

*Чирва А.А., студент
Инженерная академия, Российский университет дружбы народов имени
Патриса Лумумбы
Россия, Москва*

ТЕХНОЛОГИИ «НУЛЕВОГО СБРОСА» ДЛЯ УСЛОВИЙ АРКТИЧЕСКОГО БУРЕНИЯ

Аннотация

Статья посвящена разработке и обоснованию комплекса технологических решений для реализации принципа «нулевого сброса» при бурении скважин в условиях Арктики. Обоснована концепция трехуровневой системы обеспечения экологической безопасности, включающей изоляцию скважин, автоматизированную противовыбросовую защиту и замкнутое обращение с буровыми отходами. Предложенная архитектура может быть использована проектными организациями при разработке проектов строительства скважин на арктическом шельфе.

Ключевые слова: арктическое бурение, нулевой сброс, многолетнемерзлые породы, изоляция скважин, противовыбросовое оборудование, автоматизация, буровые отходы.

Abstract

The article is devoted to the development and justification of a set of technological solutions for the implementation of the «zero discharge» principle during well drilling in Arctic conditions. The concept of a three-level environmental safety system, including well isolation, automated blowout protection and closed-loop drilling waste management, is substantiated. The proposed architecture can be used by design organizations in the development of well construction projects on the Arctic shelf.

Keywords: Arctic drilling, zero discharge, permafrost, well isolation, blowout preventer equipment, automation, drilling waste.

ВВЕДЕНИЕ

Арктический шельф является территорией с самыми большими совокупными запасами нефти и газа в мире [1]. Освоение углеводородных ресурсов арктического шельфа входит в число приоритетов Российской Федерации. Экстремальные природно-климатические условия, удаленность от населенных пунктов и чрезвычайная уязвимость арктических экосистем требуют особых мер безопасности и экологичности буровых работ. Традиционные методы обращения с отходами бурения в условиях низких температур, ледовой обстановки и сложной логистики малоэффективны. По этой причине особую значимость приобретает концепция «нулевого сброса», предполагающая полное предотвращение поступления загрязняющих веществ в арктическую среду за счет замкнутого цикла обращения с отходами. Цель работы – разработка и обоснование комплекса технологических решений для реализации принципа «нулевого сброса» при бурении скважин в арктических условиях.

ТЕХНОЛОГИИ ИЗОЛЯЦИИ СКВАЖИН В УСЛОВИЯХ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ПОРОД

Основной особенностью, осложняющей бурение в Арктике, является присутствие в геологическом разрезе многолетнемерзлых пород (ММП). Отличительной характеристикой ММП является наличие льда в составе, который выступает в роли цементирующего материала. На территории России ММП занимают 60–65% [2]. Растеплением называется совокупность опасных криогенных процессов, приводящих к нарушению теплового равновесия. Зачастую нарушения вызваны техногенными вмешательствами, в частности бурением, когда нагретый буровой раствор передает тепло стенкам скважины [3].

Таяние льда влечет образование каверн, термокарст, приустьевые воронки, оползни и пучение грунтов, что создает нагрузки на обсадные колонны и нарушает герметичность [3].

Цементирование скважины в арктических условиях – сложная инженерная задача. Классический цемент неприемлем: в условиях криолитозоны замедляется гидратация, вода замерзает, цементный камень становится хрупким и разрушается при подвижках грунтов [4]. Для решения проблемы применяются специальные тампонажные системы. Облегченные цементы с полыми микросферами (диаметром 20...160 мкм) позволяют снизить плотность раствора до 1300-1400 кг/м³, обеспечивают низкую теплопроводность и трещиностойкость [5, 6]. Эластифицированные цементы с полимерными добавками способны деформироваться без разрушения при напряжениях, вызванных подвижками грунтов [7]. Термоизолирующие цементы (например, ThermoCEM LT) минимизируют передачу тепла от ствола к мерзлоте, их теплопроводность составляет 0,11 Вт/(м·К) [5].

Конструкция скважины должна предусматривать дополнительные меры. Теплоизолированные лифтовые трубы (ТЛТ) с вакуумной полостью существенно снижают теплопотери. Кондуктор необходимо спускать с заглублением около 50 м ниже подошвы ММП для закрепления ствола в устойчивых породах [3]. Контроль качества изоляции осуществляется геофизическими методами (акустический, термометрический, радиоактивный) после цементирования [4].

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ ПРОТИВОВЫБРОСОВОЙ ЗАЩИТЫ

Газонефтеводопроявление (ГНВП) – основная угроза при бурении. Это не предусмотренное технологией поступление пластовых флюидов в ствол при снижении забойного давления ниже пластового [8]. В Арктике последствия ГНВП многократно усугубляются удаленностью объектов, ледовой обстановкой,

отсутствием быстрой доставки оборудования и сложностью сбора разливов [9]. Кроме того, существует риск образования газовых гидратов – твердых соединений газа с водой, стабильных при низких температурах и высоких давлениях. Гидраты могут блокировать превенторы и линии глушения [9].

Противовыбросовое оборудование (ПВО) – второй уровень защиты. Оно включает плашечные и кольцевые превенторы, манифольд и систему управления. Для Арктики требуется ПВО специального исполнения: с системами обогрева, морозостойкими материалами (до -50°C), защитой от обледенения, подводным исполнением для шельфа и резервированием управления.

