

УДК 622.245
МРНТИ 52.47.15

DOI: <https://doi.org/10.54859/kjogi108842>

Получена: 18.03.2025.

Одобрена: 14.04.2025.

Опубликована: 30.06.2025.

Оригинальное исследование

Успешное применение технологии PROMILL для изоляции нефтяной скважины в Казахстане

М. Ермаков, Т. Мустафин

Wellbore Integrity Solutions, г. Хьюстон, США

АННОТАЦИЯ

Обоснование. В статье приведены известные технологические причины возникновения перетоков водогазовой смеси и пластового флюида в заколонном пространстве зацементированной нефтегазовой скважины и через цементный мост и осложнения, к которым они могут привести. Применяемые в настоящее время технологии изоляции ствола скважины не позволяют надёжно устранить заколонные перетоки водогазовых смесей.

Цель. Обоснование возможности широкого использования технологии ProMILL для случаев, когда необходимо добиться сплошной надёжной изоляции ствола скважины от породы к породе.

Материалы и методы. Высокоэффективная система ProMILL, созданная компанией Wellbore Integrity Solutions, сочетает в себе узел изоляции ствола скважины (мостовая пробка), секцию фрезы и расширитель с высоким передаточным числом для подготовки основания для бетонного барьера за один рейс. В ходе процесса фрезерования и расширения устраняются все каналы утечки в заколонном пространстве, при этом обеспечивается сплошная надёжная изоляция ствола скважины от породы к породе.

Результаты. В статье представлены результаты успешного проведения проекта по изоляции нефтяной скважины на месторождении на суше в Республике Казахстан. На этапе фрезерования был успешно отфрезерован участок длиной 20,9 м высокопрочной, устойчивой к сероводороду обсадной колонны диаметром 7". После активации расширителя общий интервал фрезерования и удаления цементного камня за колонной достиг 19,8 м, при этом износ ножей ProMILL составил 16% после 67,3 ч непрерывного фрезерования.

Заключение. В ходе реализации проекта успешно применена технология ProMILL серии 5500 для фрезерования высокопрочной обсадной колонны и удаления цементного камня за колонной за один рейс. Система ProMILL объединяет несколько операций в один спуск для максимальной эффективности работы, устранения всех путей утечки и создания надёжного барьера от породы к породе.

Ключевые слова: водогазовая смесь, заколонный переток, бетонный барьер, кольцевое пространство, фрезерование, ликвидация скважины, ремонтно-изоляционные работы, устойчивое межколонное давление.

Как цитировать:

Ермаков М., Мустафин Т. Успешное применение технологии PROMILL для изоляции нефтяной скважины в Казахстане // Вестник нефтегазовой отрасли Казахстана. 2025. Том 7, №2. С. 51–60.

DOI: <https://doi.org/10.54859/kjogi108842>.

UDC 622.245

CSCSTI 52.47.15

DOI: <https://doi.org/10.54859/kjogi108842>

Received: 18.03.2025.

Accepted: 14.04.2025.

Published: 30.06.2025.

Original article

Successful Application of PROMILL Technology for Oil Well Isolation in Kazakhstan

Milat Yermekov, Timur Mustafin

Wellbore Integrity Solutions, Houston, USA

ABSTRACT

Background: The article presents the technological factors that lead to the flow of water-gas mixture and reservoir fluid in the behind-the-casing space of a cemented oil and gas well and through a cement plug, and the complications to which they can lead. Current wellbore isolation technologies fail to effectively prevent behind-the-casing fluid migration.

Aim: The article focuses on justifying the potential for widespread use of ProMILL technology in cases where continuous and reliable isolation of the wellbore from rock to rock is required.

Materials and methods: A highly efficient ProMILL system developed by Wellbore Integrity Solutions as a result of continuous work on enhancing well abandonment technologies combines a Bridge Plug assembly, a Section Mill, and a high-ratio Underreamer to prepare the foundation for a cement barrier in a single run. During the milling and expansion process, it eliminates all leak paths in the borehole annulus, ensuring continuous, reliable rock-to-rock isolation of the wellbore.

Results: The article presents the results of a successful oil well isolation project at an onshore field in the Republic of Kazakhstan. At the milling stage, a 20.9 m long section of a high-strength, hydrogen sulfide-resistant casing with a diameter of 7" was successfully milled. After activating the underreamer, the total milling and removal interval behind the casing reached 19.8 m. The ProMILL cutter wear was 16% after 67.3 hours of continuous milling.

Conclusion: During the project, the 5500 ProMILL technology was successfully deployed for high-grade section milling and outer casing cement stone scraping in one trip. The ProMILL system combines multiple operations into a single trip to maximize operational efficiency, eradicate all leak paths, and deliver a true rock-to-rock barrier.

