

Закупоривание трещин: успехи в разработке материалов для борьбы с поглощением бурового раствора

Сантьяго Пабло Баггини Альмагро
Неукен, Аргентина

Клифф Фрейтс
Dorado E&P Partners,
Денвер, штат Колорадо, США

Джереми Гаранд
Талса, штат Оклахома, США

Арно Мейер
Кламар, Франция

Нефтегазовое обозрение, Сборник III: избранные статьи
из журнала «Oilfield Review», том 26, № 1 (весна 2014 г.);
том 26, № 3 (осень 2014 г.).

Copyright © 2015 Schlumberger.

Данная статья является русским переводом статьи
“Sealing Fractures: Advances in Lost Circulation Control
Treatments,” *Oilfield Review*, Autumn 2014: 26, no. 3.

Copyright © 2014 Schlumberger.

Существует множество методов борьбы с поглощением (потерей циркуляции) бурового раствора, но многие из них слишком затратны и неэффективны. Успехи технологий, основанных на применении волокнистых закупоривающих материалов, привели к созданию быстрых и эффективных способов восстановления циркуляции, которые в настоящее время базируются на использовании саморазлагающихся волокон. Новые материалы обеспечивают устойчивое закупоривание трещин и защиту пласта во время бурения. Через определённое время пробки разрушаются, открывая сохранённый от повреждений пласт для добычи.

Снижение или полная потеря циркуляции бурового раствора может поставить под угрозу выполнение всего проекта строительства скважины. Потеря циркуляции — не столь редкое явление, способное привести к целому ряду нежелательных последствий: от увеличения затрат на строительство скважины до потери устойчивости ствола. В большинстве случаев потеря циркуляции возникает при проходке трещиноватых, кавернозных или высокопроницаемых пластов, а также пластов с пластовым давлением ниже гидростатического. При проходке зон поглощения (зон потери циркуляции) может произойти потеря управления скважиной, так как в зонах поглощения буровой раствор уходит в пласт и не выходит на устье скважины.

Потеря циркуляции может иметь большие экономические последствия. На непродуцируемые затраты времени, связанные с ликвидацией поглощения бурового раствора, предприятия закладывают в бюджет строительства скважин от 10 до 20% стоимости бурения. Кроме того, неконтролируемое поглощение бурового раствора пластом может привести к ухудшению коллекторских свойств пласта, негативно повлиять на характеристики пласта и на его продуктивный потенциал.¹

Первое применение специального бурового раствора вместо простой воды при вращательном бурении скважины было документально зафиксировано примерно в 1901 году в Спиндлтопе, штат Техас, США. При проведении этих буровых работ буровой раствор закачивали в скважину из вырытых в грунте растворных амбаров. Никаких упоминаний о свойствах первого глинистого раствора найти не удалось, в публикациях отсутствуют какие-либо обсуждения или информация о нём. Термин «mud» (по-английски — «буровой раствор», буквально, — «глина, земля») вновь появился 13 лет спустя. Так называли глинистый раствор, — смесь воды и любого глинистого материала, находящегося в воде во взвешенном состоянии достаточно долгое время, — который использовали при ударно-канатном бурении в штате Оклахома, США.²

История первого применения материалов для борьбы с поглощением бурового раствора остаётся такой же туманной, как и история первых буровых растворов. Для закупоривания трещин в трещиноватом пласте может использоваться любой твёрдый материал, когда он находится под достаточным давлением и имеет нужный гранулометрический состав и свойства. Останется ли закупориваю-

1. Cook J, Growcock F, Guo Q, Hodder M and van Oort E: “Stabilizing the Wellbore to Prevent Lost Circulation,” *Oilfield Review* 23, no. 4 (Winter 2011/2012): 26–35. В русском переводе: Д. Кук, Ф. Гроукок, Цюань Го, М. Ходдер и Э. ван Орт: «Повышение устойчивости ствола скважины для предупреждения и ликвидации поглощения бурового раствора», *Нефтегазовое обозрение*, том 23, № 4 (зима 2011 — 2012 гг.): 36–49.
2. “Petroleum Engineering Technology Timeline,” *Society of Petroleum Engineers*, <http://www.spe.org/industry/history/timeline.php> (ссылка проверена 10 июня 2014 г.).
3. Messenger J: “Technique for Controlling Lost Circulation,” US Patent No. 3,724,564 (November 12, 1971).
4. Loeppke GE, Glowka DA and Wright EK: “Design and Evaluation of Lost-Circulation Materials for Severe Environments,” *Journal of Petroleum Technology* 42, no. 3 (March 1990): 328–337.
5. Пачка — это относительно малое количество (обычно не более 32 м³ (200 барр.)) особой смеси бурового раствора, предназначенной для выполнения задачи, на которую не рассчитан обычный буровой раствор.
6. Jain B, Khattak MA, Mesa AM, Al Kalbani S, Meyer A, Aghbari S, Al-Salti A, Hennette B, Khaldi M, Al-Yaqoubi A and Al-Sharji H: “Successful Implementation of Engineered Fiber Based Loss Circulation Control Solution to Effectively Cure Losses While Drilling, Cementing and Work Over Operations in Oman,” paper

SPE 166529, presented at the SPE Annual Technical Conference and Exhibition, New Orleans, September 30–October 2, 2013.

7. Подробнее об укреплении ствола скважины см.: Cook et al, сноска 1.

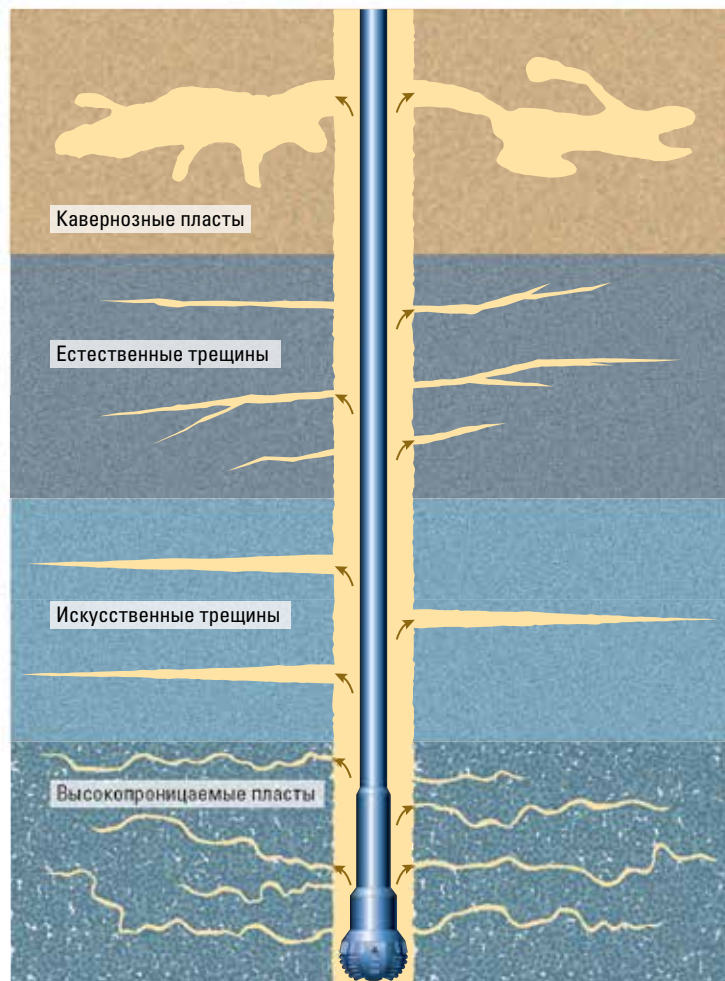
8. Ghalambor A, Salehi S, Shahri MP and Karimi M: “Integrated Workflow for Lost Circulation Prediction,” paper SPE 168123, presented at the SPE International Symposium and Exhibition on Formation Damage Control, Lafayette, Louisiana, USA, February 26–28, 2014.