Автоматизация играет важнейшую роль. Системы раннего обнаружения используют датчики давления, расхода, газоанализаторы. Для отличия ГНВП от технологических шумов применяются трендовый анализ, многофакторная корреляция и нейросетевые алгоритмы машинного обучения [10]. При подтверждении ГНВП система автоматического глушения герметизирует устье, останавливает насосы, запускает закачку тяжелого раствора и регулирует противодавление. Для удаленных объектов используется телемеханика со спутниковой связью для мониторинга и дистанционного управления. Надежность обеспечивается испытаниями на морозостойкость, резервированием критических узлов и автономными источниками питания.

СБОР И ОЧИСТКА ОТХОДОВ БУРЕНИЯ

При строительстве скважины образуются буровой шлам, отработанный буровой раствор и сточные воды [11]. Шлам – смесь выбуренной породы и остатков раствора. Отработанный раствор теряет свойства из-за зашламления, деградации реагентов и загрязнения флюидами. Суммарный объем отходов на одну арктическую скважину достигает 1270–3650 тонн [11]. Первостепенная задача – сбор и разделение отходов на буровой. Циркуляционная система

включает вибросита, пескоотделители, илоотделители и центрифуги для многоступенчатой очистки раствора с возвратом его в цикл.

Для окончательной утилизации применяются три основных метода. Термическая десорбция – нагрев шлама до 300-600°C для испарения воды и углеводородов, что снижает объем отходов на 70-80%. Отверждение – смешивание отходов с вяжущими (цемент, известь) для получения монолитного материала, пригодного для строительства. Закачка в пласт – измельчение шлама и закачка пульпы в глубокий поглощающий горизонт, что полностью изолирует отходы от окружающей среды.

Концепция «нулевого сброса» закреплена международными (OSPAR 2000/3) и российскими нормативными актами (ФЗ № 7, ст. 51), запрещающими сброс отходов в водные объекты и требующими применения наилучших доступных технологий [12].

Комплексный подход объединяет три уровня: первый – изоляция скважины (глубокий кондуктор, термоизолированные трубы, специальные цементы); второй – автоматизированная ПВО (арктическое исполнение, раннее обнаружение, автоматическое глушение); третий – замкнутая система обращения с отходами (многоступенчатая очистка, термическая десорбция, отверждение или закачка в пласт). Только такая интеграция обеспечивает реализацию принципа «нулевого сброса».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе установлено, что достижение «нулевого сброса» нереализуемо посредством одной отдельной технологии - необходим многоуровневый комплекс решений. Основным фактором, определяющим специфику бурения, являются многолетнемерзлые породы, требующие применения специальных тампонажных растворов (облегченных, эластифицированных, термоизолирующих), теплоизолированных труб и углубленного спуска

кондуктора. Анализ ГНВП показал необходимость ПВО арктического исполнения с системами раннего обнаружения и автоматического глушения. Исследование обращения с отходами подтвердило необходимость замкнутого цикла с термической десорбцией, отверждением или закачкой в пласт.

Разработанная трехуровневая концептуальная схема может быть использована проектными организациями для обеспечения экологической безопасности при строительстве скважин на арктическом шельфе. Реализация принципа «нулевого сброса» технически осуществима при условии комплексного внедрения всех трех барьеров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Малюков В.П., Федин В.Д. Защита окружающей среды при разработке Приразломного нефтяного месторождения на шельфе Печорского моря // ГИАБ. – 2018. – № 5. – С. 95-101.
2. Богоявленский В.И., Богоявленский И.В. Освоение месторождений нефти и газа в морях Арктики и других акваториях России // Вестник МГТУ. – 2015. – Т. 18. – № 3. – С. 377-385.
3. Лукьянов В.В., Минеев А.В. Обоснование конструкции скважины при строительстве в регионе арктического шельфа // Булатовские чтения. – 2017. – Т. 3. – С. 150-151.
4. Сочнева И.О. Безопасная нефтегазодобыча в Арктике: основные технологии, требования и мероприятия // Техника и технология бурения. – 2016. – № 3. – С. 8-19.
5. Орешкин Д.В., Капцов П.В. Научно-технические предпосылки получения экструдированных облегченных цементных систем // Вестник МГСУ. – 2012. – № 3. – С. 115-119.

6. Хафизов А.М. и др. Исследования облегченных цементных растворов на основе микросфер // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. – 2024. – № 5-5 (92). – С. 221-226.
7. Блинов П.А. и др. Разработка и исследование тампонажных составов с улучшенными упруго-прочностными свойствами // Записки Горного института. – 2024. – № 268. – С. 588-598.
8. Савенко А.А. Анализ конструкций и направлений модернизации противовыбросового оборудования // Магистерская дис. – Томск, 2022. – 158 с.
9. Паламодов К.Е. Анализ опасностей при бурении в арктических условиях // Вестник науки. – 2023. – № 4 (61). – С. 231-242.
10. Дмитриевский А.Н. и др. Об увеличении продуктивного времени бурения нефтегазовых скважин с использованием методов машинного обучения // Георесурсы. – 2020. – № 4. – С. 79-85.
11. Орешкин Д.В. и др. Утилизация отходов мрамора и бурового шлама в процессе производства строительных материалов // Construction materials. – 2019. – № 4. – С. 65-72.
12. Федеральный закон № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» (ст. 51). – 2001.