Keywords: water-gas mixture; behind-the-casing flow; cement barrier; annulus; milling; well abandonment; repair and isolation works; sustained casing pressure.

To cite this article:

Yermekov M, Mustafin T. Successful application of PROMILL technology for oil well isolation in Kazakhstan. *Kazakhstan journal for oil & gas industry*. 2025;7(2):51–60. DOI: <https://doi.org/10.54859/kjogi108842>.

ӨОЖ 622.245
FTAХР 52.47.15

DOI: <https://doi.org/10.54859/kjogi108842>

Қабылданды: 18.03.2025.

Мақұлданды: 14.04.2025.

Жарияланды: 30.06.2025.

Түпнұсқа зерттеу

Қазақстанда мұнай ұңғымасын оқшаулау үшін PROMILL технологиясын сәтті пайдалану

М. Еркеков, Т. Мұстафин

Wellbore Integrity Solutions, Хьюстон қаласы, АҚШ

АННОТАЦИЯ

Негіздеу. Мақалада цементтелген мұнай-газ ұңғымасының құбыр сыртындағы кеңістікте және цемент көпірі арқылы су-газ қоспасы мен қабат сұйықтығының ағындарының пайда болуының белгілі технологиялық себептері және олар әкелуі мүмкін асқынулар келтірілген. Қазіргі уақытта қолданылатын ұңғыма оқпанын оқшаулау технологиялары су-газ қоспаларының құбыр сыртындағы ағындарын сенімді түрде жоюға мүмкіндік бермейді.

Мақсаты. Ұңғыма оқпанын тау жыныстарынан жыныстырға тұтас сенімді оқшаулауға қол жеткізу қажет болған жағдайларда ProMILL технологиясын кеңінен қолдану мүмкіндігін негіздеу.

Материалдар мен әдістер. Wellbore Integrity Solutions компаниясы жасаған жоғары тиімді ProMILL жүйесі бір рейсте бетон тосқауылының негізін дайындау үшін ұңғыма оқпанының оқшаулау жинағын (көпір тығыны), фрезерлік бөлімді және жоғары беріліс коэффициенті бар кеңейткішті біріктіреді. Фрезерлеу және кеңейту процесінде бағана сыртындағы кеңістіктегі барлық ағып кету арналары жойылады, бұл ретте ұңғыма оқпанын жыныстан жынысқа үздіксіз сенімді оқшаулау қамтамасыз етіледі.

Нәтижелері. Мақалада Қазақстан Республикасындағы құрлықтағы кен орнында мұнай ұңғымасын оқшаулау бойынша жобаны сәтті жүргізу нәтижелері келтірілген. Фрезерлеу кезеңінде диаметрі 7" жоғары беріктігі бар, күкіртсутекке төзімді корпустың ұзындығы 20,9 м учаске сәтті жоңғыланды. Кеңейткіш іске қосылғаннан кейін бағанның артындағы цемент тасын фрезерлеу мен жоюдың жалпы аралығы 19,8 м-ге жетті, ProMILL пышақтарының тозуы 67,3 сағат үздіксіз фрезерлеуден кейін 16%-ды құрады.

Қорытынды. Жобаны іске асыру барысында жоғары беріктігі бар корпусты фрезерлеу және бір рейсте бағанның артындағы цемент тасты алып тастау үшін ProMILL 5500 сериялы технологиясы сәтті қолданылды. ProMILL жүйесі жұмыс тиімділігін арттыру, барлық ағып кету жолдарын жою және тұқымнан тұқымға сенімді тосқауыл жасау үшін бірнеше операцияларды бір түсіруге біріктіреді.

Негізгі сөздер: су-газ қоспасы, бағана артындағы ағын, бетон тосқауылы, айналма кеңістік, фрезерлеу, ұңғыманы жою, жөндеу және оқшаулау жұмыстары, тұрақты бағанаралық қысым.

Дәйексөз келтіру үшін:

Еркеков М., Мұстафин Т. Қазақстанда мұнай ұңғымасын оқшаулау үшін PROMILL технологиясын сәтті пайдалану // Қазақстанның мұнай-газ саласының хабаршысы. 2025. 7 том, №2. 51–60 б.

DOI: <https://doi.org/10.54859/kjogi108842>.

Введение

Как известно, на целостность и герметичность цементного моста (далее – ЦМ) и цементного камня (далее – ЦК) за- и межколонных пространств нефтяных и газовых скважин влияют следующие факторы:

- усадочная деформация и деструкция (нестабильность) ЦК во времени;
- расширения и сжатия эксплуатационной колонны (далее – ЭК) и ЦК из-за циклических изменений давления и температуры при эксплуатации скважины;
- динамические воздействия при спуско-подъёмных операциях (далее – СПО) во время подземного и капитального ремонтов (далее – ПРС и КРС соответственно);
- расширения обсадной колонны (далее – ОК) и сжатия цемента при опрессовках;
- перфорации, создающие ударные нагрузки на ЭК.

