуклидным источником нейтронов (шифр: КА–ММНК–50*)	КА–ММНК–50 – скважинный прибор последнего поколения ряда ММНК, содержащий в одном модуле такой набор зондов НК и других методов ГИС, которые позволяют по данным их измерений в эксплуатационных скважинах в комплексе с ГИС открытого ствола надежно решать три класса задач: – количественная оценка текущего Кг, определение текущих запасов газа и установление положений газожидкостных контактов в типовых газовых объектах с наиболее распространенными, типичными ГТУ, без ярко выраженных геологических особенностей; – получение информации для доработки или адаптации базовых методик решения задач первого класса к сложным газовым объектам Западной и Восточной Сибири с присущими им геологическими особенностями, выражающимися в нетипичном поведении тех или иных параметров ГТУ; – проведение цементометрии старых нефтегазовых скважин, в том числе газозаполненных и без их глушения, новым методом ННК–Ц, выполняемым за одну спуско-подъемную операцию совместно с исследованием насыщения пластов этим же прибором ММНК. Техническое задание на КА–ММНК–50 разработано ООО «ИНТ «ГеоСпектр». Аппаратура изготовлена АО НПФ «ГИТАС»

Продолжение таблицы 1

Методика/аппаратура	Результаты
Комплексная аппаратура импульсно-стационарного НК (шифр: КАИСНК)	Проектирование выполнено ФГУП «ВНИИА» при участии ООО «ИНТ «ГеоСпектр». КАИСНК – скважинный прибор нового поколения, реализующий две различные технологии: импульсного и стационарного ММНК, используя генератор нейтронов, способный работать в импульсном и стационарном (постоянном) режимах излучения. Он содержит в одном модуле полный набор всех интегральных и спектрометрических зондов нейтрон-нейтронного и импульсного нейтрон-нейтронного каротажа и других методов ГИС. Возможности прибора позволяют по данным его измерений в эксплуатационных скважинах в комплексе с ГИС открытого ствола решать не только традиционные задачи оценки Кг месторождений с типовыми ГТУ, но и более трудные задачи оценки нефтегазонасыщенности сложных объектов с выраженными геолого-промысловыми особенностями, затрудняющими применение стандартных подходов

Примечание. ГИС – геофизические исследования скважин; ГТУ – геолого-технические условия; Кг – коэффициент газонасыщенности; ММНК – мультиметодный многозондовый нейтронный каротаж; НК – нейтронный каротаж; НКТ – насосно-компрессорная труба.
* При создании для оптимизации конструкции зондовой установки скважинных приборов была применена программно-вычислительная технология цифрового (математического) моделирования геофизической аппаратуры, основанная на пакетах программ POLE и MATSTEND [11] (ООО «ИНТ «ГеоСпектр»).

Таблица 2. Преимущества технологии ММНК по сравнению с российскими и зарубежными аналогами при ГИС-контроле за разработкой месторождения*

Технология, аппаратура (разработчик)	Показатель						
	Риски привлечения. Доступность аппаратуры и программного обеспечения, количество применяемых в аппаратуре ГИС-методов	Возможность решения задач в стандартных/сложных, нестандартных геолого-технических условиях	Количество решаемых задач	Количество спуско-подъемных операций	Количественное определение Кг	Технико-экономическая эффективность	Стоимость работ
ММНК, аппаратура ряда ММНК (ПАО «Газпром», ООО «ИНТ «ГеоСпектр», Россия)	Рисков нет. Производится и обслуживается в России, имеет соответствующую сертификацию, проходит поверку в отечественных метрологических центрах. 8 и более методов	Да/да. Большой подтвержденный опыт успешного применения технологии для исследования нестандартных коллекторов (ачимовские отложения, Чаяндинское, Ковыктинское месторождения)	Комплексно, единовременно 7 и более	1	Да	Условно 1. Формируется за счет оптимальной стоимости проведения самих исследований и минимального времени задерживания (простая) эксплуатационной скважины	Условно 1 за скважинное исследование. Стоимость формируется по фактическим данным применения отечественной базы
Стандартные технологии ГИС-контроля (Россия)	Рисков нет. Производится и обслуживается в России, имеет соответствующую сертификацию, проходит поверку в отечественных метрологических центрах. Методы ГИС реализованы в отдельных серийно выпускаемых образцах аппаратуры	Да / ограничено или невозможно	Раздельно все стандартные задачи (кроме количественного определения Кг и оценки качества цементной крепи)	3 и более	Нет, только качественное	0,5	Стоимость выше за счет увеличенного количества спуско-подъемных операций и времени задерживания скважины



