ОСОБЕННОСТИ И НОВАТОРСТВО В ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ МОРСКИХ СКВАЖИН

Л.И. Гимазиева, *студент*
Н.Е. Фролов, *студент*
Уфимский государственный нефтяной технический университет
(Россия, г. Уфа)

DOI:10.24412/2500-1000-2025-10-2-20-24

Аннотация. *В статье рассматриваются особенности геофизических исследований морских скважин, актуальные методы и технологии, применяемые при бурении и эксплуатации шельфовых месторождений. Особое внимание уделено проблемам интерпретации данных ГИС в условиях морских скважин, а также перспективам развития направления LWD (каротаж во время бурения). Показана необходимость внедрения новых технологий для повышения эффективности и безопасности работ на шельфе.*

Ключевые слова: *геофизические исследования скважин, морские скважины, шельфовые месторождения, наклонно-направленное бурение, LWD, интерпретация данных ГИС, литологическое расчленение, коллекторские свойства.*

При изучении морских месторождений углеводородов мы столкнулись с тем, что их геологическое и гидрологическое строение принципиально отличается от наземных аналогов. Эти различия напрямую влияют на выбор методов геофизических исследований, конструкцию скважин и даже на оборудование, которое используется при бурении.

Строение шельфа – это продолжение континентальной коры под водой. Он представляет собой мелководную часть подводной окраины материков с относительно ровной поверхностью и небольшими уклонами. Однако, несмотря на внешнюю простоту, шельфовые зоны часто имеют сложное тектоническое строение. Например, при изучении месторождений Сахалина или Арктики здесь часто встречаются литологические замещения, невыдержанность толщин продуктивных пластов и даже аномально высокие пластовые давления (АВПД). Это означает, что при бурении приходится использовать утяжелённые буровые растворы с плотностью до 5 г/см³, чтобы избежать выбросов и стабилизировать скважину. Однако такой подход влияет на качество геофизических данных – например, показания плотностного каротажа могут искажаться, и это нужно учитывать при интерпретации.

Например, месторождение «Сахалин-1» расположено в условиях сложного тектонического строения с многочисленными разломами и зонами повышенной трещиноватости. Здесь часто встречаются литологические замещения, когда один тип породы заменяется другим на небольшом расстоянии, что усложняет прогнозирование свойств пласта. Кроме того, на Сахалине наблюдается невыдержанность толщин продуктивных пластов, что требует более частого проведения геофизических исследований для точного определения границ пластов.

Литологический состав морских отложений также разнообразен. Здесь можно встретить песчаники, алевролиты, глины и карбонатные породы, которые формируются в условиях высокой динамики осадочных процессов. Например, в Западной Сибири морские терригенные отложения, такие как пласты БС10–БС11, отличаются сложным фациальным строением и изменчивостью коллекторских свойств. Это усложняет задачу по определению перспективных интервалов и требует более тщательного анализа данных ГИС.

Бурение морских скважин требует особого подхода. При встрече с АВПД применяются утяжелённые буровые растворы плотностью до 5 г/см³. Это необходимо для предотвращения выбросов, стабилизации ствола скважины и обеспечения безопасности работ. Однако такой подход имеет свои недостатки: искажение геофизических данных, снижение точно-

сти каротажных измерений и необходимость корректировки методов интерпретации.

Геофизические исследования в морских условиях требуют корректировки стандартных методик, использования специализированного оборудования, учёта влияния бурового раствора и комплексного подхода к интерпретации данных. ГИС-исследования (геофизические исследования скважин) становятся особенно важными для определения перспективных интервалов, оценки коллекторских свойств, мониторинга состояния скважины и контроля разработки месторождения.

Изучение морских месторождений углеводородов представляет собой комплексную задачу, требующую учёта множества факторов. От геологических особенностей до технологических аспектов – каждый элемент требует особого внимания и специализированного подхода. Успешное освоение морских месторождений возможно только при условии всестороннего изучения всех особенностей и применения современных технологий.

