

4. вторичные процессы трещинообразования в окружающих горных породах [3].

В 1976-87 гг. были проведены подземные ядерные взрывы – на глубинах свыше 1500 м для увеличения притоков газа и нефти из осинского горизонта и один взрыв на глубине 815,3 м для создания емкости – хранилища в соляных отложениях.

В результате применения мощного термобарического воздействия в соседних скважинах были получены притоки нефти и газа. В таблице 1 приведено сопоставление результатов испытания по характерным скважинам, задействованным в данных экспериментах, до и после их проведения [2].

В четырех случаях на этих скважинах проводилась опытно-промышленная эксплуатация (ОПЭ).

Анализ результатов проведения термобарического воздействия выявил две основные причины нецелесообразности использования МПЯВ для интенсификации притока:

снижение продуктивности в ходе опытно-промышленной эксплуатации в связи с временным характером трещин, образованных в результате термобарического воздействия, а также с образованием кольца избытка плотности горных пород вокруг скважины.

экологический аспект нецелесообразности проведения подземных мирных ядерных взрывов, связанный с возникновением сложностей при вводе осинского горизонта в промышленную эксплуатацию и с появлением вероятности попадания радионуклидов в ботуобинский продуктивный горизонт посредством миграции пластовой воды по диффузионным нарушениям и по стволам пробуренных скважин.

В настоящий момент добыча углеводородного сырья производится из ботуобинского горизонта. Для ввода осинского горизонта в эксплуатацию необходимо провести следующие геолого-технические мероприятия:

1. дополнительное изучение коллекторских свойств осинского горизонта на предмет ориентации и расположения трещин в карбонатных породах;
2. использование высококонцентрированного эмульсионного бурового раствора при вскрытии и освоении;
3. использование горизонтальных участков скважин в продуктивных горизонтах;
4. применение гидроразрыва пласта с последующей фиксацией трещин;
5. испытание с применением большеобъемных солянокислотных обработок.

Литература

1. Конторович А.А. Создание трехмерных геологической и гидродинамической моделей Среднеботуобинского месторождения и анализ достигаемых КИН. ИГНГ СО РАН, ЗАО «Красноярскгеофизика», г. Новосибирск, г. Красноярск, 2006.
2. Петров М.М. Обобщение и анализ промысловых данных и рекомендации для поисков скоплений углеводородов в осинском горизонте Непско-Ботуобинской антеклизы // Нефтегазовое дело. – 2010.
3. Туги Э.Р., Поплюйко А.Г., Воронин В.М. Прогноз вероятности возникновения негативных последствий, связанных с перетоком нефти, газа и пластовых вод на месторождения углеводородного сырья Республики Саха Якутия. НПП «ЛЭРТ-ЭКОС», г. Якутск, 1994.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНЫХ УСЛОВИЙ ОТВОДА ЭНЕРГИИ ОТ ТЕПЛОАГРУЖЕННЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ

В.М. Гумеров, А.О. Опарин, М.В. Пискунов, Д.В. Урмаев

Научный руководитель профессор П.А. Стрижак

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

После аварии на АЭС Фукусима–1, в результате которой температура топливных элементов в активной зоне возросла до 1200–1400 К [1], проблема, связанная с необходимостью обеспечения быстрого охлаждения ограждающих конструкций реакторов АЭС, а также поверхностей технологического оборудования, функционирующего при высоких температурах, является достаточно актуальной.

Цель настоящей работы – исследование и сравнение процессов испарения капель воды, содержащих крупные включения, изготовленные из углеродистой стали марки AISI 1080, нержавеющей стали марки AISI 316L и никеля (чистый металл), при нагреве в высокотемпературной (до 900 К) газовой среде.

Экспериментальный стенд и методы исследований

Данное исследование выполнено с применением лабораторного стенда, внешний вид которого представлен на рис. 1. По основным элементам этот стенд аналогичен примененному в экспериментах [2]. Кроме того, методика проведения экспериментов по основным этапам также являлась аналогичной примененной в [2].

Необходимо отметить, что стали наиболее часто применяются при возведении ограждающих конструкций технологического оборудования во многих отраслях промышленности, в том числе и в нефтегазодобывающей.

