
Растворимые материалы и сплавы для заканчивания скважин: технологии, области применения и преимущества

Команда M14 · 5 июля 2026

В этой статье подробно рассмотрено, что представляют собой растворимые материалы, где и почему они применяются, какие типы изделий из них производятся, а также чем они превосходят традиционные нерастворимые системы заканчивания.

Технологии заканчивания скважин из растворимых материалов — одно из наиболее значимых инженерных решений в нефтегазовой отрасли за последнее десятилетие. Растворимые магниевые и алюминиевые сплавы, а также растворимые эластомеры позволяют создавать внутрискважинное оборудование, которое полностью выполняет свою функцию во время операции, а затем контролируемо растворяется в скважинных флюидах без какого-либо вмешательства. Это исключает дорогостоящие операции по фрезерованию и извлечению, сокращает время вывода скважины на режим и снижает эксплуатационные риски.

Что такое растворимые материалы для заканчивания скважин

Растворимые материалы для нефтегазовой отрасли — это специально разработанные сплавы и полимеры, способные

контролируемо деградировать при контакте со скважинными флюидами. В основе большинства растворимых металлических компонентов лежат сплавы на базе магния с добавлением алюминия, цинка, никеля, меди и редкоземельных элементов. Точное соотношение легирующих компонентов и режимы термообработки позволяют инженерам программировать скорость растворения изделия — от нескольких часов до нескольких десятков дней.

Основные классы растворимых материалов

Типичная плотность растворимых магниевых сплавов составляет 1,70-2,70 г/см³, прочность на разрыв — не менее 450 МПа. Температура инициации растворения настраивается в диапазоне от 55 °С до 90 °С и выше, а скорость деградации варьируется в зависимости от состава сплава, температуры, давления и солёности скважинных жидкостей. Продукты растворения магниевых сплавов — гидроксид магния и следовые количества водорода — безопасны для пласта и окружающей среды.

Тип материала	Основа	Область применения	Механизм растворения
Растворимые магниевые сплавы	Mg + Al, Zn, Ni, Cu, РЗЭ	Пробки, шары, сёдла, плашки	Гидролиз при контакте с водой и рассолами; продукты — Mg(OH) ₂ и водород
Растворимые алюминиевые сплавы	Al + Ga, In, Sn	Структурные элементы пробок, шары	Электрохимическая коррозия в скважинных флюидах
Растворимые эластомеры (резина)	Модифицированные полимеры	Уплотнительные элементы, манжеты, пакеры	Химическая деградация в пластовых флюидах

Биоразлагаемые полимеры	Полигликолевая кислота	Конусы, структурные элементы гибридных пробок	Гидролиз в водных растворах при повышенной температуре
-------------------------	------------------------	---	--

Что такое растворимые материалы для заканчивания скважин

Растворимые материалы для нефтегазовой отрасли — это специально разработанные сплавы и полимеры, способные контролируемо деградировать при контакте со скважинными флюидами. В основе большинства растворимых металлических компонентов лежат сплавы на базе магния с добавлением алюминия, цинка, никеля, меди и редкоземельных элементов. Точное соотношение легирующих компонентов и режимы термообработки позволяют инженерам программировать скорость растворения изделия — от нескольких часов до нескольких десятков дней.

Почему отрасль переходит на растворимые решения

Переход к растворимым технологиям обусловлен рядом фундаментальных вызовов, с которыми сталкивается нефтегазовая отрасль при использовании традиционных нерастворимых систем заканчивания.

Классические пробки и элементы заканчивания изготавливаются из чугуна, композитных материалов или высокопрочных сталей. После выполнения своей функции (например, зональной изоляции при гидроразрыве пласта) они требуют обязательного удаления — фрезерования с помощью колтюбинга (гибких НКТ) или бурильной колонны.