щий материал на месте после возобновления вращения колонны и циркуляции бурового раствора и сможет ли такой материал выдерживать вибрации и перепады давления — это вопросы другого рода. Первые материалы для борьбы с поглощением бурового раствора зачастую выбирали исходя из их доступности и дешевизны в местах проведения буровых работ. Такими материалами были шелуха семян хлопчатника, обрезки кожи, опилки, солома, молотая скорлупа грецких орехов.³ Часто материалы для борьбы с поглощением получали из остатков или отходов промышленного производства. В настоящее время из-за возросшего уровня сложности буровых работ возникла потребность в разработке материалов для борьбы с поглощением, обладающих заданными свойствами.⁴

Выбор метода борьбы с поглощением бурового раствора диктуется характеристиками пласта. Для правильного подбора материалов необходимо изучить пласт, а также определить тип поглощения и его причину. Например, методы борьбы с поглощением бурового раствора в трещинных породах отличаются от методов, применяющихся в пористых пластах и пластах, работающих в режиме истощения. Кроме того, выбор подходящих методов борьбы с поглощением ограничивается температурой в скважине и временем воздействия.

Обычно для восстановления циркуляции в трещиноватых пластах применяются закупоривающие материалы, которые добавляются в буровой раствор. При этом они могут быть полностью диспергированы в буровом растворе, либо могут находиться в нём в виде пакки.⁵ Эти методы восстановления циркуляции нацелены на закупоривание трещин. Однако, несмотря на определённую эффективность применения твёрдых материалов с заданным гранулометрическим составом, они не могут обеспечить полную ликвидацию поглощений бурового раствора, особенно в породах с широкими трещинами. Так как часто толщина трещин неизвестна, это может привести к неправильному выбору гранулометрического состава материала. Если размер частиц слишком мал, они будут свободно проходить через трещины; если размер слишком велик, частицы не смогут пройти внутрь трещин. В любом случае, неправильный выбор материала не позволит остановить поглощение бурового раствора.⁶

По сравнению с первыми опытами применения буровых растворов в Спиндлтоп, технология бурения ушла далеко вперед. Сейчас бурение стало намного более экономически



эффективным и безопасным. По мере разбуривания всё более удаленных и сложных залежей растёт и потребность в повышении характеристик современных буровых растворов и совершенствовании технологий для обеспечения устойчивости ствола скважин. Для решения этих задач продолжается разработка новых решений, нацеленных на укрепление ствола скважин, сдерживающих распространение искусственных трещин и предотвращающих неконтролируемую потерю циркуляции.⁷

В настоящей статье представлены несколько методов борьбы с поглощением бурового раствора, рассмотрены практические примеры применения таких методов. Рассматриваемые методы могут быть адаптированы к самым разнообразным условиям. Они могут применяться в коллекторах с естественной трещиноватостью, в истощенных коллекторах, в карбонатах и иных породах, подверженных поглощению бурового раствора.

Куда ушел раствор? Что делать?

Обычно потеря циркуляции бурового раствора происходит из-за нарушения равенства давлений и наличия каналов, по которым буровой раствор уходит в пласт. Нарушение равенства давлений может быть вызвано определёнными условиями бурения. Основное условие, при котором начинается поглощение бурового раствора, — его слишком высокий удельный вес, когда создаваемое столбом бурового раствора гидростатическое давление превышает пластовое давление. Это вызывает образование трещин, по которым уходит раствор.⁸ Буровой раствор может уходить в пласт по кавернам, трещинам и через слабосцементированные породы.

Для безопасной проходки неустойчивых интервалов, интервалов с низким пластовым давлением или интервалов с естественной трещиноватостью (зон риска) их необходимо выявить, по возможности, до начала бурения. В некоторых типах пород зоны риска труднее поддаются картированию, чем в других. Например, высокая степень неоднородности

Тип поглощения	Интенсивность поглощения
Просачивание	Менее 1,6 м³/ч (10 барр./ч)
Частичное поглощение	1,6 – 16 м³/ч (10 – 100 барр./ч)
Интенсивное поглощение	Более 16 м³/ч
Полное поглощение	Полное отсутствие раствора на устье

Рис. 1. Классификация поглощений бурового раствора. — Классификация основана на интенсивности поглощения бурового раствора.

карбонатных пород осложняет задачу определения характеристик пласта-коллектора. Карбонатные породы особенно склонны к растворению. Из-за этого образуются новые поры, а растворение пород вдоль трещин и плоскостей напластования приводит к образованию крупных каверн.⁹ Чтобы подготовить план профилактических и корректирующих мероприятий, при определении типов пород необходимо опираться на полученные данные. Наиболее эффективной мерой является установка в проблемных интервалах защитной обсадной колонны, однако это решение увеличивает затраты, ограничивает возможность бурения и проведения каротажных исследований.

Потери циркуляции можно разделить на четыре категории в зависимости от объёмов поглощения: просачивание, частичное поглощение, интенсивное поглощение и полное

поглощение (рис. 1).¹⁰ По мере увеличения интенсивности поглощения бурового раствора растут и финансовые убытки из-за дополнительных затрат на приготовление бурового раствора, на проведение мероприятий по борьбе с поглощениями, а также из-за увеличения продолжительности работы буровой установки и различных задержек.¹¹

Выбор метода борьбы с поглощением бурового зависит от того, когда он будет применяться: до или после поглощения. При ликвидации поглощения может применяться четырехуровневый подход (рис. 2). На предотвращение основных типов поглощений направлены мероприятия, составляющие передовой опыт буровых работ. Они включают предшествующие бурению моделирование и расчёты, в которых геомеханические модели используются для определения уровня риска поглощений бурового раствора и обрушения

стенок скважины. В передовой опыт буровых работ в части ликвидации поглощений также входит применение расширяемых обсадных колонн, технология бурения с управляемым давлением и спуск обсадной колонны во время бурения. Мероприятия второго уровня представляют собой подбор буровых растворов с определёнными реологическими характеристиками, нацеленными на снижение риска поглощения бурового раствора. В операциях следующего уровня применяются материалы для укрепления стенок скважины. Это смеси твёрдых частиц, состав и размер которых подобраны так, чтобы частицы могли войти в трещины и перекрыть их, изолировав от ствола скважины. На самом верхнем уровне — использование закупоривающих материалов в качестве средств борьбы с уже идущим поглощением бурового раствора. На данном уровне могут применяться пакки специальных растворов, закачиваемые в зоны поглощения.

Если ожидается поглощение раствора, бурильщик добавляет в буровой раствор специальные материалы для укрепления стенок скважины. Это может быть молотый мрамор или синтетический графит. Опрессовки, которые проводятся до и после добавления материалов для укрепления стенок скважины, часто показывают положительный результат.¹² Добавление материалов для укрепления стенок скважины считается профилактической мерой. С другой стороны, применение экраняющих наполнителей считается корректирующей мерой, так как обычно такие материалы добавляют в буровой раствор уже после того, как происходит поглощение.

Достижения в технологии борьбы с поглощением бурового раствора

Предотвращение и ликвидация последствий поглощения — важные условия для обеспечения экономической эффективности бурения. Если поглощение раствора невозможно предотвратить, для восстановления циркуляции и контроля над скважиной бурильщик должен принять меры по ликвидации последствий поглощения.

Выбор конкретного средства ликвидации последствий поглощения зависит от свойств геологической формации, от причины потери циркуляции, а так же от того, является ли выбранное решение временным или постоянным. Выбор практических методов предотвращения и ликвидации последствий поглощения, в основном, диктуется самой ситуацией. Необходимо принять во внимание такие параметры, как пластовое давление, тип пласта,

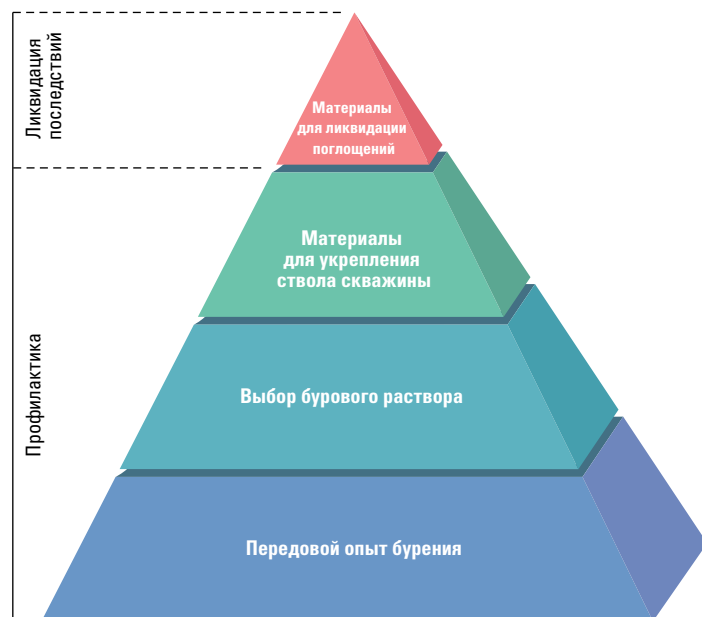


Рис. 2. Программа управления мероприятиями по ликвидации поглощений бурового раствора. — Некоторые специалисты предлагают бороться с поглощениями с помощью многоуровневого подхода. На трёх нижних уровнях сосредоточены профилактические мероприятия, а на верхнем уровне — меры по ликвидации последствий.