Использовались высокоскоростная видеокамера 1 «Phantom V411» и программное обеспечение «Phantom Camera Control», позволяющее проводить обработку снятого видеоматериала. За счет совместной работы нагнетательной системы и вытяжной вентиляции, образующими систему воздушного потока 10, скорость движения потока продуктов сгорания поддерживалась на уровне 1,5–2 м/с. При такой скорости движения потока газов u_g сохранялась целостность неоднородной капли жидкости. Кроме того, при такой скорости газов обеспечивалась необходимая высота пламени, соответствующая длине металлического цилиндра 12. В качестве

горючей жидкости использовался технический спирт. Он заливался в горелку 11, представляющую собой низкий металлический цилиндр диаметром 0,12 м с дном. Как и в исследовании [2], капля воды 17, содержащая металлическое включение 16, закреплялась на керамическом стержне 15. Условия полного обволакивания металлического включения 16 каплей воды 17 и стабилизации начальной температуры включения 16 являлись обязательными и выполнялись перед каждым экспериментом. Включения взвешивались с применением аналитических весов 13 (погрешность измерения 0,001 г). Масса капель воды, опускаемых на включения, варьировалась в диапазоне от 5 до 15 мг. Измерение и регистрация температуры газовой среды T_g проводились установленной с области взаимодействия неоднородных капель жидкости и продуктов сгорания хромель-алюмелевой термопарой 3.

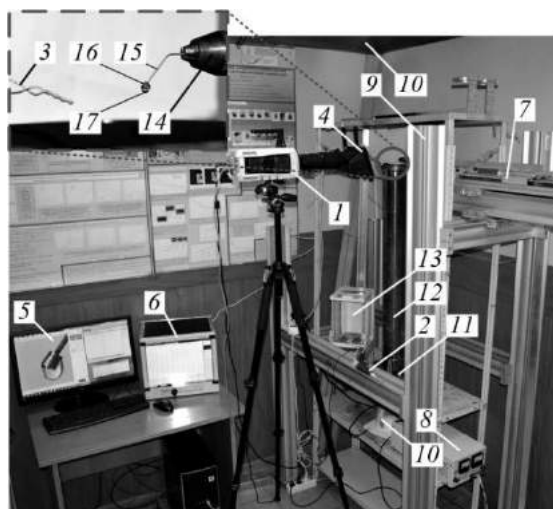


Рис.1. Внешний вид экспериментального стенда: 1 – высокоскоростная видеокамера, 2 – дозатор, 3 – термопара, 4 – прожектор, 5 – персональный компьютер (ПК), 6 – регистратор температуры, 7 – передвижной координатный механизм, 8 – блок питания передвижного механизма, 9 – алюминиевая стойка, 10 – система обеспечения воздушного потока, 11 – горелка, 12 – металлический цилиндр, 13 – аналитические весы, 14 – устройство для крепления керамического стержня, 15 – керамический стержень, 16 – металлическое включение, 17 – капля воды

Эксперименты проводились в несколько этапов:

1. Неоднородная капля жидкости подавалась в область взаимодействия с продуктами сгорания с помощью передвижного механизма 7.
2. Проводилась видеозапись появившейся в кадре неоднородной капли жидкости, и фиксировалось начальное время ее испарения $\tau_{\text{н}}$. Металлическое включение после испарения воды выводилось из газовой среды.
3. Металлическая частица охлаждалась, и затем на нее опускалась новая капля воды. Далее, шаги (1) и (2) повторялись.

После 5–7 опытов горючее прогорало. При этом, температура газовой среды T_g увеличивалась с ~300 К до ~900 К. Между сериями экспериментов анализировались по записанному видео материалу времена существования неоднородных капель воды $\tau_{\text{н}}$ в высокотемпературной газовой среде, а также определялись соответствующие им диапазоны изменения температуры газовой среды T_g .

Систематические погрешности определения времен существования неоднородных капель воды составляли менее 10^{-3} с. Систематические погрешности средств измерения размеров включения – 0,05 мм. Случайные погрешности определения температуры газовой среды и времен существования капель составили 9 %.

На рис. 2 представлены экспериментальные значения времен существования капель воды, содержащих одиночные включения из разных металлов размером 1 мм, при температуре газовой среды 350 К. Кроме того, проведены аналогичные эксперименты при 600 и 850 К.

Поскольку выявить какую-либо однозначную закономерность изменения времен существования при увеличении объема воды и температуры газовой среды достаточно сложно, оценены времена прогрева слоя воды и металлического включения. Кроме того, выполнено оценочное соотношение энергий фазового превращения (парообразования), а также поглощаемых водой и металлическим включением. Также установлено, что при нагреве неоднородной капли жидкости может быть реализовано два режима теплообмена в рассматриваемой системе «включение – пленка воды». С применением тепловизионной съемки подтверждено существование одного из режимов теплообмена.

В качестве практического развития физических аспектов выполненного исследования предлагается создавать на наружных поверхностях ограждающих конструкций теплообменные слои на основе теплоемкой и высокотеплопроводной суспензии, состоящей из воды и специализированных включений.