Продолжение таблицы 2

Технология, аппаратура (разработчик)	Показатель						
	Риски привлечения. Доступность аппаратуры и программного обеспечения, количество применяемых в аппаратуре ГИС-методов	Возможность решения задач в стандартных/ сложных, нестандартных геолого-технических условиях	Количество решаемых задач	Количество спуско-подъемных операций	Количественное определение Кг	Технико-экономическая эффективность	Стоимость работ
Pulsar (SLB Limited, США)	Риски есть. Производится и обслуживается в США, информация о количестве приборов в России отсутствует, метрологически проверяется на моделях в США. 4 метода ГИС	Да / ограничено или невозможно	3	2 и более	Нет, только качественное	0,7	Выше от 3 до 10 раз
Quad Neutron (Roke Technologies Ltd., Канада)	Риски есть. Производится и обслуживается в Канаде, в России находится один комплект (два прибора), сведения о метрологической проверке отсутствуют. 4 метода ГИС	Да / ограничено или невозможно	4	2 и более	Нет, только качественное	0,7	Выше от 3 до 10 раз

Примечание. ГИС – геофизические исследования скважин; Кг – коэффициент газонасыщенности; ММНК – мультиметодный многозондовый нейтронный каротаж.

* Характеристики месторождения: многоколонная конструкция эксплуатационных скважин, насосно-компрессорные трубы, избыточное давление на устье, обводнение призабойной зоны, нестандартные геолого-технические условия и т. д.

магнито-импульсной дефектоскопии колонн, резистивиметрии, термо- и барометрии;

– модульный прибор ММНК в одном спуско-подъеме одновременно измеряет параметры пласта и геолого-технологические характеристики, оценивает техническое состояние скважины (цементную и стальную крепь). Это позволяет достичь наилучшего согласования в пространстве и во времени измерений всех нужных, но разнотипных свойств, повышая комплексность и достоверность интерпретации ММНК и заключений по скважинам. В стандартных методах НК таких возможностей нет;

– мультиметодность позволяет выбирать и комбинировать показания различных методов и зондов для построения наилучших интерпретационных функционалов от показаний ММНК в смысле максимизации главного критерия сигнал/помеха за счет либо повышения чувствительности полезного

сигнала к коэффициенту газонасыщенности, либо подавления помех, либо того и другого. Наконец, можно повысить надежность оценки коэффициента с помощью усреднения его значений, найденных по разным функционалам или разными модификациями НК из комплекса ММНК. Для стандартных монометодных НК такой возможности в принципе нет;

– за счет мультиметодности ММНК обладает повышенной внутренней помехоустойчивостью;

– свойство многозондовости ММНК вместе с широким диапазоном применяемых длин зондов превращает его де-факто в разноглубинный метод, так как глубинность всех нейтронных методов растет с длиной зонда. Это свойство активно используется на практике, позволяя ММНК решать задачи в прискважинной зоне коллектора, недоступные стандартным методам НК.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Развитие и внедрение объектно и проблемно ориентированных ГИС-технологий на базе предложенных ПАО «Газпром» платформенных подходов – одно из приоритетных направлений в нефтегазовой отрасли.

Реализация программ ММНК и специальных исследований – эффективная форма взаимодействия промышленности и науки при решении актуальных задач контроля за разработкой месторождений методами промысловой геофизики. Полученные в ходе выполнения программ результаты полевых исследований становятся мощной базой данных фактического скважинного материала, используемого для цифрового (математического) моделирования. Его результаты служат основой для разработки нового или уточнения существующего методического обеспечения ГИС-технологий в различных ГТУ.

Реализация программ ММНК позволила создать образцы инновационной малогабаритной скважин-

ной аппаратуры для проведения исследований в условиях многоколонных конструкций действующих газовых скважин, которые в рамках указанных программ проходят апробацию, ускорить процесс их внедрения в производство.

Разработанные технологии НТП ММНК и аппаратные комплексы, описанные в настоящей статье, конкурентоспособны, их применение в своих областях назначения при исследованиях скважин позволяет полностью заместить решения зарубежных компаний, обеспечить технологический суверенитет в области контроля за разработкой месторождений со сложными ГТУ.

Принимая во внимание высокую степень выработки базовых месторождений, необходимость вовлечения остаточных извлекаемых запасов НПТР, сложные ГТУ вновь вводимых и уже осваиваемых месторождений Западной и Восточной Сибири, следует продолжить деятельность в этом направлении на объектах ПАО «Газпром». ■