параметры бурового раствора, требования местного природоохранного законодательства и наличие закупоривающих материалов.

Сервисные компании предлагают широкий ассортимент материалов для борьбы с поглощением: они могут быть хлопьевидные, гранулированные, волокнистые или кислоторастворимые. Размер частиц варьируется от нескольких нанометров до нескольких миллиметров. Общепринятой практикой является смешивание материалов различных типов для улучшения их перекрывающих и закупоривающих свойств. Многие сервисные компании предлагают материалы на основе натурального целлюлозного волокна, измельченного кедрового волокна и минерального волокна, часто в сочетании с твердыми частицами различного размера. Одним из примеров является закупоривающий материал BARO-SEAL производства компании Halliburton, состоящий из различных волокон, гранул и хлопьев, размер которых подобран для закупоривания естественных трещин. Кроме того, компания предлагает материал BAROFIBRE, состоящий из натурального целлюлозного волокна и используемый для закупоривания и перекрытия трещин в истощенных песках и микротрещин для сокращения просачивания бурового раствора. Материал BAKER SQUEEZ производства компании Baker Hughes, предназначенный для борьбы с поглощением бурового раствора в интервале от частичного до интенсивного, обеспечивает дренирование воды и формирование твердой пробки в трещинах и пустотах.

Инженеры компании Schlumberger разработали несколько материалов на основе волокон, включая семейство материалов Losseal на основе пачек усиленной композитной сетки, а также материалы CemNET и PressureNET. Несмотря на обилие альтернатив и широкий ассортимент материалов, предлагаемых различными компаниями, предпочтительными решениями всегда будут оставаться те из них, которые способны решить проблему поглощения экономично, быстро и безопасно, при минимальном уровне риска.¹³

Заполнение пустот

Ученые из компании Schlumberger применили индивидуальный подход к проблеме поглощения. В качестве устойчивых средств борьбы с поглощениями были разработаны материалы на основе искусственных волокон с заданными свойствами, а также на основе сочетаний волокон и твердых частиц. Эти материалы обеспечивают ликвидацию последствий поглощения

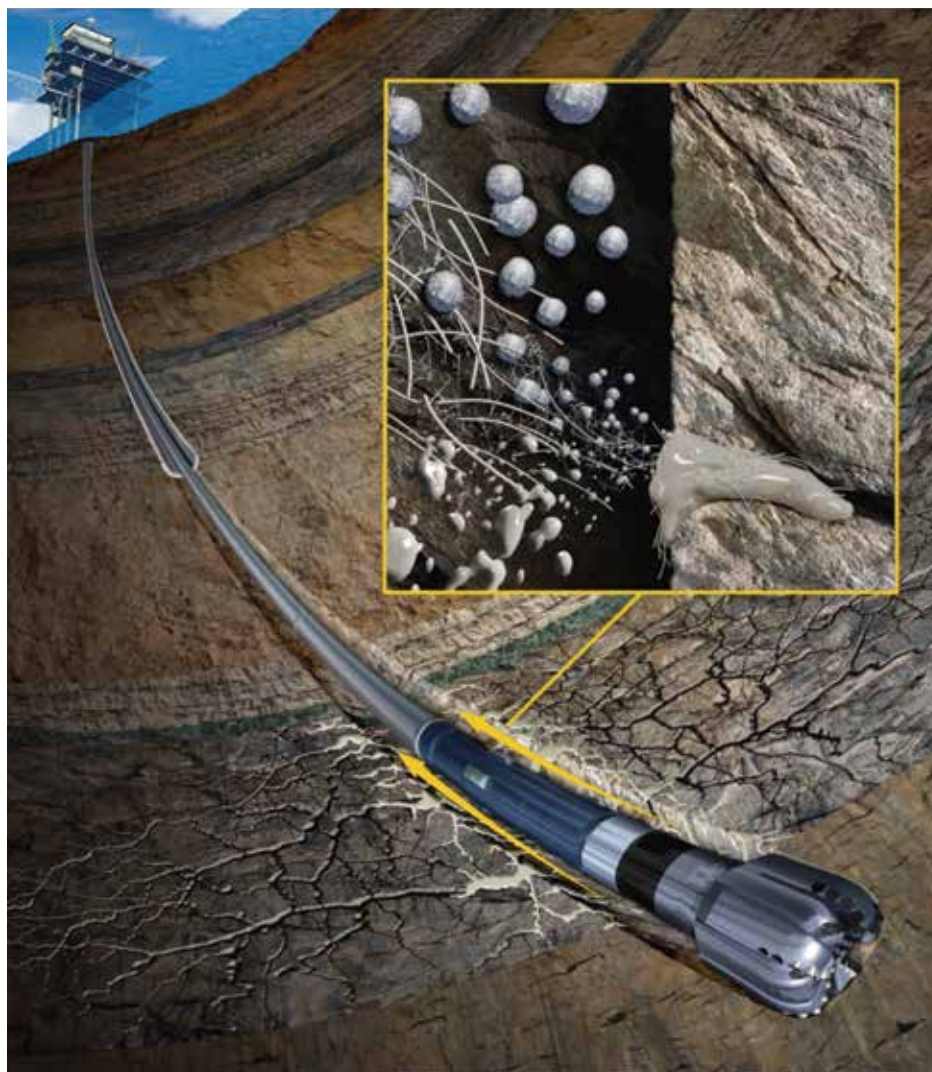


Рис. 3. Пачка раствора с материалом Losseal. — Пачка Losseal, представляющая собой смесь волокон (как жестких, так и гибких) и твердых частиц, закачивается через КНБК для перекрытия трещин. Пробка твердеет всего лишь через 60 минут после замачивания, после чего становится способной закупоривать трещины в пласте. Желтая стрелка показывает движение пачки раствора вверх по затрубью и в трещины пласта. Твердые частицы и волокна (врезка) образуют сетку, которая заполняет и герметизирует трещины пласта.

ний буровых и цементных растворов в самых разнообразных условиях, включая пласты с естественной трещиноватостью, карбонатные зоны, зоны обломочных россыпей и зоны с пониженным пластовым давлением. Материалы могут доставляться на нужную глубину без подъема колонны из скважины. Это позволяет сократить непроизводительные затраты времени и сопутствующие затраты.

Обработка пачкой раствора с волокнами — Материалы семейства Losseal на основе усиленной композитной сетки состоят из смеси волокон и твердых частиц, перекрывающих и экранирующих зоны трещиноватости во время бурения и цементирования (рис. 3). Семейство Losseal

9. Akbar M, Vissapragada B, Alghamdi AH, Allen D, Herron M, Carnegie A, Dutta D, Olesen J-R, Chourasiya RD, Logan D, Stief D, Netherwood R, Russell SD and Saxena K: "A Snapshot of Carbonate Reservoir Evaluation," *Oilfield Review* 12, no. 4 (Winter 2000/2001): 20–41.
10. Cook et al, ссылка 1.
11. Arshad U, Jain B, Pardawalla H, Gupta N and Meyer A: "Engineered Fiber-Based Loss Circulation Control Pills to Successfully Combat Severe Loss Circulation Challenges During Drilling and Casing Cementing in Northern Pakistan," paper SPE 169343, presented at the SPE Latin American and Caribbean Petroleum Engineering Conference, Maracaibo, Venezuela, May 21–23, 2014.
12. Wang H, Sweatman R, Engelman B, Deeg W, Whitfill D, Soliman M and Towler BF: "Best Practice in Understanding and Managing Lost Circulation Challenges," *SPE Drilling & Completion* 23, no. 2 (June 2008): 168–175.
13. Alsaba M, Nygaard R, Hareland G and Contreras O: "Review of Lost Circulation Materials and Treatments with an Updated Classification," paper AADE-14FTCE-25, presented at the American Association of Drilling Engineers Fluids Technical Conference and Exhibition, Houston, April 15–16, 2014.