Результаты проведенного исследования расширяют экспериментальную базу по вопросам, связанным с условиями и характеристиками реализации интенсивных эндотермических фазовых превращений.

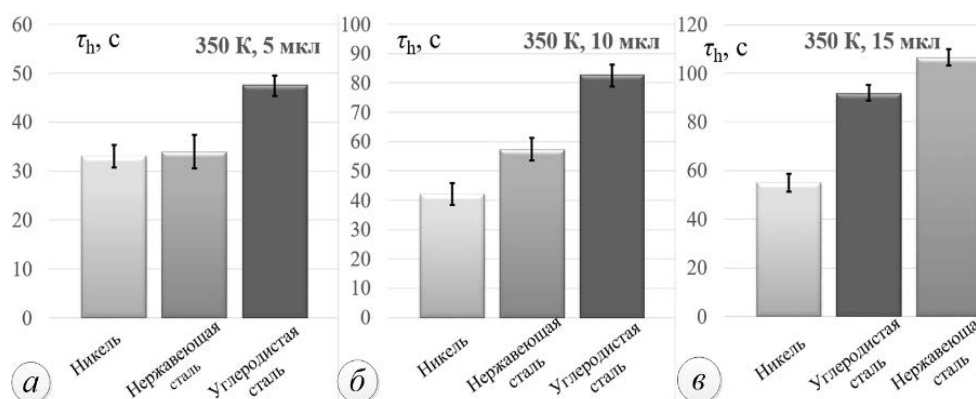


Рис.2 Времена существования капель воды (объемом 5 мкл (а), 10 мкл (б) и 15 мкл (в)), содержащих металлические включения (размером 1 мм), при температуре газовой среды 350 К

Закключение

Полученные результаты показали, что при нагреве капель воды с металлическими включениями в высокотемпературной среде выполнялся сложный комплекс фазовых превращений. Установлено, что доминирующим механизмом фазовых превращений являлось испарение с внешней поверхности капель. При обсуждении результатов экспериментов выдвинуто несколько предположений о сложном характере распределения времен существования неоднородных капель жидкости в высокотемпературной газовой среде.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации (МД-2806.2015.8).

Литература

1. Green, W.J., Lawther, K.R. A study of the sensitivity of LOCA heat transfer analysis for a water-cooled reactor system//Nuclear Engineering and Design. – 1978. – V. 47. P.87–99.
2. Kuznetsov G.V., Piskunov M.V., Strizhak P.A. Evaporation, boiling and explosive breakup of heterogeneous droplet in a high-temperature gas//International Journal of Heat and Mass Transfer. – 2016. – V. 92. – P.360–369.

НАКОПЛЕНИЕ РЕТРОГРАДНОГО КОНДЕНСАТА В ПРИЗАБОЙНОЙ ЗОНЕ

Дао Тхань Чьонг

Научный руководитель профессор Ю.В. Савиных

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

По истечению некоторого времени эксплуатации наблюдалось изменение продуктивности скважин во всех газоконденсатных месторождениях в мире. Это изменение непосредственно связано с различными процессами, факторами, вызывающими ухудшение фильтрационно-ёмкостных свойств пласта, такими как: загрязнение призабойной зоны скважины, разрушение стенок ствола скважин, конденсатное накопление. Основным направлением этой работы является оценка проблемы конденсатной закупорки и предложение решения по увеличению производительности скважин в этих газоконденсатных скважинах. Конденсатное накопление негативно сказывается на больших природных газоконденсатных резервуарах в мире. Например, Штокмановское месторождение, месторождение Арун в Индонезии и Северное месторождение в Катаре. Насыщение конденсатной жидкостью может создаться в скважине из-за перепада давления ниже давления точки росы, в конечном счете, ограничивая поток газа. Прискважинное накопление может уменьшить производительность скважины по двум или трём факторам. Это явление, называемое блокированием конденсата, является результатом комбинации факторов, включающих: фазовое свойство жидкости, характеристики потока и давление в пласте и в стволе скважины. Если этим факторам не уделять внимание на начальной стадии разработки, рано или поздно произойдет снижение производительности.

Газоконденсат является однофазной газовой системой при исходных пластовых условиях. Он состоит преимущественно из углеводородов, а также может содержать CO₂, H₂S. При разработке температура пласта обычно не меняется, но уменьшается давление. При определенных значениях температуры и давления произойдет конденсация жидкой фазы из пластового газа. Эта жидкость называется ретроградным конденсатом. Наибольший перепад давления происходит вблизи призабойной зоны эксплуатационных скважин. Непрерывное уменьшение давления увеличивает объем жидкой фазы до максимальной величины, а потом уменьшается. Такое поведение может быть отображено на диаграмме давление–температура (рис. 1).