ЛИТЕРАТУРА

1. Дмитрий Артюхов и Сергей Цивилев обсудили перспективы добычи газа Надым-Пур-Тазовского региона // Правительство Ямало-Ненецкого автономного округа: офиц. сайт. URL: <https://yanao.ru/press-tsentr/novosti/dmitriy-artukhov-i-sergey-tsivilev-obsudili-perspektivy-dobychi-gaza-nadym-pur-tazovskogo-regiona/> (дата обращения: 22.10.2025).
2. «Газпром» продолжает комплексно решать задачу рационального и эффективного освоения запасов Надым-Пур-Тазовского региона // ПАО «Газпром»: офиц. сайт. URL: <https://www.gazprom.ru/press/news/2024/november/article578058/> (дата обращения: 22.10.2025).
3. Восточная газовая программа // ПАО «Газпром»: офиц. сайт. URL: <https://www.gazprom.ru/projects/east-program/> (дата обращения: 22.10.2025).
4. Методические рекомендации по применению комплекса многозондового нейтронного каротажа для оценки характера насыщения и коэффициента газонасыщенности коллекторов в обсаженных газовых скважинах / под ред. С.А. Егурцова и др. М.: ИНГТ, 2016. 91 с.
5. Калинин А.В., Зинченко И.А., Кирсанов С.А. и др. Достижения ПАО «Газпром» в области геолого-геофизических исследований нефтегазовых скважин с применением технологии зондирования прискважинной зоны комплексом разноглубинных нейтронных методов. Теория и практика // Эффективность геофизических методов при региональных и поисковых работах на нефть и газ: материалы VIII Всерос. совещ. / ФГБУ «ВНИГНИ». URL: <https://disk.yandex.ru/d/cURv7lwBYTBjmg> (дата обращения: 22.10.2025).
6. Развитие технологии многозондового нейтронного каротажа для исследования газонасыщенности в обсаженных скважинах. Методология и практика применения. М. и др.: ПолиПРЕСС, 2018. 238 с.
7. Конторович А.Э. Разработанная авторами технология опережает современный мировой уровень... // Недропользование XXI век. 2019. № 2 (78). С. 152–153. EDN: PVFGQK.
8. Меньшиков С.Н., Ахмедсафин С.К., Кирсанов С.А. и др. Развитие технологии мультиметодного многозондового нейтронного каротажа для эффективного решения задач геолого-геофизического сопровождения разработки нефтегазоконденсатных месторождений // Газовая промышленность. 2021. № S1 (814). С. 34–39. EDN: DIPGBA.
9. Методические рекомендации по применению технологии и методики мультиметодного многозондового нейтронного каротажа (ММНК) для определения газонасыщенности пластов-коллекторов в обсаженных скважинах НГКМ и ПХГ / под ред. А.Л. Поляченко. М. и др.: ПолиПРЕСС, 2022. 204 с.
10. Меньшиков С.Н., Ахмедсафин С.К., Кирсанов С.А. и др. Платформенный подход в области нейтронного каротажа скважин – один из инструментов повышения технологического потенциала ПАО «Газпром» // Газовая промышленность. 2023. № S1 (844). С. 234–242.
11. Методические рекомендации по применению технологии и методики мультиметодного многозондового нейтронного каротажа (ММНК) для определения газонасыщенности пластов-коллекторов в обсаженных скважинах НГКМ и ПХГ / под ред. А.Л. Поляченко. 2-е изд., доп. М. и др.: ПолиПРЕСС, 2025. 250 с.
12. Российская Федерация. Президент. О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации: Указ Президента Российской Федерации от 28.02.2024 № 145 // Президент России: офиц. сайт. URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/50358> (дата обращения: 22.10.2025).
13. Российская Федерация. Правительство. Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2050 года: распоряжение Правительства Российской Федерации от 12.04.2025 № 908-р // Правительство Российской Федерации: офиц. сайт. URL: <http://static.government.ru/media/files/LWYfSENa10uBrrBoylQqAAOj5eJYIA60.pdf> (дата обращения: 22.10.2025).
14. Российская Федерация. Президент. О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года: Указ Президента Российской Федерации от 07.05.2024 № 309 // Президент России: офиц. сайт. URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/50542> (дата обращения: 22.10.2025).
15. Российская продукция в приоритете: принципы технологической независимости «Газпрома». Интервью с заместителем Председателя Правления – начальником Департамента ПАО «Газпром» Олегом Евгеньевичем Аксютиным // Газовая промышленность. 2025. № 9 (887). С. 40–43.
16. Российская Федерация. Правительство. Об утверждении Концепции технологического развития на период до 2030 года: распоряжение Правительства Российской Федерации от 20.05.2023 № 1315-р // Правительство Российской Федерации: офиц. сайт. URL: <http://static.government.ru/media/files/KIJ6A00A1K5t8Aw93NfRG6P80lbBp18F.pdf> (дата обращения: 22.10.2025).
17. Методические рекомендации по применению технологии и методики нейтрон-нейтронной цементометрии действующих скважин нефтегазоконденсатных месторождений и подземных хранилищ газа (технология ННК-Ц) / под ред. А.Л. Поляченко. М. и др.: ПолиПРЕСС, 2024. 88 с.
18. Р Газпром 29-4.0-012-2025. Геология, разработка месторождений углеводородов и подземное хранение. Методика определения текущей и остаточной газонасыщенности в коллекторах валанжинских отложений на месторождениях севера Западной Сибири по данным нейтронного каротажа в эксплуатационных скважинах // ПАО «Газпром»: офиц. сайт. URL: <https://www.gazprom.ru/> (дата обращения: 22.10.2025). Режим доступа: по особым условиям в локальной сети владельца.