Эта операция создаёт целый ряд проблем:

- **Высокая стоимость.** Операция фрезерования с применением колтюбинга потребляет от 3 000 до 6 000 литров дизельного топлива в сутки.
- **Длительное время.** Разбуривание одной композитной пробки занимает от 2 до 15 минут, но при неполном растворении полурастворимых элементов — до часа и более. На многостадийной скважине суммарное время фрезерования может составлять несколько суток.
- **Ограничение длины боковых стволов.** Колтюбинг имеет механические ограничения по достигаемости в горизонтальных скважинах. Это напрямую ограничивает максимальную длину бокового ствола и, соответственно, количество стадий ГРП.
- **Риск повреждения обсадной колонны.** Механическое фрезерование создаёт риски повреждения стенок обсадной колонны и загрязнения трещин ГРП обломками.
- **Экологическая нагрузка.** Каждый литр сожжённого дизельного топлива даёт 2,7 кг выбросов CO₂-эквивалента. Использование 100 растворимых пробок вместо 100 композитных снижает выбросы CO₂ примерно на 31 000 кг на одну скважину.

Что даёт подход с использованием растворимых материалов

Растворимое оборудование полностью выполняет свою рабочую функцию (изоляция, герметизация, активация

оборудования), а затем самостоятельно деградирует в скважинных условиях. Ствол скважины восстанавливает полный проходной диаметр без какого-либо механического вмешательства. Это принципиально меняет экономику и логистику заканчивания скважин. Растворимые сплавы и эластомеры применяются в широком спектре оборудования для строительства и эксплуатации скважин. Ниже рассмотрены основные категории изделий.

1. Растворимые шары (frac balls) — исторически первое и наиболее массовое применение растворимых сплавов в нефтегазовой отрасли. Первый коммерческий растворимый шар был разработан компанией Baker Hughes в 2010 году для активации внутрискважинного оборудования. Шары используются в системах заканчивания с муфтами ГРП: шар подаётся в скважину, садится в соответствующее седло, перекрывая сечение, и позволяет создать давление для открытия муфты и проведения гидроразрыва конкретного интервала. После завершения операции шар растворяется, освобождая проходное сечение для последующих операций.

2. Растворимые пробки для технологии Plug & Perf — наиболее быстро растущий сегмент рынка растворимых изделий. Пробка спускается на кабеле, устанавливается в заданном интервале обсадной колонны, обеспечивает зональную изоляцию во время гидроразрыва, а затем полностью растворяется. Современные полностью растворимые пробки, такие как SLB ReacXion, Halliburton Illusion Prestige и другие,

состоят из растворимых магниево-алюминиевых сплавов (плашки, оправка, седло шара) и растворимых эластомеров (уплотнительные элементы). Новейшие модели на 30-50% короче предшественников, имеют увеличенный внутренний диаметр и могут работать в пресной воде и рассолах.

3. Мостовые пакер-пробки (bridge plugs) из растворимых материалов используются для временной изоляции определённых зон скважины — при глушении, при проведении кислотной обработки или для предотвращения перетоков между пластами. В отличие от извлекаемых мостовых пробок, растворимые не требуют дополнительной операции по извлечению после завершения работ.

4. Растворимые сёдла для муфт ГРП — высокотехнологичное решение для систем заканчивания с муфтами многостадийного ГРП. Седло имеет триггер процесса растворения, который запускается при посадке целевого шара. Через прогнозируемый отрезок времени пара «шар + седло» полностью растворяется, открывая полное проходное сечение для последующих операций, включая ремонт скважины или повторный ГРП.

5. Растворимые цементируемые пробки и узлы цементируемых муфт позволяют исключить операции по разбурированию элементов обсадной оснастки после цементирования. Это сокращает время строительства скважины и снижает риски, связанные

с механическим удалением цементирующей оснастки.

- 6. Растворимые заглушки для фильтров и устройств контроля притока** с прогнозируемой скоростью растворения устанавливаются в базовую перфорированную трубу скважинного фильтра или устройство контроля притока. Они обеспечивают временное разобщение трубного и затрубного пространства на период спуска и крепления хвостовика, после чего растворяются, открывая приток из пласта.

Сравнительная таблица: преимущества растворимых систем перед нерастворимыми

Удаление после операции	Фрезерование колтюбингом (2–15 мин на пробку, до часа при осложнениях)	Не требуется — самостоятельное растворение
Время вывода скважины на режим	Увеличено на время фрезерования и промывки	Минимальное — производство начинается сразу после растворения
Максимальная длина бокового ствола	Ограничена досягаемостью колтюбинга	Не ограничена — нет необходимости в механическом удалении
Количество стадий ГРП	Ограничено возможностями фрезерования	Увеличено за счёт отсутствия механических ограничений
Риск повреждения обсадной колонны	Высокий — механическое воздействие на стенки	Нулевой — нет механического контакта
Загрязнение трещин ГРП обломками	Возможно — стружка и обломки от фрезерования	Исключено — продукты растворения безвредны
Проходной диаметр после операции	Может быть ограничен остатками	Полное восстановление проходного сечения
Морские операции	Высокие затраты на мобилизацию оборудования	Значительная экономия за счёт отсутствия вмешательства

Экономический эффект от применения растворимых технологий и материалов

Использование растворимых пробок может снизить общие затраты на заканчивание скважины примерно на 20%.

