
Замедлитель схватывания для низкотемпературного цементирования: как решить задачу «время закачки против ранней прочности» в гипсовых системах

Ленар Каримов, Лидер Научного Центра; Андрей Кузнецов, Специалист Команды Цементирования · 29 августа 2026

В статье рассматриваются применяемые в отрасли подходы к решению этой задачи, принципы работы замедлителей схватывания и продукт, который команда R&D «Ойл Энерджи» предлагает рынку.

Цементирование нефтяных и газовых скважин при низких температурах — это нестандартный процесс, так как часто необходимо обеспечить два противоположных по своей природе показателя: достаточное время загустевания и высокую раннюю прочность. Особенно ярко это противоречие проявляется в облегчённых гипсовых растворах: содержание воды в них выше, а температура цементирования может быть ниже, чем в растворах нормальной плотности.

Почему низкотемпературное цементирование рассматривается как отдельный класс задач

Интервалы направления и кондуктора в криолитозоне могут включать сотни метров пород с температурой, близкой к нулю или отрицательной. Многолетнемёрзлые породы (ММП) занимают около половины территории России;

глубина промерзания достигает 500 м, а температура пород в интервалах ММП изменяется примерно от -5 до $+5$ °С.

«Низкие статические температуры увеличивают сроки схватывания, и часто эту проблему невозможно решить базовой комбинацией “цемент + ускоритель схватывания”. Реология раствора начинает превышать допустимые пределы для прокачивания, растёт тепловыделение и риск растрескивания ММП, что может иметь последствия для колонны и скважины в целом. Также повышается вероятность деградации прочности с течением времени.

Нередко технологи приходят к ситуации, когда время загустевания уже короткое, а уровень прочности всё ещё ниже часто требуемых 500 psi за 8 или 12 ч — даже на растворах нормальной плотности. В облегчённых системах комбинация “цемент + ускоритель схватывания” зачастую не позволяет раствору перейти в твёрдое состояние.

Применение тампонажного гипса в достаточной концентрации гарантированно переводит раствор в камень, но это происходит за считанные минуты. Если же время загустевания необходимо увеличить до 2, 3 или 4 ч, применяют замедлители схватывания гипса — наиболее распространены лимонная кислота, винная кислота и цитрат натрия. Однако они значительно снижают раннюю прочность, вплоть до 0 psi через 8 или 12 ч, особенно в облегчённых растворах»

— Ленар Каримов, лидер Научного центра «Ойл Энерджи»

Какие подходы применяются на практике

Общеизвестные технические подходы включают:

Портландцемент с ускорителями и подогревом.

Применяются хлорид кальция или натрия, силикатные ускорители, щёлочи и другие добавки, а также подогрев воды затворения и внутриколонного пространства. Подход работает преимущественно на растворах нормальной плотности при температурах выше 10 °С. Нагрев требует дополнительной инфраструктуры на кустовой площадке, может приводить к избыточному росту реологии и повышению экзотермии в ММП.

Гипсовые и гипсоцементные вяжущие. Тампонажный

гипс схватывается при температурах, близких к нулю, без подогрева и обеспечивает быстрый набор ранней прочности. Поэтому арктические тампонажные смеси часто проектируют на его основе. Компромисс заключается либо в коротком собственном времени схватывания, либо в снижении начальной прочности при использовании замедлителей.

Механизм работы замедлителя в цементном растворе

Замедлители не «*выключают*» гидратацию, а удлиняют индукционный период — интервал, в течение которого раствор остаётся подвижным. Обычно выделяют четыре механизма взаимодействия добавки с вяжущим:

КАК РАБОТАЕТ ЗАМЕДЛИТЕЛЬ СХВАТЫВАНИЯ

Гипсовая (арктическая) тампонажная система, температура цементирования 0...+20 °C



Адсорбция. Крупные анионы и молекулы замедлителя адсорбируются на поверхности частиц вяжущего и препятствуют дальнейшей реакции с водой.

Осаждение. Замедлитель реагирует с компонентами вяжущего и формирует на зёрнах малопроницаемое покрытие.

Комплексообразование, или хелатирование.

Функциональные группы связывают ионы Ca^{2+} в устойчивые пяти- и шестичленные циклы, снижая концентрацию свободного кальция и отодвигая пересыщение, необходимое для кристаллизации.

Отравление центров зародышеобразования. Молекулы замедлителя адсорбируются на зародышах $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и C-S-H и останавливают их рост.