В процессе исследования морских месторождений особое внимание уделяется гидрологическим условиям, которые существенно влияют на выбор технологий добычи и методов разработки. Морские условия характеризуются высокой динамикой осадочных процессов, что отражается на формировании залежей углеводородов и их свойствах.

Современные методы исследования морских месторождений включают комплексный подход, сочетающий геологические, геофизические и гидрологические данные. Это позволяет более точно прогнозировать поведение пластов при разработке и оптимизировать процесс добычи.

Экономическая эффективность разработки морских месторождений зависит от множества факторов, включая геологические условия, глубину моря, удалённость от берега и развитость инфраструктуры. При этом современные технологии позволяют оптимизировать затраты и повысить рентабельность проектов.

Перспективы развития морской добычи углеводородов связаны с совершенствованием технологий бурения, разработкой новых методов исследования и повышением эффективности эксплуатации месторождений. Особое внимание уделяется освоению глубоководных участков и арктического шельфа, где сосредоточены значительные запасы углеводородов.

Таким образом, изучение и освоение морских месторождений углеводородов представляет собой сложную многофакторную задачу, требующую интеграции различных научных дисциплин и применения передовых технологий. Успешное решение этой задачи определяет развитие нефтегазовой отрасли и обеспечение энергетической безопасности.

Гидрологические условия добавляют свои сложности. Давление воды на больших глубинах создаёт дополнительную нагрузку на оборудование, а низкие температуры (особенно в арктических регионах) требуют использования морозостойких материалов. Кроме того, солёность морской воды ускоряет коррозию металлических конструкций, что также необходимо учитывать при проектировании скважин и выборе оборудования.

Динамические процессы, такие как течения и волны, могут влиять на устойчивость буровых платформ. Например, платформа «Беркут» в Охотском море была спроектирована с учётом сейсмической активности до 9 баллов и ледовых нагрузок. Это показывает, насколько важно учитывать все факторы при разработке морских месторождений.

Геофизические исследования на море также имеют свои особенности. Например, для сейсморазведки используются плавающие косы и пневматические источники, которые генерируют упругие волны. Современные методы, такие как 3D и 4D сейсморазведка, позволяют получать более точные данные о строении недр. При каротаже в морских скважинах часто применяются специализированные зонды, например, боковой каротаж с фокусировкой тока, который лучше работает в условиях высокой заглинизированности и анизотропии разреза.

Особое внимание при морских геофизических исследованиях уделяется контролю качества получаемых данных. В условиях морского бурения часто применяются специальные методики калибровки оборудования и корректировки показаний с учетом влияния морской воды, бурового раствора и конструкции скважины. Например, для корректировки данных плотностного каротажа используются специальные алгоритмы, учитывающие плотность бурового раствора и диаметр скважины.

Эти алгоритмы позволяют существенно повысить точность интерпретации данных ГИС в морских условиях.

В условиях морского бурения доступ к керновому материалу сильно ограничен, поэтому шлам становится основным источником информации о физических свойствах пластов. Его изучение позволяет определять литологию, пористость, насыщенность и другие параметры, критически важные для интерпретации данных ГИС.

Для изучения шлама используются различные методы. Например, ядерно-магнитный метод (ЯМР) позволяет определять пористость и проницаемость пород. Шлам помещается в специальную ячейку, где измеряется время релаксации протонов в жидкости, заполняющей поры, что даёт возможность оценить фильтрационно-ёмкостные свойства пласта. Рентгенорадиометрический метод помогает определить элементный состав шлама: образцы облучаются рентгеновскими лучами, и по спектру излучения определяется содержание химических элементов, таких как кремний, алюминий и железо. Это важно для идентификации минерального состава пород.