Естественно, что негерметичность ЦК может усиливаться из-за плохого качества первичного цементирования скважин, а именно из-за наличия глинистой корки между стенками скважин и ЦК, которая присуща всем месторождениям. Толстая глинистая корка на стенках скважины мешает

хорошему сцеплению цемента с породой, а пластовый флюид (далее – ПФ) и водогазовая смесь (далее – ВГС) проникают в цемент в процессе его схватывания. Образуются водные и газовые языки, нарушается сцепление цемента с ЭК при циклическом нагружении. В период критической гидратации обычный цементный раствор теряет способность передавать гидростатическое давление на пласт. Когда это происходит, ПФ и ВГС свободно мигрируют в цемент и образуют каналы для дальнейшего поступления ПФ и ВГС. Также на качество герметизации заколонного пространства отрицательно влияют седиментация и контракция цементного раствора, неполное вытеснение бурового раствора и другие факторы.

Отслоения ЦМ и ЦК от ЭК и разрушение цемента за колонной приводят к появлению изолированных пустот (трещины, зазоры, каверны), на которых со временем начинают скапливаться в ПФ и/или ВГС. С течением времени такие трещины и зазоры превращаются в каналы для циркуляции заколонного перетока преимущественно по контакту ОК с ЦК (металл – цемент) и по контакту ЦК со стенкой скважины (рис. 1) [1, 2].

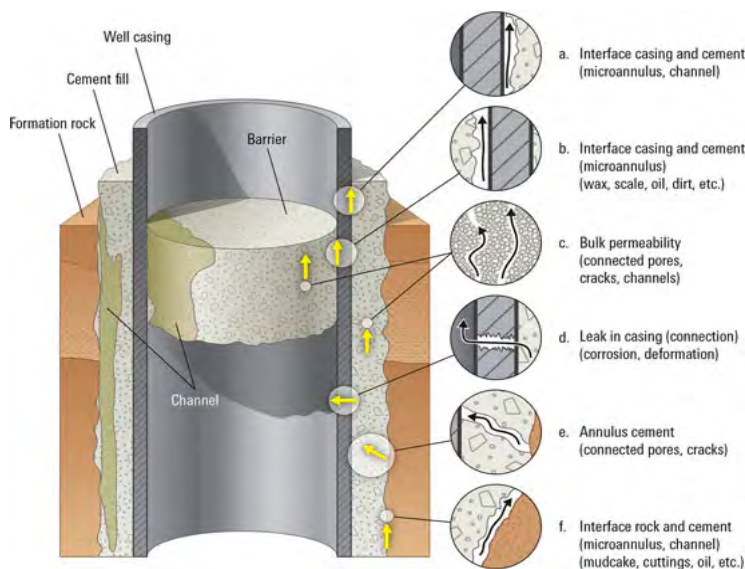


Рисунок 1. Виды разрушения цементного моста и камня за колонной

Figure 1. Cement plug and cement fill failure modes

В результате негерметичности зацементированного заколонного пространства при сформированном ЦК из водоносных и промытых зон сильно обводнённых пластов нагнетаемая и контурная вода может прорываться в продуктивный пласт. Кроме того, заколонный переток солёных вод и рассолов агрессивно воздействуют на ме-

талл, что становится причиной сквозных коррозионных отверстий в ЭК. Также ВГС может поступать в ствол скважины из-за нарушения герметичности ЭК (в основном муфтовых соединений) и в результате разрушения ЦМ.

Таким образом, неудовлетворительное техническое состояние скважин из-за нарушения

сцепления цемента с ЭК и потери герметичности ОК и заколонного пространства снижают поступление ПФ из продуктивного пласта и увеличивают общую обводнённость добываемой продукции (увеличивают объёмы воды, попутно добываемой и закачиваемой системой поддержания пластового давления (далее – ППД)), что является одной из причин, способствующих выходу скважин из действующего фонда.

Обводнённость скважин, наряду с производительностью, является одним из важнейших показателей, определяющих величину прямых затрат на добычу нефти, поэтому для снижения обводнённости добываемой продукции и интенсификации добычи нефти, а также продления срока службы скважин требуется проведение ремонтно-изоляционных работ (далее – РИР) или применение технологий ограничения водопритоков (далее – ОВП), таких как: перфорация специальных отверстий на ЭК с последующей закачкой тампонирующего изоляционного состава (микроцементы, полимерные материалы, затвердевающие составы, синтетические смолы и др.); закачивание селективных и неселективных материалов (гелеобразующие, осадкообразующие реагенты, гидрофобизаторы и пенные системы); использование двухпакерной системы; установка металлических, гофрированных, полимерных, извлекаемых пластырей или заплаток; спуск дополнительной ЭК. Причём особую актуальность приобретает эффективность РИР на скважинах, нацеленных на доизвлечение остаточных запасов уже разрабатываемых месторождений, так как они имеют обустройство и технически могут эксплуатироваться. Кроме того, стоимость РИР кратно ниже бурения новых скважин.