Ни одна из этих теорий по отдельности не объясняет весь механизм замедления. Реальный продукт почти всегда действует сразу по нескольким механизмам. Результат зависит не только от того, насколько сильно молекула связывает кальций, но и от того, насколько «мягко» она отпускает систему после завершения индукционного периода. Именно этот параметр во многом определяет раннюю прочность.

Редардер ЛТ (Retarder LT): решение для гипсовых систем

Если свести практику к одной таблице, для низкотемпературных гипсовых систем плотностью $1,5 \text{ г/см}^3$ картина выглядит следующим образом.

Решение	Время закачки	Прочность за 8 ч	Ограничение
Гипсовая система без замедлителя	минуты	высокая	не проходит по прокачиваемости

Базовый замедлитель (лимонная кислота, цитрат натрия) 0,8% bwoc	~ 4 часа	~ 100 psi	ранняя прочность на минимуме, ОЗЦ растянуто
Цемент + ускоритель	управляемо	зависит от условий	растепление ММП
Синтетический замедлитель Ретардер ЛТ гипсовых систем	более 4 часов	~ 500 psi	ввод в сухую смесь

Материал технического блога «Ойл Энерджи». Приведённые значения получены в лабораторных условиях при указанных плотностях и дозировках. Для конкретной скважины рецептура должна подбираться на системе заказчика.

Значения для базового решения и Ретардер ЛТ получены в ходе лабораторных испытаний при плотности раствора 1,5 г/см³ и одинаковой дозировке 0,8% от массы вяжущего. В лабораторном сравнении Retarder LT обеспечил примерно пятикратное увеличение ранней прочности при сохранении прокачиваемости цементного раствора.

Редардер ЛТ (Retarder LT) — синтетический замедлитель схватывания для гипсовых, в том числе арктических, тампонажных систем. Продукт разработан для сохранения требуемого времени закачки и обеспечения **прочности выше 500 psi через 8 ч при температурах цементирования от 0 до 20 °C**, включая облегчённые системы.

Технические характеристики продукта Ретардер ЛТ

Форма выпуска: порошок белого цвета, нерастворимый в воде.

Химическая природа: синтетический замедлитель схватывания.

Дозировка: 0,3–1,5% от массы тампонажного гипса, в зависимости от требуемого времени закачки и плотности раствора.

Способ ввода: только в сухую цементную смесь.

Ожидаемый результат: возможность получить прочность 500 psi менее чем за 12 ч и продолжить буровые работы.

Редардер ЛТ (Retarder LT) входит в линейку продуктов 2026 года вместе с другими **замедлителями** этой серии.

FAQ

Что такое замедлитель схватывания тампонажного раствора?

Это химическая добавка, которая удлиняет индукционный период гидратации вяжущего и тем самым увеличивает время, в течение которого раствор остаётся прокачиваемым. Действие обеспечивается адсорбцией на частицах, образованием малопроницаемого слоя, хелатированием ионов Ca^{2+} и торможением роста зародышей гидратных фаз

Почему гипсовым системам нужен отдельный замедлитель?

Гипсовые, в том числе арктические, системы быстро схватываются при температурах, близких к нулю. Многие традиционные замедлители, увеличивая время закачки, одновременно замедляют набор ранней прочности. Retarder LT разработан специально для гипсовых тампонажных систем

В каком диапазоне температур работает замедлитель Редардер ЛТ?

Продукт рассчитан на температуры цементирования от 0 до 20 °C, включая облегчённые системы, где требуется получить прочность более 500 psi через 8 ч

Какая дозировка и как вводить продукт?

Рекомендуемая дозировка составляет от 0,3 до 1,5% от массы тампонажного гипса - в зависимости от требуемого времени закачки и плотности раствора. Продукт вводится только в сухую цементную смесь, поскольку он не растворим в воде

Чем это решение отличается от базовых замедлителей?

При одинаковой дозировке 0,8% BWOC базовое решение при плотности 1,5 г/см³ обеспечивает около 4 ч времени закачки и около 100 psi прочности через 8 ч. Retarder LT при тех же лабораторных условиях обеспечивает более 4 ч времени закачки и 500 psi прочности через 8 ч - то есть примерно в пять раз более высокую раннюю прочность без потери прокачиваемости. Это может сократить продолжительность ОЗЦ

На какой стадии находится продукт и можно ли получить рецептуру сейчас?

Продукт Ретардер ЛТ проходит масштабирование производства. Лабораторное сопровождение и подбор рецептуры под систему заказчика доступны уже на этом этапе. Для расчёта необходимы марка вяжущего, плотность раствора, состав воды затворения, температура интервала и целевые показатели по времени закладки и прочности

Источник: <https://blog.onrg.ru/retarder-low-temperature-cementing/>