Определение удельного электрического сопротивления (УЭС) шлама может проводиться несколькими способами. Например, контактный метод предполагает измерение сопротивления между двумя электродами, контактирующими с частицами шлама. В методе сравнения шлам помещается в раствор с известным сопротивлением, и по изменению сопротивления раствора определяется УЭС образца. Более усовершенствованный метод, предложенный в ИГО «Волгокамскгеология», использует четырёхэлектродную резистивиметрию. Образец шлама фиксируется в ячейке, заполненной электролитом с известным сопротивлением. Измерения проводятся при циклическом изменении сопротивления жидкости, после чего строятся зависимости, и графически определяется значение УЭС.

Для определения интервального времени пробега упругих волн шлам уплотняется, замораживается при температурах от -4°C до -10°C, и через него пропускаются ультразвуковые волны. По времени пробега волн определяется скорость их распространения, что позволяет оценить пористость и литологию породы. Этот метод чувствителен к фракционному составу и режиму замораживания, поэтому требует тщательной подготовки образцов.

Инфракрасная спектроскопия используется для определения минерального состава шлама. Метод основан на анализе линий поглощения инфракрасного излучения породообразующими минералами. Количественная оценка минералов проводится по интенсивности пиков в ИК-спектрах.

Изучение шлама позволяет компенсировать отсутствие керна и получать данные о физических свойствах пластов в реальном времени. Это особенно важно для морских скважин, где каждая ошибка может привести к серьёзным финансовым и техническим последствиям. Современные методы анализа шлама позволяют получать данные, сопоставимые по точности с керновыми исследованиями, что делает их незаменимыми в условиях морского бурения.

Таким образом, геологические и гидрологические условия морских месторождений требуют использования специализированных методов и оборудования. Изучение шлама играет ключевую роль в получении достоверной информации о пластах, компенсируя ограниченный доступ к керну.

При проведении геофизических исследований на морских месторождениях возникает целый ряд технических и технологических вызовов, которые требуют нетривиальных решений. Эти вызовы связаны с особенностями морской среды, удалённостью объектов, а также спецификой конструкции скважин и оборудования.

Оборудование для геофизических исследований должно быть адаптировано к морским условиям. Например, каротажные приборы должны выдерживать высокое давление и агрессивную среду бурового раствора. Кроме того, они должны быть совместимы с системами передачи данных в реальном времени, такими как LWD (Logging While Drilling) и MWD (Measurement While Drilling). Эти технологии позволяют получать данные о пластах непосредственно в процессе бурения, что значительно ускоряет принятие решений и снижает риски.

При исследовании морских скважин традиционные методы геофизики часто оказываются недостаточно эффективными из-за

сложных условий: высокого давления, агрессивной среды, ограниченного доступа к керну и необходимости оперативно принимать решения. Поэтому в последние годы активно развиваются и внедряются современные геофизические методы, которые позволяют получать более точные и надёжные данные о строении пластов.

3D и 4D сейсморазведка стала стандартом при разведке морских месторождений. Если 2D сейсморазведка даёт лишь плоскостное представление о геологическом строении, то 3D позволяет создать объёмную модель недр, а 4D — отслеживать изменения в пласте с течением времени. Например, при разработке месторождений в Мексиканском заливе и Северном море 4D сейсморазведка используется для мониторинга перемещения флюидов в пласте, что помогает оптимизировать добычу и предотвращать преждевременное обводнение скважин. Современные сейсмические суда оснащены многокилометровыми косами с датчиками, которые позволяют получать данные высокого разрешения даже в сложных геологических условиях.

Искусственный интеллект (ИИ) и машинное обучение активно внедряются в обработку и интерпретацию геофизических данных. Алгоритмы ИИ способны анализировать огромные массивы информации, выявлять закономерности и прогнозировать свойства пластов с высокой точностью. Например, нейронные сети используются для автоматической корреляции сейсмических данных, классификации литологии по данным каротажа и даже для прогнозирования зон с высокой проницаемостью. Это значительно ускоряет процесс интерпретации и снижает влияние человеческого фактора.

