

ние полимерных частиц. Распирающее давление прочно удерживает фрагменты геля в каналах поглощающей зоны. В тоже время, данный подход имеет ряд ограничений, связанных с особенностями химического строения полиакриламида. Гидратации геля препятствует высокая концентрация солей, низкое значение рН, а также высокое содержание ионов кальция и магния [1].

Проведенный анализ, позволяет сделать вывод о том, что на сегодняшний день, существует ряд методов ликвидации поглощений, которые превосходят традиционные как по затратам, так и по времени проведения работ. В случае высокоинтенсивных поглощений рекомендуется применять пеноцементный изоляционный материал, как один из наиболее эффективных. Также следует отметить способ применения сшивающихся гелиевых составов, который благодаря малому количеству затрачиваемых реагентов для приготовления состава является менее затратным.

#### Список литературы

1. Байтимиров Э.М., Комаров А.О., Бармин А.В., Гладков А.А., Чувьуров М.Ю. Эффективные решения по ликвидации поглощений бурового раствора // Бурение и нефть. – 2012. – май.
2. Джон Кук, Фред Гроукок, Цюань Го, Майк Ходдер, Эрикван Орт // Stabilizing the Wellbore to Prevent Lost Circulation Oilfield Review Winter 2011-2012.
3. Ильясов С.Е., Гаршина О.В. Пеноцементный изоляционный материал для ликвидации высокоинтенсивных поглощений // Территория нефть-газ. – 2013. – № 5 май.

### Результаты теоретических исследований по углекислотной коррозии цементного камня

**Минченко Ю.С., Селокова В.Н., Чернявский Р.Г., Солижонов Ш.А.**  
*Северо-Кавказский федеральный университет, г. Ставрополь, Россия*

*Содержание в составе газа такого коррозионно-активного агента, как  $CO_2$ , предопределяет необходимость решения ряда технических и экологических проблем, особую сложность среди которых из-за агрессивного влияния  $CO_2$  на цементный камень представляет проблема обеспечения герметичности заколонного пространства скважин. До сих пор механизм коррозионного поражения цементного камня и физико-химические факторы, определяющие скорость процесса в среде  $CO_2$ , остаются до конца не выясненными.*

Проблемы коррозии цементного камня под действием агрессивной углекислоты стали изучать сравнительно недавно. Долго существовало мнение о неагрессивности ионов  $HCO_3^-$ ,  $CO_3^{2-}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $Cl^-$  и т.д. Это связано с тем, что эксперименты проводили при нормальных условиях и малых концентрациях углекислоты. Высокие пластовые давления в скважинах с нормальными температурами (до 40 °С) превращают химически малоактивную углекислоту, относящуюся к разряду слабых кислот, в реагент, способный разрушить цементный камень [1].

Считалось, что наиболее стойким в углекислотной среде является глиноземистый цемент, на втором месте – пуццолановый цемент и на последнем – портландцемент. Результаты исследований, проведенных В.В. Киндом [2], дали обратный результат.

По данным У.Д. Мамаджанова [3] наиболее стойкими оказались образцы чистого портландцемента, фосфорного шлака и кислого цементного шлака, а образцы из цемента-бентонитовых смесей и вольского облепченного цемента не показали стойкости при испытаниях.

В.М. Москвиным была предложена классификация основных видов коррозии. На основе полученных экспериментальных данных и накопленного опыта эксплуатации строительных сооружений при воздействии различных агрессивных сред многочисленные процессы, протекающие при коррозии цементного камня, были разделены на три основных вида, в пределах каждого из которых процессы коррозии объясняются основными ведущими признаками [4].

Коррозия первого вида – разрушение цементного камня в результате растворения и вымывания некоторых его составных частей (коррозия выщелачивания). При действии воды на цементный камень вначале растворяется и уносится водой свободный гидроксид кальция, образовавшийся при гидролизе, содержание которого в цементном камне через 1–3 месяца твердения достигает 10–15 %, а растворимость при обычных температурах – 1,3 г/л. После вымывания свободного гидроксида кальция и снижения его концентрации ниже 1,1 г/л начинается разложение гидросиликатов, а затем гидроалюминатов и гидроферритов кальция. В результате выщелачивания повышается пористость цементного камня и снижается его прочность.

Коррозия второго вида отличается от коррозии первого вида тем, что повреждение цементного камня определяется не только растворением компонентов цементного камня, но и их химическим взаимодействием с агрессивными компонентами, содержащимися в воде с образованием растворимых продуктов коррозии или с выделением трудно растворимых соединений в виде рыхлых новообразований, не обладающих прочностными свойствами. Если при коррозии первого вида ее интенсивность ограничивается низкой растворимостью основного выщелачиваемого компонента цементного камня – гидроксида кальция, – то при коррозии второго вида степень коррозионного повреждения определяется реакционной емкостью раствора и свойствами продуктов коррозии. В зависимости от второго фактора (свойств продуктов коррозии) коррозионный процесс может идти с постепенным усилением по мере разрушения цементного камня, а может и затухать, если продукты коррозии нерастворимы и создают малопроницаемую оболочку на внешней поверхности цементного камня или на внутренней поверхности его порового пространства. Во всех случаях наложение химического процесса на процессе растворения гидроксида кальция значительно усиливает коррозионный процесс.

На первой стадии контакта фактором, ограничивающим разрушение цементного камня, является скорость образования бикарбоната, зависящая от концентрации и реакционной ёмкости агрессивного раствора. На последующих стадиях, когда скорость притока агрессивного  $CO_2$  не является лимитирующим фактором скорости коррозии, фактором, определяющим скорость разрушения цементного камня, становятся площадь реагирующей поверхности цементного камня и диффузионное сопротивление слоя продуктов коррозии цементного камня.