Степень	Проблема	Материал	Ширина трещины, мм	Скорость поглощения, барр./ч
Во время бурения	Микротрещины, трещины	Материал Losseal для борьбы с поглощением в микротрещинах, в виде пачки	Менее 1	Менее 40
	Естественные трещины	Материал Losseal для борьбы с поглощением в естественных трещинах, в виде пачки	От 1 до 5	Более 40
	Трещины пласта	Материал Losseal для борьбы с поглощением в трещинах пласта, в виде пачки	От 1 до 5	Более 40
Во время цементирования	Все	Материал Losseal для борьбы с поглощением в микротрещинах, в виде буферного раствора	Менее 1	Менее 40
Во время цементирования	Все	Материал Losseal для борьбы с поглощением в естественных трещинах, в виде буферного раствора	От 1 до 5	Более 40

Рис. 4. Применение материалов семейства Losseal. — Семейство Losseal состоит из трёх систем, некоторые из которых могут использоваться в качестве закачиваемой пачки или буферного раствора. Выбор конкретной системы зависит от условий применения.

состоит из материалов трёх видов: для обработки микротрещин и мелких трещин, естественных трещин и трещин в коллекторе (рис. 4). Закупоривание микротрещин и естественных трещин при помощи материалов Losseal первых двух видов происходит в четыре этапа: распределение материала, перекрытие, закупоривание и закрепление. Каждый этап является одинаково важным для достижения оптимального эффекта от применения материала, но в зависимости от применения основное внимание может уделяться одному из четырех этапов. Например, при закачке пачки во время бурения важно сохранить механические свойства материала пробки, сформировавшейся после попадания в трещину, когда бурение будет продолжено. Пробка должна выдерживать эрозию (из-за изменений скоро-

сти подачи и скорости потока), механические воздействия (из-за спуска и вращения колонны), а также гидродинамические воздействия (из-за эффектов поршневого и свабирувания). Однако при применении в качестве буферного раствора при цементировании основное внимание должно уделяться закупориванию трещин, чтобы предотвратить попадание в них цементного раствора. Остаточный объём буферного раствора используется для вытеснения бурового раствора цементным, что и является основной целью применения буферного раствора.

Пачка Losseal формирует прочную непроницаемую сетку, которая останавливает приток бурового и цементного раствора в зоны трещиноватости. Пачка раствора с закупоривающим материалом позволяет герметизировать

микротрещины и более крупные естественные трещины при проходке как вышележащих пород, так и самого пласта-коллектора. В определённой степени пробка способна выдержать дополнительное давление, вызванное увеличением плотности бурового раствора, и будущие операции по бурению или цементированию скважины. Эффективность пачки раствора с материалом Losseal относительно мало зависит от ширины трещины, поэтому данный материал можно использовать и без точного знания характеристик пласта, тогда как для эффективного применения многих других закупоривающих материалов необходимо точно знать ширину трещины. Пачки раствора с материалом Losseal обычно применяются в трещинных коллекторах и в коллекторах с мелкими трещинами шириной от 1 до 5 мм (от 0,04 до 0,2 дюйма). Перед первым применением систем Losseal на скважине можно провести испытание на качество закупоривания трещин.¹⁴ Если условия в зоне поглощения будут оставаться неизменными, дополнительные испытания не потребуются, и на всех этапах выполнения работ можно использовать материал с частицами одного и того же типа.

Обработка микротрещин и трещин — Закупоривающие материалы Losseal предназначены для обработки трещин с шириной от 1 микрометра до 1 мм. Материал совместим с буровыми растворами на углеводородной и водяной основе, его можно добавлять непосредственно в буровой раствор в виде буферной пачки или отдельной пачки. Для простоты приготовления раствора система Losseal поставляется как готовая добавка в одном мешке (рис. 5). В некоторых случаях материал Losseal для обработки микротрещин добавляли к цементным растворам, чтобы поднять высоту подъёма цемента до необходимого уровня.

Пачка раствора для закупоривания естественных трещин — Материал Losseal для закупоривания естественных трещин предназначен для перекрытия и закупоривания крупных трещин шириной от 1 до 5 мм. Преимущество данной системы заключается в том, что материал состоит из двойной комбинации волокон и твёрдого наполнителя, который можно оптимизировать для повышения эффективности. Система может быть адаптирована к конкретным условиям зоны поглощения и режиму закачки, чтобы её характеристики соответствовали целевым требованиям. Для обеспечения надежного закупоривания интервалов пачку можно закачивать через колонну буровых труб с открытым концом. Во избежание преждевременного выпадения



Рис. 5. Материал Losseal для закупоривания микротрещин. — Система Losseal для закупоривания микротрещин состоит из волокон с заданными свойствами (светло-серый цвет) и твёрдого материала-наполнителя (темно-серый цвет).

закупоривающего материала из раствора или преждевременного закупоривания материал можно закачивать через насадки долота. При этом может возникнуть необходимость изменить состав пачки, например, уменьшить общее содержание твёрдых веществ, размер твёрдых частиц и количество волокон. Эффективность закупоривания можно определить при помощи модифицированной установки для исследования фильтрации бурового раствора, в которой также можно моделировать параметры потока при прохождении его через сужения, например, через насадки долота.

Волокна производства компании Schlumberger легко диспергируются в жидкостях, закупоривающее действие обеспечивается путём создания сети взаимно переплетающихся волокон в сочетании с закупоривающим материалом, состоящим из частиц различных размеров. Хорошая дисперсия волокон в жидкости необходима, чтобы предотвратить преждевременное закупоривание наземного и подземного оборудования, а также для более полного заполнения трещин. Пробка из волокон всё ещё проницаема. Непроницаемая пробка, способная выдерживать перепады давления, создаётся добавлением твёрдых частиц, которые попадают в сеть волокон и заполняют собой поровое пространство. После закачки возникает компактная непроницаемая пробка, герметизирующая поры и трещины и позволяющая снизить риск потери циркуляции во время бурения, спуска обсадной колонны и цементирования. Смесь Losseal можно добавлять в буферные растворы между ступенями цементирования. Её можно закачивать перед цементным раствором или добавлять непосредственно в цементный раствор во время закачки.¹⁵ Материал Losseal



Рис. 6. Закачка пачки Losseal. — В начале закачки наблюдается рост плотности раствора (голубая кривая). Увеличение давления (красная кривая) происходит в начале вытеснения, когда волокна Losseal проталкиваются в пласт и начинают перекрывать и закупоривать трещины. Давление падает при снижении скорости закачки (зеленая кривая) и возрастает снова, когда скорость закачки становится постоянной. Это служит подтверждением перекрывающего и закупоривающего действия раствора Losseal. Черная линия соответствует объёму закачки.

позволяет операторам предотвратить потерю циркуляции, восстановить циркуляцию и выполнять спуск обсадных колонн при минимальной интенсивности поглощения, после чего можно закачивать цементный раствор до необходимого уровня подъёма цемента за колонной. Данное решение обеспечивает высокую точность размещения материала в целевом интервале и позволяет снизить интенсивность поглощений более чем на 90%.

Материал Losseal с успехом применялся для обработки естественных трещин на месторождении Костеро (Costero) вблизи Вильяэрмосы, Мексика, где потеря циркуляции была основной причиной непроизводительных затрат времени. Группа комплексного управления проектом (Integrated Project Management — IPM) компании Schlumberger, работающая от имени заказчика, столкнулась с поглощением бурового раствора на углеводородной основе (РУО) в объёме 2000 барр. (320 м³) в колонне 5 1/2 дюйма при проходке карбонатных пород. Обсадная колонна была спущена на глубину 19 173 футов (5844 м), поглощение раствора наблюдалось в интервале от 18 963 футов (5780 м) до 19 173 футов. Группа IPM приняла решение снизить относительную плотность бурового раствора с 1,12 до 1,01 (с 9,35 до 8,43 фунтов на галлон США или с 1120 до 1010 кг/м³), в результате чего произошло проявление.¹⁶ Скважину удалось стабилизировать при относительной плотности бурового раствора 0,97 (8,1 фунтов на галлон США или 970 кг/м³), но такая плотность раствора не позволила продолжить бурение нижележащих пластов.