Заключение

Таким образом, геофизические исследования морских скважин представляют собой сложную и многогранную задачу, требующую применения специализированных методов и технологий. Использование современных подходов, таких как 3D и 4D сейсморазведка, LWD и MWD, а также внедрение искусственного интеллекта для обработки и интерпретации данных, позволяет значительно повысить точность и эффективность исследований. Учет особенностей морских условий, включая гидрологические и динамические процессы, а также обеспечение экологической безопасности, является необходимым условием для успешной разработки шельфовых месторождений. Перспективы развития этой области связаны с дальнейшим совершенствованием технологий и методов, что будет способствовать повышению эффективности и безопасности работ на шельфе.

Успешное проведение геофизических исследований в морских условиях во многом зависит от правильного выбора оборудования и технологий. Например, применение специализированных каротажных приборов, устойчивых к высокому давлению и агрессивной среде, позволяет получать более точные данные о свойствах пластов. Кроме того, использование современных систем передачи данных в реальном времени, таких как LWD и MWD, значительно ускоряет процесс принятия решений и снижает риски при бурении и эксплуатации скважин.

Библиографический список

1. Бутолин С.В., Чернова Г.А. Добыча углеводородов на континентальном арктическом шельфе // Современные научные исследования и разработки. – 2018. – № 12. – С. 123-125.

2. Ракитин М.В. ГТИ и ГИС на шельфе – проблемы и перспективы / М.В. Ракитин // Бурение и нефть. – 2015. – № 7-8. – С. 26-29. – EDN UFEMWL.

3. Особенности геолого-технологического сопровождения строительства морских эксплуатационных скважин / А.Д. Дзюбло, Ю.В. Семенов, Е.А. Волк, Г.А. Зорин // Вестник Ассоциации буровых подрядчиков. – 2020. – №2. – С. 2-8. – EDN STRUSU.

4. Райхерт Р.С. Совершенствование технико-технологических решений по повышению качества очистки наклонно-направленных и горизонтальных стволов скважин от шлама / Р.С. Райхерт, М.С. Цукренко А.С. Оганов // Вестник Ассоциации буровых подрядчиков. – 2014. – № 3. – С. 24-28. – EDN TIGGNH.

5. Бурение горизонтальных скважин на шельфе Черного моря / Я.В. Кунцяк, А.В. Козлов, К. В. Булатов [и др.] // Бурение и нефть. – 2008. – № 10. – С. 54-57. – EDN JVOBZZ.

6. Курячий А.Е. Повышение эффективности традиционного наклонно-направленного бурения за счет использования системы импульсного управляемого бурения / А.Е. Курячий, С.М. Калягин // Перспективы устойчивого развития нефтегазовой отрасли и электроэнергетики в Российской Федерации и мире: Материалы Международной научно-практической конференции, Владикавказ, 22–24 мая 2019 года. – Владикавказ: Северо-Кавказский горно-металлургический институт (Государственный технологический университет), 2019. – С. 52-57. – EDN PRRMJS.

7. Гуторов Ю.А. Перспективы применения современных MWD и LWD телесистем в условиях кризисных явлений в нефтегазовой отрасли России / Ю.А. Гуторов, Р.А. Шайхутдинов // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2017. – № 10. – С. 36-38. – EDN ZIGPHX.

FEATURES AND INNOVATIONS IN THE GEOPHYSICAL RESEARCH OF OFFSHORE WELLS

L.I. Gimazieva, *Student*
N.E. Frolov, *Student*
Ufa State Petroleum Technological University
(Russia, Ufa)

Abstract. *The article discusses the features of geophysical studies of offshore wells, current methods and technologies used in drilling and exploitation of offshore fields. Special attention is paid to the problems of interpretation of GIS data in the conditions of offshore wells, as well as the prospects for the development of LWD (logging during drilling). The necessity of introducing new technologies to improve the efficiency and safety of offshore operations is shown.*

Keywords: *geophysical studies of wells, offshore wells, offshore deposits, directional drilling, LWD, interpretation of GIS data, lithological dissection, reservoir properties.*