Экономия складывается из нескольких факторов:

- **Исключение колтюбинговых операций.** Отсутствие необходимости в фрезеровании — это экономия на оборудовании (колтюбинговая установка, насосы, краны), персонале и топливе.
- **Сокращение цикла заканчивания.** Время вывода скважины на продуктивный режим сокращается до 30%. Раннее начало добычи напрямую увеличивает выручку.
- **Увеличение контакта с пластом.** Отсутствие ограничений колтюбинга позволяет проектировать более длинные горизонтальные секции и увеличивать количество стадий ГРП, что повышает продуктивность скважины.
- **Снижение рисков.** Исключение операций разбуривания снижает вероятность аварий, прихватов инструмента и повреждения обсадной колонны.

Ключевые тренды отрасли

- **Высокотемпературные материалы.** Разработка

сплавов и покрытий, стабильных при температурах выше 140 °C (284 °F), где стандартные магниевые сплавы подвержены стресс-коррозионному растрескиванию.

- **Ускоренное растворение.** Создание составов с гарантированным полным растворением в течение 15 дней в широком диапазоне скважинных условий.
- **Гибридные конструкции.** Комбинирование растворимых металлов, биоразлагаемых полимеров и растворимых эластомеров в одном инструменте.
- **Импортозамещение.** В России на 2026-2028 годы выделяется 15 млрд рублей из бюджета для поддержки импортозамещения в нефтедобыче, включая технологии ГРП и заканчивания скважин. Уровень импортозамещения оборудования в отрасли достиг 70%, а целевой показатель к 2030 году — не менее 90%.

Технические вызовы и пути их решения

Несмотря на очевидные преимущества, растворимые технологии имеют ряд инженерных задач, которые активно решаются отраслью.

Контроль скорости растворения

Ключевой вызов — обеспечить, чтобы изделие сохраняло механическую целостность в течение всего времени

операции (обычно 6–24 часа), а затем растворилось максимально быстро. Решение — точный подбор состава сплава и применение защитных покрытий (полимерных, конверсионных, РЕО-покрытий), которые предотвращают преждевременное растворение.

Низкотемпературные и пресноводные условия

Скорость растворения магниевых сплавов замедляется при низких температурах и в пресноводных средах с низкой минерализацией. Для таких условий разрабатываются специальные составы с ускоренной деградацией — например, модификации AZ31 с повышенным содержанием примесей-ускорителей.

Образование твёрдых продуктов реакции

Побочный продукт растворения магния — $Mg(OH)_2$ — может реагировать с силикатами пласта или пропантом ГРП, образуя твёрдый силикат магния (так называемый рекристаллизованный материал). Этот осадок способен оборачиваться вокруг растворимого элемента, замедляя его деградацию, или формировать «цементную» пробку в стволе скважины. Борьба с этим явлением — одно из приоритетных направлений исследований.

Работа в условиях НРНТ

Высокое давление и высокая температура (НРНТ) ускоряют растворение, что может привести к преждевременной потере прочности. Разработка термостабильных сплавов с равномерной прочностью и пластичностью при высоких температурах — актуальная задача для глубоких газовых скважин.