Из-за высокой стоимости РУО и ограниченного объёма данных о ширине трещин, плотности трещин и забойной температуре после поглощения, группа IPM приняла решение о применении материала Losseal. На основании данных об интенсивности поглощения и пластовой температуры для скважины на месторождении Костеро был подобран закупоривающий материал с нужным размером частиц, объём пачки составил 90 барр. (14,3 м³), в том числе волокон — 2,9 фунт/барр. (8,3 кг/м³) и 217 фунт/барр. (620 кг/м³) смеси крупных, средних и мелких частиц. Пачку закачивали при уравновешенном гидростатическом давлении, после чего давление было увеличено до 200 фунт/дюйм² (1,4 МПа) для продавки пробки.¹⁷ Так как система начинала оказывать своё действие немедленно после закачки пачки закупоривающего материала и через час статические и динамические поглощения прекратились, выполнение дополнительных спускоподъёмных операций не потребовалось (рис. 6). Относительная плотность раствора была увеличена до 1,15 (9,6 фунтов на галлон США или 1150 кг/м³), поглощение раствора прекратилось и скважина была успешно пробурена до проектной глубины. После закачки Losseal комплексная группа завершила цементирование, при этом каких-либо интенсивных поглощений не наблюдалось.

Инженеры компании Schlumberger применили Losseal для обработки естественных трещин при выполнении работ для одной компании-оператора в южном Техасе. Компания-оператор планировала одноступен-

14. При проведении испытания на закупоривание успешным результатом считается способность материала закупорить щель той же ширины, что и ожидаемая ширина трещины. Кроме того, пробка из экранирующего материала должна выдерживать давление, равное максимальному перепаду давления в зоне поглощения во время производства работ.
15. Буферный раствор представляет собой вязкую жидкость, предназначенную для удаления бурового раствора перед основной операцией цементирования. Буферный раствор имеет заданные реологические параметры, такие как вязкость и плотность, он предназначен для вытеснения бурового раствора во время закачки раствора для формирования цементного кольца.
16. Проявление происходит тогда, когда давление в стволе скважины становится ниже порового давления пласта. Если удельный вес бурового раствора слишком мал и гидростатическое давление столба раствора, действующее на пласт, меньше пластового давления, из пласта возможен приток пластового флюида в скважину.
17. Уравновешенная пробка — это пробка из цемента или аналогичного материала, закачиваемая в виде раствора в определённый участок ствола для его герметизации.

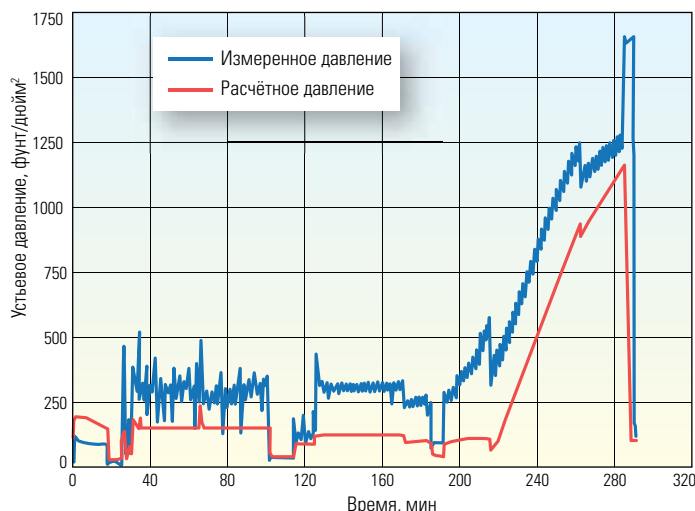


Рис. 7. Опрессовка. — В ходе анализа выполненных работ расчётное давление сравнивали с давлением, измеренным во время закачки Losseal в скважину, пробуренную на месторождении в южном Техасе. Гидравлическая модель построена на основе геометрических параметров скважины: диаметра ствола, угла отклонения от вертикали и диаметров обсадной и буровой колонны. В модели учитывалась плотность и вязкость раствора для расчёта давления закачки. В модели не учитывались возможные поглощения, поэтому любые отклонения между измеренным и расчётным давлением могли означать потерю циркуляции. Кривая фактического измеренного давления (синяя кривая) имеет ту же динамику, что и кривая расчётного давления (красная кривая), что означает отсутствие поглощений раствора в пласт и соответствие расчётных параметров закачки фактическим. Смещение между расчётными и измеренными давлениями обусловлено потерями давления на трение и сужениями в затрубном пространстве. Восстановление давления после примерно 200 минут соответствует подъёму более плотной жидкости, т.е. цементного раствора, в затрубном пространстве.

чатое цементирование промежуточной колонны, спущенной до глубины 10 000 футов (3050 м). После проходки меловых отложений Остин (Austin) и залегающих под ними трещиноватых известняков Буда (Buda) началось интенсивное поглощение бурового раствора. Восстановить циркуляцию не удалось. Буровая бригада предприняла попытки ликвидировать поглощение путём снижения плотности бурового раствора и применения нескольких видов закупоривающих материалов, но эти попытки оказались безрезультатными. Для восстановления циркуляции перед цементированием и поддержания циркуляции при цементировании инженеры компании Schlumberger использовали материал Losseal для обработки естественных трещин.

Так как специалисты заказчика уменьшили плотность бурового раствора, это снизило способность РУО удерживать волокна во взвешенном состоянии во время закачки закупоривающего материала. Решение заключалось в применении жидкости с высокой плотностью и с высоким содержанием твёрдой фазы (более 30%), в которой не происходило динамического осаждения твёрдых частиц. Для подбора нужной концентрации волокон

Losseal была проведена серия испытаний. Испытания показали, что при концентрации волокон от 2,0 до 3,0 фунт/барр. (от 5,7 до 8,6 кг/м³) происходило закупоривание щелей шириной до 0,2 дюйма (5 мм) при перепаде давления 1000 фунт/дюйм² (6,9 МПа).

Пачка Losseal была приготовлена на месте и закачана в предполагаемую зону поглощения в интервале от 6800 до 9800 футов (2100 — 3000 м). Во избежание возможного загрязнения и нарушения равновесия пачки при контакте с буровым раствором, до и после пачки закупоривающего материала закачивался буферный раствор. Чтобы обеспечить поступление частиц в трещины и инициировать перекрывающее и закупоривающее действие частиц, в скважину было подано небольшое давление продавки. Полное давление продавки было равно 250 фунт/дюйм² (1,7 МПа), снижения давления не наблюдалось, что подтвердило закупоривание зоны поглощения материалом Losseal для обработки естественных трещин. Еще одним подтверждением положительного результата было немедленное восстановление циркуляции после применения материала Losseal. Во время цементирования полная циркуляция поддерживалась

путём постоянного добавления закупоривающих волокон во все растворы, в утяжеленный буферный раствор и в цементный раствор. В результате опрессовок было установлено, что измеренное давление равнялось расчётному. Это означало положительный эффект применения закупоривающих материалов (рис. 7).

Обработка во время вскрытия пласта — При потере циркуляции во время вскрытия разреза коллектора необходимо принять меры для предотвращения ухода раствора в пласт или риска ухудшения коллекторских свойств пласта. Инженеры компании Schlumberger разработали семейство закупоривающих материалов на основе усиленной композитной сетки, состоящих из смеси растворимых волокон. Эти материалы предназначены для ликвидации последствий поглощения в трещиноватых коллекторах, карбонатных породах и истощенных коллекторах путём закачки пачек закупоривающего раствора для перекрытия трещин шириной от 1 до 5 мм. Пачка раствора состоит из трёх компонентов: загустителей, волокон и твёрдых частиц. Раствор сохраняет устойчивость в широком диапазоне скважинных температур в течение времени, достаточного для выполнения работ по заканчиванию скважины. Затем, через некоторое время, раствор разлагается без ущерба для коллекторских свойств пласта. Раствор Losseal для ликвидации последствий поглощения во время вскрытия пласта может подаваться через насадки долот диаметром всего 6,35 мм (0,250 дюйма), а также через скважинные каротажные приборы. Это устраняет необходимость подъёма колонны для закачки раствора.

