

УДК 620.97

ОТЛОЖЕНИЕ КАРБОНАТА КАЛЬЦИЯ В ГЕОТЕРМАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ: ПРИЧИНЫ, ИХ ВЛИЯНИЕ НА РАБОТУ СИСТЕМ И МЕТОДЫ БОРЬБЫ С НИМИ

Кутько Д.В. (Университет ИТМО)

Научный руководитель – к.т.н. Рахманов Ю.А.
(Университет ИТМО)

Введение. Геотермальная энергетика активно развивается в последние годы, так как представляет интерес, как способ получения возобновляемой энергии, не связанной со сжиганием большого количества ископаемого топлива и выбросом парниковых газов в атмосферу. Существуют открытые геотермальные системы, где флюид проходит непосредственно через пласт, их строительство требует меньших затрат, но имеет определенные недостатки. Так, например, в скважинах и циркуляционной системе могут образовываться отложения карбоната кальция.

Основная часть. В эксплуатационных скважинах образование кальцитовой корки обычно происходит вблизи точки, где перегретая жидкость переходит в газообразное состояние из-за снижения давления вследствие снижения растворимости кальцита. На растворимость кальция влияют парциальное давление CO_2 и температура жидкости. Таким образом, при одних и тех же температурах растворимость кальцита увеличивается с повышением парциального давления CO_2 .

Кроме того, из-за более низкой растворимости кальцита при более высоких температурах осаждение кальцита, как правило, происходит преимущественно в средней части или на неглубоких участках эксплуатационных скважин, где происходит превращение жидкости в газ. Этот вопрос может представлять серьезную проблему, подчеркивая необходимость решения проблемы осаждения кальцита в этих конкретных местах.

Одним из примеров ингибитора, замедляющего отложение кальцита является полиакрилат натрия ($\text{C}_2\text{H}_3\text{COONa}$). В эксплуатационных скважинах в скважину вводится капиллярная трубка до тех пор, пока она не достигнет глубины точки, где жидкость переходит в газ. На этом этапе химический ингибитор может быть введен непосредственно для предотвращения образования отложений. Такое целенаправленное применение ингибитора помогает уменьшить образование отложений кальцита в конкретных областях, где это наиболее вероятно [1].

Но кроме введения полиакрилата натрия существуют другие, менее известные способы борьбы с отложениями кальцита. Например, введение в флюид полималеиновых ангидридов. Эти полимеры известны своей термостойкостью, выдерживая температуру примерно до 300°C [2]. Также высокую эффективность показывает введение сложных фосфатных эфиров. Однако фосфонаты имеют более низкий температурный предел, ниже которого их эффективность снижается. Кроме того, не содержащие фосфора ингибиторы на основе полиаспаратов в настоящее время считаются наиболее перспективной альтернативой традиционным ингибиторам образования отложений на основе органических фосфонатов. Эти ингибиторы эффективны в предотвращении образования отложений на основе карбоната кальция (CaCO_3) из-за обильного присутствия групп карбоновых кислот в их молекулярной структуре. Одним из существенных преимуществ ингибиторов на основе полиаспаратов является их способность к биологическому разложению. Однако следует отметить, что эффективность ингибирования образования корки полиаспаратами значительно снижается при высоких температурах, что ограничивает его практическое применение.

На возникновение отложений карбоната кальция влияет повышение концентрации Ca , на которое влияют как температура пласта, так и процесс взаимодействия воды с породой. Следовательно, регулирование как концентрации Ca , так и температуры становится решающим для предотвращения проблем с отложениями. Кроме того, существует

несколько других мер и шагов, которые могут быть предприняты для эффективного уменьшения образования отложений карбоната кальция [1]:

1. Перед бурением скважин на месте крайне важно провести тщательное исследование содержания кальция (Ca) в пласте. Это исследование должно быть подкреплено конкретной геологической информацией, полученной в ходе геологоразведочных работ.
2. Циркуляционная система играет важную роль в процессе масштабирования. Для решения этой проблемы есть два ключевых соображения. Во-первых, увеличение расстояния между скважинами примерно до 500 метров может помочь свести к минимуму воздействие масштабирования. Такое расстояние позволяет снизить вероятность взаимодействия флюидов, устраняя проблемы образования отложений. Во-вторых, полезно контролировать температуру и скорость закачки. Температуру в нагнетательной скважине следует поддерживать на более низком уровне, чтобы предотвратить растворение ангидрита. Кроме того, продолжительность циркуляции также может быть решающим фактором для управления, поскольку более короткие периоды циркуляции могут помочь свести к минимуму риск образования отложений [3].
3. В случаях, когда образование отложений ангидрита представляет более серьезную проблему по сравнению с образованием отложений карбоната кальция, практичным решением является использование метода обратной циркуляции. Этот метод включает закачку воды в эксплуатационную скважину и направление ее потока к нагнетательной скважине. Изменив направление циркуляции, можно эффективно управлять и уменьшать вероятность образования отложений ангидрита.
5. Кроме того, управление дегазацией CO₂ является еще одним важным подходом. Это включает в себя контроль выделения газообразного CO₂ из геотермальной жидкости, что помогает уменьшить проблемы образования отложений, связанных с карбонатом кальция и другими минеральными отложениями.

Заключение. Отложение карбоната кальция негативно влияет на работу геотермальных систем, поэтому для предотвращения их образования требуется предпринимать определенные меры. В данной работе описаны условия формирования карбонатной корки, ее влияние на работу геотермальных систем и методы борьбы с отложениями, проведен анализ и сравнение ингибиторов. Среди наиболее перспективных методов можно выделить введение в циркулирующий флюид полиакрилата натрия, полиаспаратов, полималеиновых ангидридов и фосфатных эфиров, а также увеличение расстояния между скважинами и недопущение повышения температуры выше расчетных параметров.

Список использованных источников:

1. Yanagisawa Norio. Case Study of Calcium Carbonate Scale at EGS and Hot Spring Binary System [Conference] // Proceedings World Geothermal Congress 2015. - Melbourne, Australia : [s.n.], 2015.
2. Liang Gong Dongxu. Research status and development trend of technologies for enhanced geothermal systems [Journal]. - China : Natural Gas Industry B, 2023. - 2 : Vol. 10.
3. Lorena M. Daco-ag Katrina A. Belas-Dacillo. Experiences with Different Calcite Inhibitor in the Mahanagdong Geothermal Field [Conference] // Proceedings World Geothermal Congress . - Bali, Indonesia : [s.n.], 2010.