В то же время существующие в настоящее время технологии РИР и ОВП, в частности, использование дисперсных тампонажных составов на основе цемента, обладают низкой эффективностью. Этим составам свойственны невысокая седиментационная устойчивость и высокая вязкость; они легко разделяются на фазы, взаимодействуют с пластовыми жидкостями, газами и горными породами с ухудшением своих характеристик.

Многочисленное повторение тампонирования скважин с нарушениями эксплуатационных колонн до достижения герметичности даже с учётом доступности, низкой цены и простоты использования во многих случаях делает применение минеральных тампонажных материалов экономически нецелесообразным.

Наличие каналов в зацементированном межколонном пространстве крепи скважин яв-

ляется также ключевой причиной межколонных проявлений в нефтегазовых скважинах. Наличие высокого межколонного давления (далее – МКД), обусловленного заколонными перетоками ПФ и ВГС с дальнейшим их прорывом к устью скважины, может привести к осложнению, имеющему широкое распространение в мировой практике эксплуатации скважин, – угрозе разгерметизации устьевого оборудования и нарушению целостности ОК, что, в свою очередь, может привести к грифонообразованию, неуправляемому фонтану, возникновению техногенных залежей. Особую актуальность проблема МКД приобретает на месторождениях с высоким газовым фактором, ПФ которых содержит агрессивный и токсичный сероводород. Причём потенциально опасным можно считать МКД на любых скважинах, находящихся в эксплуатации, консервации, а также наблюдательных, нагнетательных или ликвидированных.

Не менее серьёзной проблемой, влияющей на косвенные затраты добычи нефти и газа, является физическая ликвидация скважин (далее – ФЛС). Согласно Правилам ликвидации и консервации объектов недропользования¹, ФЛС должна обеспечить надёжную изоляцию газонефтеводяных пластов друг от друга и от дневной поверхности, предупреждающую перетоки как по внутреннему пространству ЭК, так и по заколонным и межколонным пространствам, а также грифонообразование вокруг устья скважины.

При ФЛС установка цементных мостов внутри ЭК является не только обязательной процедурой, но в ряде случаев и основным способом обеспечения изоляции скважины от внешней среды. Однако мировая практика показывает, что при ФЛС установка ЦМ внутри ЭК без её вырезания на дефектных участках ЭК и заколонного пространства недостаточно эффективна, т.к. заколонный переток ВГС сквозь нарушения ЦК, особенно на контакте «металл – цемент», может происходить и после ФЛС на протяжении многих лет. Под действием газа и минерализованных пластовых вод происходят разрушение ЦМ и заколонного ЦК, коррозия ОК и устьевого оборудования. Перетоки как по внутреннему пространству ЭК, так и по заколонным и межколонным пространствам может привести к грифонообразованию вокруг устья скважины. Переликвидация негерметичности на уже ликвидированной скважине возможна через десятки лет после прекращения её функционирования. Особенно это касается скважин 1-й и 2-й категорий опасности: сероводородсодержащие скважины и скважины

¹ Правила ликвидации и консервации объектов недропользования. Совместный приказ Министра по инвестициям и развитию Республики Казахстан от 27 февраля 2015 года № 200 и Министра энергетики Республики Казахстан от 27 февраля 2015 года № 155. <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V1500011499>.

с аномально высоким пластовым давлением, а также скважины с повышенным пластовым давлением и газовые скважины.

Материалы и методы

Для надёжной ликвидации скважин, устранения высокого МКД и проведения РИР на скважинах с неудовлетворительным техническим состоянием компания Wellbore Integrity Solutions² (далее – WIS) предлагает прогрессивную технологию на основе ProMILL™ (Trip-saving milling and underreaming system – система фрезерования и расширения за один рейс) [2, 3].

Система фрезерования и расширения ProMILL включает в себя узел мостовой пробки (Optional Bridge Plug), коническую фрезу (Taper Mill), секцию фреза (Section Mill) и расширитель с высоким передаточным числом (PMUR – ProMILL Underreamer) в одном решении (рис. 2).

Система ProMILL – это технология фрезерования ЭК и законченного ЦК до породы с последующей очисткой ствола скважины и установки надёжного бетонного барьера (тампонажного раствора с необходимыми реологическими свойствами) от породы к породе. ProMILL объединяет несколько операций в один спуск для максимальной эффективности работы.