В ходе лабораторных экспериментов была установлена зависимость между разложением волокон и устойчивостью пробки. В металлической трубке, соединённой с насосом, создавалась пробка. Затем трубка помещалась в печь, и в неё под высоким давлением подавался поток жидкости, аналогичной буровому раствору. Велись наблюдения за изменениями давления с течением времени. Резкое падение давления означало, что материал, из которого сделана пробка, начинал разрушаться и вымываться из трубки, и что проницаемость восстанавливалась до прежнего уровня (рис. 8). Результаты экспериментов были использованы для выработки инструкций по приготовлению закупоривающих пачек. На эффективность применения пачек с волокнистым материалом влияет вязкость раствора, концентрация волокон, геометрия волокон, скорость закачки и ширина трещины. В насто-

ящее время инженеры работают над повышением термостойкости волокон Losseal при температурах свыше 85°C (185°F). Проведены полевые испытания средн- и высокотемпературных волокон, подтвердившие их закупоривающие характеристики и термостойкость при температурах до 150°C (300°F).

В отличие от других продуктов Losseal, закупоривающий материал Losseal для ликвидации поглощений во время вскрытия пласта должен разрушаться с течением времени (рис. 9). Пачка материала диспергируется в жидкости-носителе, и выходит из бурового раствора для перекрытия трещин и закупоривания пустот. Материал сохраняется во время бурения и с течением времени растворяется без ухудшения коллекторских свойств пласта. Разложение пробки ускоряется при скважинных значениях температуры и давления; время разложения пробки можно отрегулировать для соблюдения графиков бурения и заканчивания. Для приготовления пачки требуется менее одного часа. Её можно закачивать при температуре от 40 до 150°C (от 100 до 300°F) при плотности бурового раствора от 1030 до 1440 кг/м³ (от 8,6 до 12 фунтов на галлон США). После закачки закупоривающего раствора он выдерживается в течение примерно 60 минут для заполнения трещин; качество закупоривания возрастает при нагнетании давления, так как это способствует попаданию материала в трещины, их перекрытию и закупориванию. Время разложения пробки можно регулировать в пределах от одних суток до восьми недель.¹⁸

Материал Losseal для вскрытия продуктивного пласта был внедрён в 2014 году и недавно применялся одним из ближневосточных нефтедобывающих предприятий для ликвидации поглощения бурового и цементного раствора на этапе бурения без ухудшения коллекторских свойств пласта. В ходе бурения двух скважин в рамках проекта по циклическому нагнетанию пара на глубине 341 м (1120 футов) при проходке участка ствола диаметром 8½ дюйма наблюдалось полное поглощение раствора. Бригада продолжила бурение до проектной глубины 472 м (1550 футов); при этом интенсивность поглощения достигала 32 м³/ч (200 барр./ч). Так как этот интервал планировалось использовать для добычи и закачки, важнейшим условием применения

любых методов ликвидации поглощения было не допустить снижения объёмов добычи в будущем и предотвратить ухудшение коллекторских свойств пласта.

Добывающему предприятию пришлось принимать меры по ликвидации поглощений перед спуском и цементированием обсадной колонны диаметром 7 дюймов, чтобы не допустить уход цементного раствора в пласт и обеспечить его подъём до поверхности. Было

принято решение применить материал Losseal для ликвидации поглощений при вскрытии пласта. В течение часа была приготовлена пачка раствора, состоящая из волокон и твёрдых частиц. Затем пачка была успешно закачана в скважину. Когда пачка достигла зоны поглощения, произошло небольшое увеличение давления закачки. Это означало, что раствор начал подниматься по затрубному пространству; циркуляция с выходом раствора

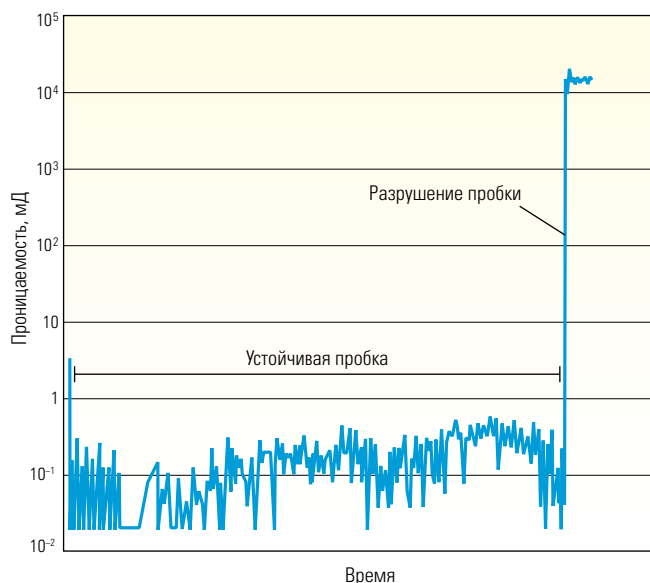


Рис. 8. Применение Losseal при вскрытии пласта. — Волокна Losseal разрушаются с течением времени (вверху на рис., время увеличивается слева направо). Регулируя уровень pH, можно контролировать время разрушения волокон и обеспечить их сохранность в широком диапазоне времени: от одних суток до восьми недель. В данном случае в раствор был добавлен ускоритель, который способствовал растворению волокон в течение заданного времени. На графике устойчивости системы (внизу на рис.) показана зависимость проницаемости от времени. Проницаемость пробки остаётся малой, как это и было запланировано, вплоть до разрушения пробки.



Рис. 9. Применение Losseal при вскрытии пласта. — Обработка Losseal при вскрытии пласта производится в пять этапов. Материал диспергируется в растворе, а затем перекрывает и закупоривает обрабатываемые трещины, оставаясь в них до окончания операции и полного разложения.

18. Время выдержки — это время после закачки Losseal в нужный интервал, необходимое для образования сетки, производящей оптимальное перекрывающее и закупоривающее действие.



Рис. 10. Технология искусственных волокон CemNET. — Сухие волокна CemNET (слева на рис.) при смешивании с водой образуют листообразную сетку (справа на рис.), позволяющую изолировать зоны потери циркуляции. Волокна CemNET легко диспергируются в любом цементном растворе, их можно быстро добавлять и смешивать в смесительной ёмкости.

на поверхность была полностью восстановлена. После подъёма колонны бурильных труб на расстоянии 61 м (200 футов) над пачкой скважина была промыта водой, при этом также наблюдалась циркуляция с выходом воды на поверхность. Затем колонна бурильных труб была спущена до верха зоны поглощения, циркуляция была восстановлена, после чего на устье скважины наблюдался выход раствора. Мероприятия по ликвидации поглощений были успешно выполнены на двух скважинах данной площади.

Через несколько месяцев на обеих скважинах начали добычу из обработанных интервалов; в каких-либо восстановительных мероприятиях потребности не возникло. Испытания скважин подтвердили, что фактические начальные дебиты (коэффициенты продуктивности) обеих обработанных скважин были выше прогнозных. Эти результаты указывают на то, что растворение закупоривающих материалов произошло в плановом режиме, без ухудшения коллекторских свойств пласта.

Волокнистая сеть — закачка волокон CemNET, предназначенных для применения в цементных растворах, является еще одним методом изолирования зон поглощения. Волокна инертны, они переплетаются и образуют гибкую сеть, охватывающую зону поглощения, позволяя в то же время восстановить и поддерживать циркуляцию. Волокна CemNET, доставляемые в предполагаемую зону поглощения цементным раствором, выдерживают температуру до 232°C (450°F). Волокна CemNET не изменяют вязкость и время сохранения прокачиваемости цементного раствора, а также прочность на растяжение, статическое напряжение сдвига, прочность на сжатие и водоотдачу цемента (рис. 10). Волокна CemNET с легкостью

диспергируются и смешиваются с цементным раствором или жидкостью. Применение CemNET облегчает закачку цемента, экономит затраты из-за отсутствия необходимости в избыточном цементе, сводит к минимуму необходимость исправительного цементирования для подъёма цемента на нужную высоту.¹⁹

Материал CemNET успешно применялся при проведении работ в Северном море для ликвидации интенсивных поглощений во время разбуривания цементного камня после первичного цементирования в скважине на площади Хальтенбанкен (Haltenbanken) на шельфе у побережья Кристиансунн (Kristiansund), Норвегия. Цементирование было выполнено согласно плану работ с опрессовкой башмака обсадной колонны. После этого бригада приступила к разбуриванию цементного стакана, пробок, обратного клапана и цемента. Однако после очистки шурфа под квадрат и подъёма КНБК над башмаком 7-дюймового хвостовика для промывки скважины началось интенсивное поглощение раствора. В скважину было закачено несколько пачек закупоривающих материалов, но вскоре поглощение возобновилось.