Продукция Ойл Энерджи из растворимых материалов

Ойл Энерджи — российский производитель химических реагентов, материалов и оборудования для строительства нефтяных и газовых скважин, в том числе полной линейки изделий из растворимых материалов. Компания разрабатывает и производит:

- **Растворимые шары для МГРП** — для активации внутрискважинного оборудования в системах многостадийного гидроразрыва пласта.
- **М4 СПРУТ** — растворимые прокачиваемые селективные ключи-пробки с уникальным активирующим механизмом, взаимодействующим только с целевой муфтой ГРП.
- **МЕДУЗА** — растворимая пакер-пробка для технологии Plug & Perf, позволяющая выполнить установку пакеров и провести перфорацию необходимого количества интервалов за одну спуско-подъемную операцию.
- **ОМАР** — растворимая прокачиваемая пробка для глушения скважин, создающая надёжный механический барьер без использования кольматантов.
- **МУРЕНА** — растворимая спускаемая двухъякорная мостовая пакер-пробка с уплотняющей манжетой, выдерживающая дифференциальное давление в обоих направлениях.
- Растворимая оснастка для цементирования — пробки и узлы цементировочных муфт, исключая разбуривание.
- **Растворимые заглушки для фильтров** с прогнозируемой скоростью растворения.
- **Растворимые сплавы** — заготовки для изготовления индивидуальных изделий методом механической обработки.
- **Растворимая резина** — заготовки и готовые герметизирующие детали.
- **Растворимые сёдла для муфт ГРП с триггером растворения**, запускаемым приходом целевого шара, — одна из новейших разработок компании. Несколько недропользователей в настоящее время проводят опытно-промышленные испытания данной

Ключевые выводы

Растворимые материалы и сплавы для заканчивания скважин — это не просто замена традиционных компонентов альтернативным материалом. Это принципиально иной подход к проектированию скважин, при котором временное оборудование выполняет свою функцию и исчезает, не требуя дополнительных затрат, времени и рисков на удаление. Результат — более быстрое, экономичное и экологичное строительство и эксплуатация скважин.

1. Растворимые сплавы на базе магния и алюминия позволяют создавать полный спектр внутрискважинного оборудования — от шаров и пробок до цементирующей оснастки и фильтрующих заглушек.
2. Исключение операций фрезерования сокращает затраты на заканчивание до 20% и время вывода скважины на режим до 30%.
3. Отсутствие механических ограничений колтюбинга позволяет проектировать более длинные горизонтальные секции и увеличивать количество стадий ГРП.
4. Экологический эффект — снижение выбросов CO₂ на десятки тонн на скважину и отсутствие загрязнения пласта.

5. Рынок растёт на 11% ежегодно, а в России задача импортозамещения технологий ГРП и заканчивания поддерживается на государственном уровне.

Источники

База данных тестирования и испытаний команды M14, компания «Ойл Энерджи»

SLB. Dissolvable Frac Plugs — ReacXion. slb.com

Halliburton. Illusion Dissolvable Frac Plugs. halliburton.com

The Business Research Company. Dissolvable Frac Plugs Market Report 2026.

thebusinessresearchcompany.com

SPE. Evolution of Frac Plug Technologies – Cast Iron to Composites to Dissolvable (2019). DOI: [10.2118/194802-MS](https://doi.org/10.2118/194802-MS)

Коммерсантъ. На импортозамещение в нефтедобыче выделяют 15 млрд рублей (2026).

kommersant.ru

PromoGroup Media. TNF-2024: решения для импортозамещения в нефтегазе. nprom.online

FAQ

Из чего изготавливают растворимые элементы для заканчивания скважин?

Основа большинства растворимых металлических компонентов — сплавы магния с добавлением алюминия, цинка, никеля, меди и редкоземельных элементов. Также применяются растворимые алюминиевые сплавы, растворимые эластомеры и биоразлагаемые полимеры.

Как контролируется скорость растворения?

Скорость растворения программируется путём подбора состава сплава, режимов термообработки и нанесения защитных покрытий. Инженеры настраивают параметры под конкретные скважинные условия — температуру, давление, минерализацию и состав скважинных флюидов. Температура инициации растворения типичных коммерческих сплавов — от 55 °C до 90 °C и выше.

Безопасны ли продукты растворения для пласта?

Продукты растворения магниевых сплавов — гидроксид магния $Mg(OH)_2$ и следовые количества водорода — нетоксичны и безвредны для пластовых флюидов и окружающей среды. Магний — природный элемент, который легко разлагается в естественных условиях.

Где применяются растворимые технологии помимо ГРП?

Помимо многостадийного гидроразрыва, растворимые материалы применяются в цементировочной оснастке, мостовых пробках для глушения и изоляции скважин, заглушках для скважинных фильтров и устройств контроля притока.

Источник: <https://blog.onrg.ru/dissolvable-materials-and-alloys-for-well-completion/>