Рассмотрим условия развития коррозии в случае, когда вода, содержащая агрессивную уголекислоту, фильтруется через цементный камень. Последовательность развития процессов коррозии можно представить схематически (см. рисунок). В начале своего пути фильтрующаяся вода, содержащая агрессивную уголекислоту, постепенно насыщается бикарбонатом кальция и разрушает цементный камень. Бикарбонат уносится водой, а на месте остаются не обладающие вяжущими свойствами конечные продукты разрушения цементного камня в виде геля гидроксидов кремния, алюминия и железа [5].

Зона I, в которой происходит насыщение воды бикарбонатом (рисунок 1), является «зоной разрушения». Насыщенный раствор бикарбоната встречает на своём дальнейшем пути гидроксид кальция, и в результате из него постепенно выпадает в осадок малорастворимый карбонат кальция. В зоне II («зоне уплотнения») происходит сужение каналов, по которым движется вода, т. е. уплотнение цементного камня. На последующем пути фильтрующаяся вода, полностью лишённая уголекислоты, растворяет цементный камень по механизму коррозии Первого вида (зона III или «зона выщелачивания»).

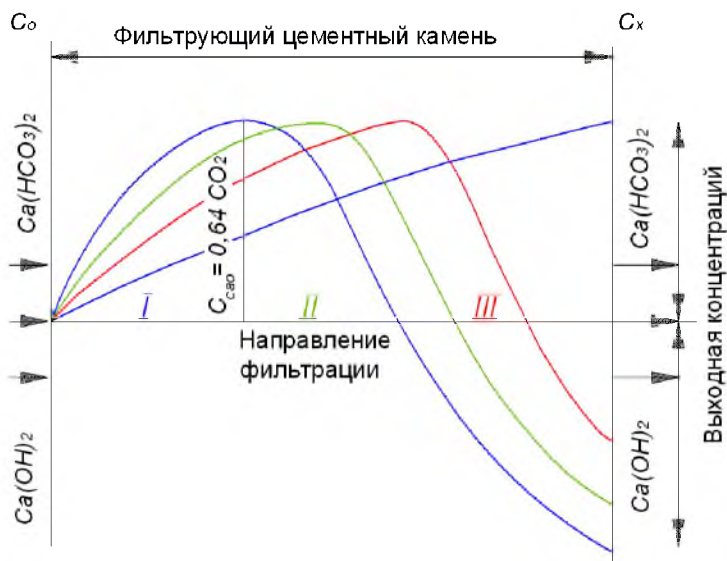


Рисунок 1. Схема последовательного развития коррозионного процесса при фильтрации уголекислых вод через цементный камень: I – зона разрушения (образование бикарбонатов); II – зона уплотнения (выпадение карбонатов в осадок); III – зона выщелачивания

По мере развития коррозионного процесса на первом участке граница «зоны разрушения» постепенно сдвигается вправо. Соответственно сдвигаются и границы других зон. Наиболее интенсивное разрушение цементного камня начнётся тогда, когда граница «зоны разрушения» достигнет безнапорной грани цементного камня (у обсадной колонны). До этого момента эффект уплотнения внутренних частей цементного камня несколько снижает эффект

разрушения от действия агрессивной углекислоты. Поэтому, если при фильтрации воды, содержащей агрессивную углекислоту, в прошедшем через цементный камень фильтрате обнаруживается гидроксид кальция, то можно рассчитывать на некоторое уплотнение цементного камня со временем с соответствующим уменьшением фильтрации. Если же в фильтрате обнаруживается бикарбонат-ион и агрессивная углекислота, то на уплотнение и уменьшение фильтрации рассчитывать уже нельзя. Наоборот, можно ожидать дальнейшего увеличения фильтрации и интенсификации коррозии цементного камня.

На основе проведенного теоретического анализа дальнейшей работе планируется проведение ряда исследований влияния  $\text{CO}_2$  на цементный камень, полученный из тампонажных растворов, для крепления скважин в условиях углекислотной агрессии [6].

#### Список литературы

1. Агзамов, Ф.А. Долговечность тампонажного камня в коррозионно-активных средах / Ф.А. Агзамов, Б.С. Измухамбетов. – СПб.: ООО «Недра», 2005. – 318 с.

2. Кинд, В.В. Коррозия цемента и бетона в гидротехнических сооружениях / В.В. Кинд. – М.: Госэнергоиздат, 1955. – 230 с.

3. Мамаджанов, У.Д. Коррозия тампонажных цемента в углекислотной среде / У.Д. Мамаджанов // Тр. / АН УзССР, отд. техн. наук. – Ташкент, 1976. – С. 69-73.

4. Москвин, В.М. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты / В. М. Москвин, Ф. М. Иванов [и др.] / под общ. ред. В.М. Москвина. – М.: Стройиздат, 1980. – 536 с.

5. Гасумов Р.А. Техничко-технологические предложения по креплению скважин подземных гелиохранилищ в каменных солях / Р.А. Гасумов, М.А. Кашапов, Ю.С. Минченко // НТЖ «Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море». – № 7. –2016. – С. 37-41.

6. Минченко, Ю.С. Исследование влияния углекислого газа на прочностные характеристики цементного камня в заколонном пространстве скважин / Булатовские чтения: материалы I Международной научно-практической конференции. Т. 3. Бурение нефтяных и газовых скважин. – Краснодар: Издательский Дом–Юг. – 2017. – С. 177-180.