После 87 часов, проведенных в попытках ликвидировать поглощение, было принято решение обработать зону поглощения закупоривающими материалами на основе волокон. После подъёма КНБК из скважины была выполнена продавка цементного раствора с волокнами CemNET. В скважину был спущен цементировочный хвостовик, затем проведена успешная опрессовка цементировочной линии.²⁰ Инженеры рассчитали конечную скорость и давление закачки, после чего в скважину был закачан углеводородная основа раствора, буферный раствор и цементный раствор с волокнами. Углеводородная основа и часть буферного раствора были вытеснены без выхода на устье.

Это означало, что скважина продолжала поглощать раствор. Закачка в зону поглощения под башмаком хвостовика началась на скорости 200 л/мин (1,26 барр./мин). Сразу же после поступления раствора с волокнами CemNET в скважину зона поглощения была перекрыта (рис. 11). Когда раствор с CemNET вошел в необсаженный участок ствола, давление увеличилось с 0,1 до 1,4 МПа (с 14,5 до 203 фунт/дюйм²). Закачка была остановлена. Бурильщик стравил давление через штуцер и открыл трубные плашки. Цементный раствор, оставшийся в цементировочном хвостовике, вытеснялся из скважины методом «закачки и подъёма».²¹ Поглощение было ликвидировано, после продавки раствора с волокнами CemNET циркуляция была восстановлена полностью. Компания-оператор получила положительные результаты применения волокон CemNET при ликвидации поглощений и на других скважинах. Данный метод вошел в практику борьбы с поглощениями раствора.

В 2013 году в Аргентине была проведена комбинированная обработка зоны поглощения материалами CemNET и Losseal. Во время закачки цементного раствора в скважине наблюдалось частичное поглощение. Высота подъёма цемента была на 1100 м (3600 футов) ниже планового уровня. В сводке о выполненных работах сообщалось о разнице между фактическим и расчётным давлением, что свидетельствовало об уходе раствора в пласт, из-за чего возникла разница между плановой и фактической высотой подъёма цементного раствора.

План работ по цементированию следующей скважины был основан на опыте, полученном при выполнении работ на первой скважине. Инженеры компании Schlumberger обработали часть цементного раствора материалом CemNET, а в качестве буферного раствора использовали раствор с материалом Losseal для обработки микротрещин. Во время закачки цементного раствора поглощений не было, данные наблюдений показали совпадение кривых расчётного и фактического давления. Конечная высота подъёма цементного раствора оказалась на 100 м (300 футов) выше расчётного уровня, контроль качества цементирования показал хорошее сцепление цементного камня. Применение CemNET и Losseal позволило предотвратить поглощения при увеличении эквивалентной плотности циркуляции во время закачки цементного раствора.²² Происходившие при этом поглощения были ликвидированы благодаря высоким экраняющим и закупоривающим свойствам материалов. В результате специалисты компании-оператора разработали отдельный план работ по ликвидации поглощений с обработкой зоны

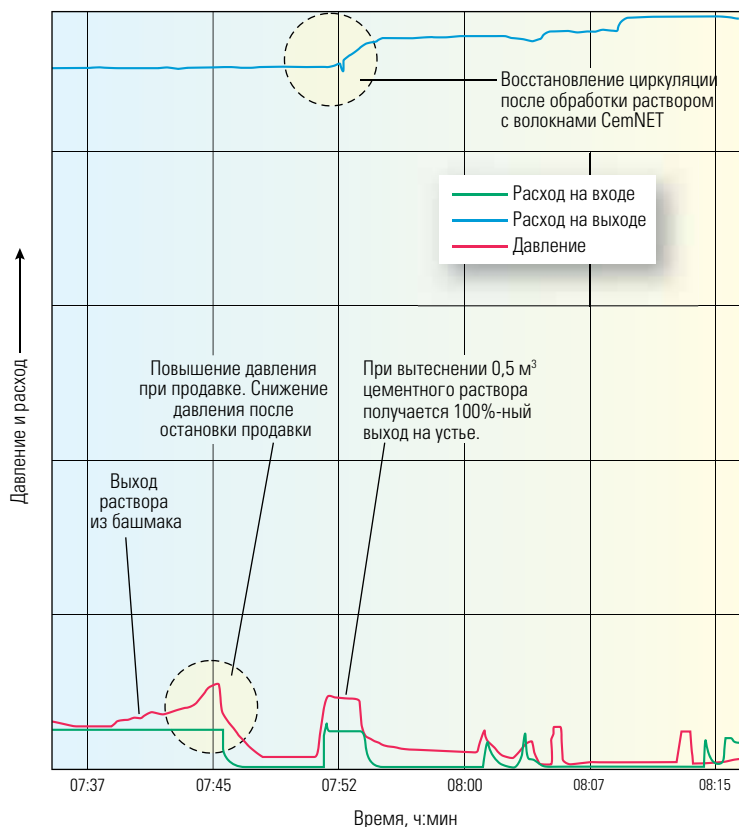


Рис. 11. Продавка цементного раствора с CemNET на скважине у берегов Норвегии. — На диаграмме газового каротажа показаны процессы закачки (зеленая линия) и выхода (синяя линия). По мере выхода раствора с CemNET из башмака и проникновения в зону поглощения давление (красная линия) возросло и циркуляция была восстановлена.



Рис. 12. Материал PressureNET. — Материал PressureNET сочетает прочность и легкий вес закупоривающего материала, такого как, например, остеклованные частицы глины (слева на рис.), с прочностью волокон CemNET (справа на рис.).

поглощения волокнами CemNET и материалом Losseal для остальных скважин на площадке.

Комбинированное решение для борьбы с потерей циркуляции — Материал PressureNET, содержащий волокна и твердые частицы и предназначенный для ликвидации последствий потери циркуляции, состоит из диспергируемых волокон CemNET и остеклованных частиц глины. Он предназначен для обработки глинистых, доломитовых и известняковых пород (рис. 12). Комбинированный материал способен закупоривать отверстия шириной до 3 мм (0,1 дюйма) при давлении до 5,5 МПа (800 фунт/дюйм²). Частицы химически инертны в большинстве растворов. Глинистые частицы различных размеров накапливаются в сети волокон CemNET, изолируя зону поглощения. Прочность частиц PressureNET позволяет этому закупоривающему материалу выдерживать высокие перепады давления в трещинах, тем самым сокращая объем поглощения бурового и цементного раствора. Материал можно добавлять в цементные, буферные и буровые растворы в порционных мешалках или растворных амбарах. Непроницаемая сеть волокон, формируемая этим материалом, выдерживает гидростатическое давление столба цементного раствора и дополнительное давление, создаваемое в ходе первичного или исправительного цементирования.

В начале 2013 года при цементировании эксплуатационных колонн на скважинах компании Apache Corporation, расположенных в каньоне Гранит-Уош (Granite Wash) в округе Олдэм (Oldham), штат Техас, наблюдались интенсивные поглощения цементного раствора. При цементировании использовался азрированный цементный раствор, но в двух третях скважин не удалось поднять цементный раствор до нужной высоты за колонной.²³ Поэтому для ввода скважин в эксплуатацию возникла необходимость выполнения дорогостоящих и продолжительных работ по продавке цементного раствора.

Породы каньона Гранит-Уош представлены аркозовыми кластическими и карбонатными отложениями, вымытыми с поднятия Амарилло (Amarillo) в среднем-позднем пенсильванском

19. Недостаточная высота цементного кольца — это результат подъема цементного раствора на недостаточный уровень. Это может произойти из-за ухода цементного раствора в пласт. Подробнее о борьбе с потерей циркуляции при цементировании: Daccord G, Craster B, Ladva H, Jones TGJ and Manescu G: "Cement-Formation Interactions," in Nelson EB and Guillot D (eds): *Well Cementing* 2nd ed. Houston: Schlumberger (2006): 202–219.

20. Опрессовка цементировочной линии производится путём подачи давления из цементного агрегата на цементировочную головку или коренную задвижку с целью проверки линии на утечки и повреждения. Обычно давление опрессовки на 6,9 МПа (1000 фунт/

дюйм²) выше максимально допустимого давления закачки или равно рабочему давлению арматуры, в зависимости от того, какое из них ниже.

21. Метод «закачки и подъёма» заключается в закачке цементного раствора через буровую колонну с хвостовиком. Во время закачки цемента в скважину цемент, который находится внутри хвостовика, выкачивается из него во время подъёма колонны через интервал. Это позволяет снизить риск цементирования трубы или оставления цемента внутри хвостовика после окончания работы.