Рисунок 2. Система ProMILL
Figure 2. ProMILL system

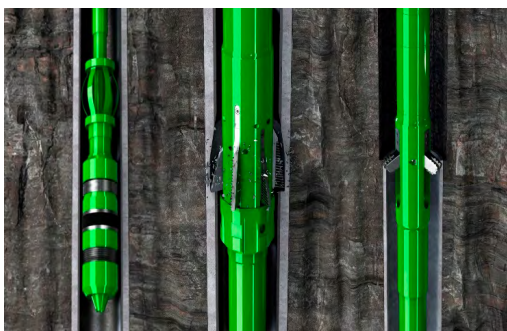


Рисунок 3. Система ProMILL
Figure 3. ProMILL system

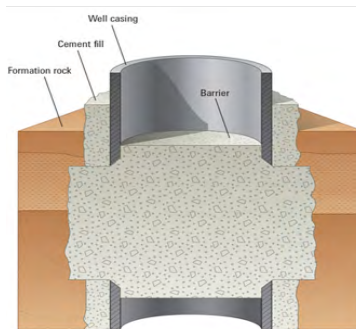


Рисунок 4. Установка цементного моста
на готовом месте скважины
Figure 4. Cement plug set in place at the wellbore

² **Wellbore Integrity Solutions**, Houston, USA – общепризнанный мировой лидер по оказанию услуг по улучшению, поддержанию и восстановлению технического состояния целостности скважины с этапа строительства до её ликвидации путём разработки и модификации необходимых для этого технологий, оборудования и инструментов. При этом под целостностью скважины подразумевается безопасная и эффективная добыча ГФ через ствол скважины и предотвращение нежелательного потока флюидов внутри или снаружи ОК.

WIS специализируется на предоставлении широкого набора передовых технологий, оборудования, инструментов и инженерных услуг, направленных на продление жизненного цикла нефтяных, газовых и геотермальных скважин.

После приобретения бизнеса Fishing and Remedial (Red Baron), DRILCO и Thomas Tools у Schlumberger с 2020 г. WIS работает как полностью независимая компания, со штаб-квартирой в г. Хьюстон, США. При этом сделка о передаче бизнеса включала в себя переход интеллектуальной собственности, технологий и торговых марок, а также соответствующие производственные активы, инженерные и научно-исследовательские центры.

WIS сфокусирована на поставку качественных технологий, продукции и услуг, включающих в себя:

- ликвидацию скважин и МКД, а также ремонтно-изоляционные работы с применением эффективной системы ProMILL и инновационной технологии диагностики негерметичности скважин FiberLine Intervention;
- внутрискважинную обработку, очистку и восстановление скважин, в т.ч. путем ЗБС;
- устранение сложных аварий скважин при бурении и КРС (в т.ч. аренда «ловильных корзин»);
- инспекцию (диагностику) и ремонт буровых труб и НКТ, а также производство инструментов и оборудования в современных производственных цехах, и их аренда;
- оказание инженерных консультационных услуг и другие.

WIS ведёт производственную деятельность в 6 регионах мира (Северная и Латинская Америка, Европа, Западная и Восточная Африка, Россия и Каспийский регион, Ближний Восток, Северная Африка и Индия, Юго-Восточная Азия и Австралия) и в более чем 25 странах.

Филиал компании – Wellbore Integrity Solutions Kazakhstan LLP – имеет сервисные центры в гг. Актау и Аксай с производственными цехами и уникальным оборудованием, где трудятся более 60 казахстанских специалистов с соблюдением всех процедур западных производителей оборудования и инструментов. В настоящее время филиал оказывает услуги таким компаниям, как АО НК «КазМунайГаз», ТОО «Тенгизшевройл», Карагачанак Петролеум Оперейтинг Б.В., North Caspian Operating Company, Шлюмберге Лоджелко ИНК, Korea National Oil Corporation Kazakhstan, Magnetic Oil Ltd., Dunga Operating GmbH и др.

wellboreintegrity.com.

wellboreintegrity.ru

Секция фрезы (Section Mill) предназначена для сплошного фрезерования участка ЭК по всему диаметру в любом интервале ствола скважины, а расширитель PMUR служит для очистки (разрушения и удаления) ЦК за колонной (рис. 3, табл. 1).