22. Эквивалентная плотность циркуляции — это эффективная плотность циркулирующего раствора, воздействующего на пласт, с учетом перепада давления

в затрубном пространстве над рассматриваемой точкой.

23. Азрированный цементный раствор — это однородный сверхоблегченный цементный раствор, состоящий из базового цементного раствора, газа и поверхностно-активных веществ. Азрированные цементные растворы широко применяются для цементирования скважин, пробуренных в слабосцементированных породах или в пластах с низким градиентом давления разрыва.

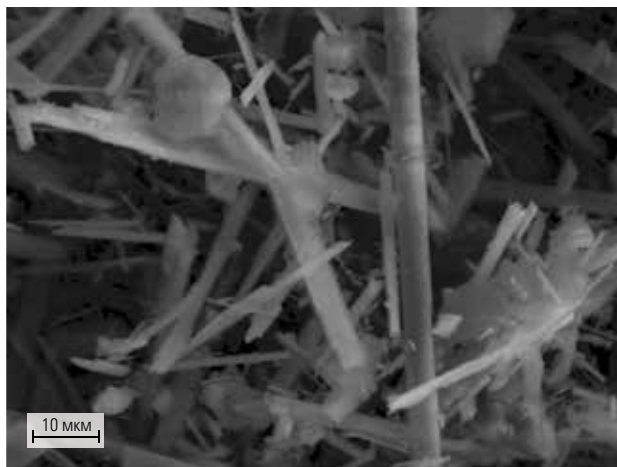


Рис. 13. Высокопрочная добавка FORM-A-BLOCK. — Сеть из волокон FORM-A-BLOCK под сканирующим электронным микроскопом (вверху на рис.). После закачки пачки в скважину подаётся давление, в результате чего формируется дефлюидизированная сеть волокон (внизу на рис.).

времени. Продуктивный пласт находится в разработке с конца 1950-х годов, хотя работы возобновились недавно после длительного перерыва. Проведенные работы включали операции по гидроразрыву и кислотной обработке пласта и показали очень высокие результаты. Однако в ходе бурения были вскрыты истощенные интервалы, подверженные риску разрывов и более сложные для бурения и заканчивания. Из-за потери циркуляции и осложнений при цементировании специалисты компании Apache приняли решение применить материал PressureNET при цементировании эксплуатационной колонны в скважине «Бивинс-Лит» (Bivins Lit). После успешного выполнения работ, что было подтверждено наблюдавшимся на скважине увеличением давления, акустический каротаж цемента показал высоту подъёма на несколько сот футов выше плановой. На основании опыта, полученного при цементировании скважины «Бивинс-Лит», было принято

решение использовать материал PressureNET при цементировании других скважин.

Дефлюидизирующее решение при потере циркуляции — При частичном или интенсивном поглощении может применяться высокоэффективный и высокопрочный закупоривающий материал FORM-A-BLOCK. Пачка закупоривающего материала представляет собой инертную смесь минеральных, синтетических и целлюлозных волокон со специальным покрытием, обеспечивающим их смешивание с пресной водой, соевым раствором или растворами на неводной основе.²⁴ FORM-A-BLOCK предназначен для ликвидации поглощений в трещинах, кавернах или пустотах при температуре до 177°C (350°F). Для приготовления пачки может использоваться стандартное оборудование буровой. При этом не требуется добавлять активатор или замедлитель, а формирование пробки происходит независимо от температуры. Рекомендуемая концентрация добавки

FORM-A-BLOCK — 114 кг/м³ (40 фунт/барр.) для растворов на основе пресной воды, морской воды, а также для синтетических растворов и растворов на углеводородной основе, за исключением цементных растворов на неводной основе с плотностью, равной или превышающей 1790 кг/м³ (14,9 фунтов на галлон США), для которых требуется концентрация 57 кг/м³ (20 фунт/барр.).

В случае поглощения этот материал используется для быстрой его ликвидации. Пачка раствора подаётся в зону поглощения методом продавки. Пачка закачивается в затруб; объём закачки — как минимум 150% объёма зоны поглощения. Под действием давления продавки жидкость-носитель из пачки быстро уходит в пласт (рис. 13). Оставшаяся твёрдая фаза заполняет собой пустоты и трещины, образуя высокопрочную пробку, изолирующую зону поглощения. Наряду с ликвидацией частичных и интенсивных поглощений, обработка материалом FORM-A-BLOCK может применяться для быстрого создания пробки во время работ по укреплению ствола скважины, в качестве средства ликвидации последствий профилактики поглощений в открытом стволе, а также для обеспечения герметичности башмака обсадной колонны и в обсаженных стволах для герметизации интервала перфорации или устранения утечек в обсадной колонне.

После полной потери циркуляции в ходе испытания на гидроразрыв в морской скважине индонезийская компания-оператор приняла решение о применении пачки FORM-A-BLOCK для ликвидации поглощения. Испытание на гидроразрыв производилось после разбуривания цемента и проходки 20 футов (6 м) новой породы. Цель заключалась в достижении эквивалентной плотности циркуляции 14,0 фунтов на галлон США (1680 кг/м³) без разрыва пласта. Скважина была перекрыта верхними трубными плашками, после чего началось увеличение давления в скважине. Давление 4,6 МПа (670 фунт/дюйм²) поддерживалось в течение пяти минут, затем была предпринята попытка увеличить давление до 6,9 МПа (1000 фунт/дюйм²). Разрыв пласта произошел под давлением 6,4 МПа (930 фунт/дюйм²) с полной потерей циркуляции. Перед испытанием в скважине была проведена перфорация, для ликвидации поглощения закачивался раствор, содержащий карбонат кальция. По оценкам специалистов, зона поглощения находилась непосредственно над башмаком обсадной колонны.

Группа специалистов компании M-I SWACO (принадлежащей компании Schlumberger) предложила использовать пачку FORM-A-BLOCK для изоляции интервала перфорации и предотвращения дальнейших поглощений бурового раствора на водной основе. Скважину сразу же перевели на морскую воду, КНБК была поднята на расстояние 20 футов над верхом интервала перфорации, в это время была приготовлена пачка FORM-A-BLOCK объёмом 40 барр. (6,4 м³). Всего в скважину через долото было закачено 37 барр. (5,9 м³) раствора при скорости закачки 3 барр./мин (0,5 м³/мин). Давления на стояке не было, это означало, что ликвидировать поглощение не удалось. Вслед за пачкой раствора с закупоривающим материалом в скважину был закачан буровой раствор объёмом 58 барр. (9,2 м³). Через некоторое время вытесняемый раствор начал выходить на устье, давление увеличилось до 0,8 МПа (116 фунт/дюйм²), что подтвердило изолирование интервала перфорации. Сразу же после закачки пачки закупоривающего материала в скважину было подано давление для продавки пачки, закупоривающий раствор начал отдавать жидкость, а в зоне поглощений началось формирование пластичной и непроницаемой пробки. Давление продавки было подано еще раз, общий объём продавленного в пласт материала FORM-A-BLOCK составил 15,8 барр. (2,5 м³). Циркуляция была полностью восстановлена, в скважину в качестве жидкости вытеснения был закачан раствор на водной основе, при этом каких-либо поглощений не наблюдалось. Буровые работы возобновились без дальнейших потерь бурового раствора.

Большое будущее волокон

Описанные выше материалы для ликвидации поглощений применялись сотни раз по всему миру. Важные преимущества данных решений — простота использования, экономия времени благодаря отсутствию необходимости подъёма колонны из скважины и быстрая подготовка к применению раствора для достижения желаемого результата.

Из-за большого разнообразия как средств для ликвидации поглощений, так и условий, в которых наблюдаются поглощения, при выборе средства специалисты должны применять индивидуальный подход и руководствоваться конкретными обстоятельствами. Данные средства доказали свою эффективность в условиях трещиноватых пластов. Новые решения для ликвидации поглощений, в том числе технологии на основе воло-

кон, оказались эффективными и универсальными, и при этом сокращающими время работы буровой установки. Поиск более совершенных и надежных решений еще не закончен, технология закупоривающих материалов на основе волокон будет совершенствоваться и в будущем.

— И. М. Ф.

24. Sanders MW, Scorsone JT and Friedheim JE: "High-Fluid-Loss, High-Strength Lost Circulation Treatments," paper SPE 135472, presented at the SPE Deepwater Drilling and Completions Conference, Galveston, Texas, USA, October 5–6, 2010.