Таблица 1. Спецификация системы ProMill

Table 1. ProMill System Specifications

Серия инструмента Tool series	5500	8000	11700
Размер трубы, дюйм Casing sizes, in.	8 ^{5/8} ; 7; 6 ^{5/8}	10 ^{3/4} ; 9 ^{5/8}	16; 14; 13 ^{3/8}
Размер после расширения, дюйм Underreamed sizes, in.	13 ^{1/2} ; 9 ^{3/4} ; 9	20, 17 ^{1/2} ; 15; 13 ^{1/2}	22; 20
Размер скребка расширителя, дюйм Underreaming arm size, in.	12 ^{1/8} ; 8 ^{1/2}	18 ^{5/8} ; 17 ^{1/2} ; 12 ^{1/4}	-

Таким образом система ProMILL устраняет все потенциальные пути утечки ПФ и ВГС, включая каналы, микротрещины и глинистые корки, подготавливая чистое основание для бетонного барьера (рис. 4).

После разбуривания бетонного барьера можно, например, установить металлические заплатки, расширяемые на скважине при помощи раздуваемого пакера, или спустить фильтр

для эксплуатации неустойчивых по литологии продуктивных горизонтов (после отсечения водопритока). В качестве альтернативы тампонажным составам на основе цемента могут быть использованы специальные затвердевающие составы, синтетические смолы и др. [4, 5].

Компанией WIS также успешно применяется инновационное эффективное решение ProMILL Duo™ (Dual casing section milling system – система фрезерования через две колонны), которое позволяет фрезеровать сразу две ОК (рис. 5) [2, 3].

ProMILL Duo включает в себя узел мостовой пробки (Bridge Plug), коническую фрезу (Taper Mill), модуль активной стабилизации (Active Stabilization Module), секцию фрезы с высоким коэффициентом расширения (High Expansion Ratio Section Mill) и расширитель Underreamer (PMUR). Высокая степень расширения секции фрезы ProMILL Duo позволяет ей проходить через внутреннюю ОК во втянутом состоянии и при срабатывании раскрываться на больший диаметр для фрезерования наружной ОК с муфтой. Модуль активной стабилизации оптимизирует динамические характеристики и сводит к минимуму вибрацию конструкции низа буровой колонны (далее – КНБК). Расширение скважины для создания барьера «порода к породе» осуществляется с помощью PMUR (рис. 6).



Рисунок 5. Система ProMILL Duo

Figure 5. ProMILL Duo system

Выдвижение в рабочее положение лопастей ProMILL (ProMILL Duo) с режущими элементами WavEdge и TruEdge, армированных высококачественным композиционным материалом, осуществляется под действием перепада давления жидкости в корпусе фрезы. Элементы WavEdge и TruEdge являются результатом детального научно-исследовательского проекта, лабораторных и полевых испытаний и обеспечивают долговечность, высокую скорость фрезерования, превосходные качества очистки ствола скважины и возможность эффективного выполнения фрезерования через двойную ОК. В комплект входит обратный клапан, предотвращающий забивание шламом инструмента во время СПО.

Обсуждение

По сравнению с существующими способами РИР, ликвидации скважин и МКД

система ProMILL (ProMILL Duo) имеет следующие преимущества:

- бетонный барьер обеспечивает надёжную изоляцию от породы к породе, т.е. устраняет пути миграции и перетоки ВГС в заколонном пространстве и цементном стекле в области забоя, а также потери герметичности ОК;
- выполнение операций за один рейс сокращает время проведения работ (экономит время работы станка КРС и обеспечивает высокую производительность);
- обеспечивает эффективную изоляцию продуктивного пласта от жидкости и газа других пластов (когда пластовые воды непосредственно подстилают продуктивный горизонт) от проницаемых пород и дневной поверхности, а также ниже лежащих горизонтов в случае резки бокового ствола (далее – ЗБС);
- предотвращает переток пластовых и закачиваемых жидкостей из пласта в пласт

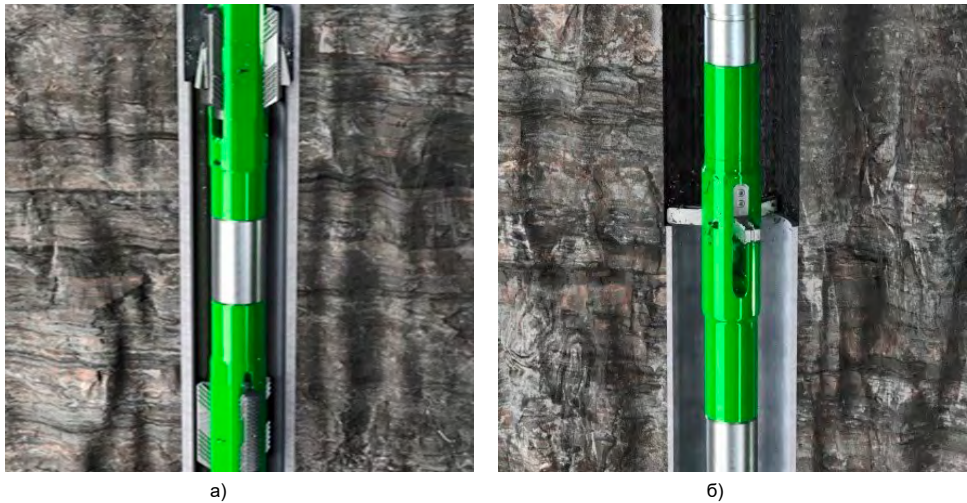


Рисунок 6. Система ProMILL Duo
Figure 6. ProMILL Duo system

а) фрез с увеличенным выходом и гидравлический стабилизатор / Extended output cutters and hydraulic stabilizer ;
б) барьер от породы к породе с помощью PMUR / Rock-to-rock barrier using PMUR

Фрез с увеличенным выходом и гидравлический стабилизатор обеспечивают эффективную систему фрезерования через двойную колонну. Создание барьера от породы к породе обеспечивается с помощью PMUR.
The extended reach Section Mill and hydraulic Stabilizer provides an efficient milling system in dual casing abandonment applications. A rock-to-rock barrier is enabled by using the PMUR.

- или в водоносный пласт и выхода их на поверхность, когда необходимость проведения работ в первую очередь диктуется требованиями охраны недр и окружающей среды;
- позволяет отключить выработанные интервалы пласта или определённые пласты, если одновременно ведётся добыча из нескольких пластов;
 - обеспечивает изоляцию нижележащих горизонтов в нагнетательных скважинах с целью организации ППД в необходимый пласт;
 - повышает надёжность ликвидации скважин (достигается 100% успешность);
 - достигается высокая эффективность ликвидации МКД;
 - незаменим в сложных случаях, когда другие способы РИР оказываются бессильными решить проблемы восстановления целостности и герметичности ЭК и ЦК, устранения заколонного перетока жидкости, или же экономический расчёт показывает их неэффективность;

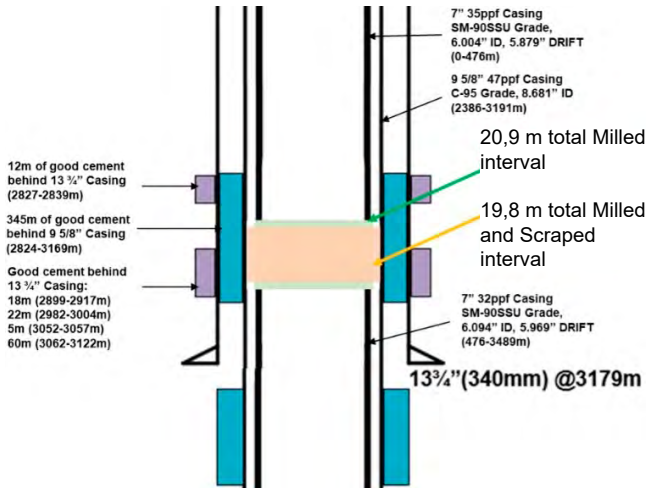


Рисунок 7. Схема фрезерования и расширения окна
Figure 7. Section Milled & Underreamed window schematic

– увеличивается межремонтный период работы скважин и исключаются затраты на многократные РИР.

Работы с применением системы ProMILL в каждом отдельном случае проводится с учётом многих показателей: геолого-физических особенностей продуктивного пласта или пласта-обводнителя, протяжённости участка, наклона скважины, гидродинамических условий, существующего опыта проведения РИР на данном месторождении, оснащённости техникой и материалами КРС компании и т.д. Повысить эффект от использования технологий ProMILL можно путём применения комплексного подхода к проведению работ при подборе скважин-кандидатов. Проектирование и выполнение работ осуществляются высококвалифицированными специалистами WIS, имеющими многолетний практический опыт проведения соответствующих работ.

Заключение

В 2024 г. впервые в Казахстане успешно была проведена работа по ликвидации нефтяной скважины с надёжным устранением негерметичности межколонного пространства путём установки ЦМ. Для выполнения данной работы компания WIS использовала систему

ProMILL, позволяющую выполнить все операции за один рейс, объединяющую секцию фрезы 5500 K-Mill с ножами, оснащёнными передовой технологией TruEdge™, и 5500 High-Ratio Underreamer (далее – HRU) со специально разработанными скребками, армированными высококачественным композиционным материалом [6].

Предварительно был проведён комплексный гидравлический анализ для определения оптимальных параметров потока промывочной жидкости для эффективной работы инструмента и улучшенного удаления стружки и шлама для каждого этапа выполнения ProMILL, включая вырезку, фрезерование и расширение HRU.

На этапе фрезерования был успешно отфрезерован участок длиной 20,9 м высокопрочной, устойчивой к сероводороду обсадной колонны диаметром 7" (177,8 мм) со средней скоростью проходки 0,31 м/ч. После активации расширителя с высоким передаточным числом HRU общий интервал фрезерования и удаления ЦК внутри ОК 95/8" достиг 19,8 м – и всё это за один рейс. Износ ножей K-Mill составил 16%, что подчеркивает исключительную долговечность запатентованной технологии пластин TruEdge от WIS даже после 67,3 ч непрерывного фрезерования.

ДОПОЛНИТЕЛЬНО

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределён следующим образом: Ермеков М. – сбор материалов и написание статьи, анализ результатов обзора и полученных данных, структурирование материала; Мустафин Т. – проверка и редактирование глав материала, методы и заключение, администрирование и курирование проекта.

ADDITIONAL INFORMATION

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Authors' contribution. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work. The greatest contribution is distributed as follows: Milat Yermekov – collecting materials and writing the article, analysing of the review results and the received data, structuring the material; Timur Mustafin – checking and editing the chapter of materials, methods and conclusion, administering and curating of the project.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Chukwuemeka A.O., Oluyetia G., Mohammed A.I., Njuguna J. Plug and abandonment of oil and gas wells – A comprehensive review of regulations, practices, and related impact of materials selection // *Geoenergy Science and Engineering*. 2023. Vol. 226. doi: [10.1016/j.geoen.2023.211718](https://doi.org/10.1016/j.geoen.2023.211718).
2. wellboreintegrity.com [интернет]. ProMILL™ Milling and Underreaming System WIS. Дата обращения: 12.02.2025. Доступ по ссылке: <https://www.wellboreintegrity.com>.
3. wellboreintegrity.com [интернет]. Well Abandonment & Slot Recovery Systems, 2024. Дата обращения: 12.02.2025. Доступ по ссылке: <https://www.wellboreintegrity.com/RedBaron>.

4. blog.wellcem.com [интернет]. Plug and abandonment of oil and gas wells: Different materials, 2017. Дата обращения: 17.02.2025. Доступ по ссылке: <https://www.blog.wellcem.com>.
5. wellboreintegrity.com [интернет]. Sustained Casing Pressure Brochure. Дата обращения: 17.02.2025. Доступ по ссылке: <https://www.wellboreintegrity.com/RedBaron>.
6. wellboreintegrity.com [интернет]. Expanding into New Regions: Successful Execution of the First ProMILL™ Job in Central Asia – Kazakhstan Onshore. Дата обращения: 20.02.2025. Доступ по ссылке: <https://www.wellboreintegrity.com>.

REFERENCES

1. Chukwuemeka AO, Oluymia G, Mohammed AI, Njuguna J. Plug and abandonment of oil and gas wells – A comprehensive review of regulations, practices, and related impact of materials selection. *Geoenergy Science and Engineering*. 2023;226:211718. doi: [10.1016/j.geoen.2023.211718](https://doi.org/10.1016/j.geoen.2023.211718).
2. wellboreintegrity.com [Internet]. ProMILL™ Milling and Underreaming System WIS [cited 2025 Feb 12]. Available from: <https://www.wellboreintegrity.com>.
3. wellboreintegrity.com [Internet]. Well Abandonment & Slot Recovery Systems, 2024 [cited 2025 Feb 12]. Available from: <https://www.wellboreintegrity.com/RedBaron>.
4. blog.wellcem.com [Internet]. Plug and abandonment of oil and gas wells: Different materials, 2017 [cited 2025 Feb 17]. Available from: <https://www.blog.wellcem.com>.
5. wellboreintegrity.com [Internet]. Sustained Casing Pressure Brochure [cited 2025 Feb 17]. Available from: <https://www.wellboreintegrity.com/RedBaron>.
6. wellboreintegrity.com [Internet]. Expanding into New Regions: Successful Execution of the First ProMILL™ Job in Central Asia – Kazakhstan Onshore [cited 2025 Feb 20]. Available from: <https://www.wellboreintegrity.com>.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Ермеков Милат

докт. техн. наук

ORCID [0009-0003-1106-2514](https://orcid.org/0009-0003-1106-2514)

e-mail: milbor090@gmail.com.

Мустафин Тимур

ORCID [0009-0003-4105-3328](https://orcid.org/0009-0003-4105-3328)

e-mail: timur.mustafin@wellboreintegrity.com.

AUTHORS' INFO

*Milat Yermekov

Doct. Sc. (Engineering)

ORCID [0009-0003-1106-2514](https://orcid.org/0009-0003-1106-2514)

e-mail: milbor090@gmail.com.

Timur Mustafin

ORCID [0009-0003-4105-3328](https://orcid.org/0009-0003-4105-3328)

e-mail: timur.mustafin@wellboreintegrity.com.

*Автор, ответственный за переписку/Corresponding Author