УДК 532.529

ПОЛУЧЕНИЕ ГАЗОГИДРАТА ФРЕОНА R134A ПРИ ИНЖЕКЦИИ ЖИДКОГО АЗОТА В ВОДУ

Накоряков В.Е., Мезенцев И.В., Мелешкин А.В., Елистратов Д.С., Мезенцева Н.Н.

Институт теплофизики им.С.С.Кутателадзе СО РАН, Новосибирск, Россия

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Правительства РФ №11.G34.31.0030 и гранта РФФИ № 14-08-31620-мол_а.

АННОТАЦИЯ

В данной работе представлено продолжение экспериментальных исследований гидродинамических процессов, возникающих в результате инжектирования криогенной жидкости в воду. Актуальность задачи обусловлена исследованием метода получения газогидратов с помощью воздействия высокоамплитудных импульсов давления на насыщенную пузырьками фреона R134a воду. Преимущества данного метода перед другими заключаются в интенсификации процесса образования газогидратов, которая происходит вследствие значительного увеличения межфазной поверхности путем дробления пузырьков фреона в волне относительно движения других газовых пузырьков в жидкости, турбулизации движения жидкости за ударной волной и компенсация выделения тепла при гидратообразования за счет поглощения тепла при кипении жидкого азота. Этот метод позволяет миновать объемно-диффузионную стадию роста газогидрата, что позволяет на порядок выиграть в скорости интенсификации процесса гидратообразования по сравнению с аналогами.

Проведенная оптическая регистрация инжекции струи жидкого азота в насыщенную пузырьками воду показала наличие газогидрата фреона R134a во время протекания процесса. Данные результаты являются новым этапом исследования ударно-волнового метода получения газогидратов.

ВВЕДЕНИЕ

Идея создания двигателя на основе подачи в жидкость порции жидкого азота описана в [1-5]. Суть идеи заключается в том, что при контролируемой подаче в жидкость криогенного вещества происходит быстрое вскипание и расширение, которое приводит к резкому увеличению внутреннего давления. В дальнейшем в этом направлении были выполнены экспериментальные исследования по введению криогенного вещества в воду. В работе [3] криогенная жидкость подавалась в сосуд небольшого объема (140 мл). Объем инжектируемой жидкости был также мал и составлял порядка 2 мл. Так, например, при введении жидкого азота в воду под давлением 7 бар через 5 секунд после ввода давление достигает амплитуды в 14 бар.

Ранее нами были проведены экспериментальные исследования по вводу струи жидкого азота [6]. Максимальная амплитуда давления в проведенных экспериментах составила 53 бар, а скорость нарастания давления - 567 бар/с.

Полученные результаты являлись частью работ, необходимых для разработки нового метода получения газогидратов, основанного на ударно-волновом способе. Экспериментальные исследования процессов растворения и образования газовых гидратов за ударной волной представлены в работах [7, 8].

В данной работе представлен новый этап исследования ударно-волнового метода получения газогидратов, в рамках которого был получен газогидрат фреона R134a при инжектировании жидкого азота в рабочий участок, заполненный водой и пузырьками данного газа. Полученные результаты доказывает проделанная в ходе эксперимента высокоскоростная видеосъемка.

© Накоряков В.Е., Мезенцев И.В., Мелешкин А.В., Елистратов Д.С., Мезенцева Н.Н.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА

Для проведения экспериментальных исследований и одновременной оптической регистрацией процессов по получению газогидратов ударно-волновым методом была создана экспериментальная установка с возможностью введения под поверхность воды импульсным образом сжиженных газов, вплоть до метана (рис. 1). Данная установка позволяет исследовать гидродинамические процессы при высоких давлениях (диапазон рабочих давлений от 1 до 100 бар) и низких температурах (до -5 °С). Рабочий участок представляет собой параллелепипед длиной 740 мм (сечение 150*150 мм), изготовленный нержавеющей стали с толщиной стенки 15 мм. Наличие двух смотровых окон в рабочем участке, позволяли фиксировать происходящие процессы при подаче струи жидкого азота в воду, а именно проводить высокоскоростные оптические измерения. Газ подавался через генератор пузырьков. Волны давления регистрировались двумя пьезодатчиками Т200, расположенными ниже по длине трубы заподлицо с внутренней стенкой.

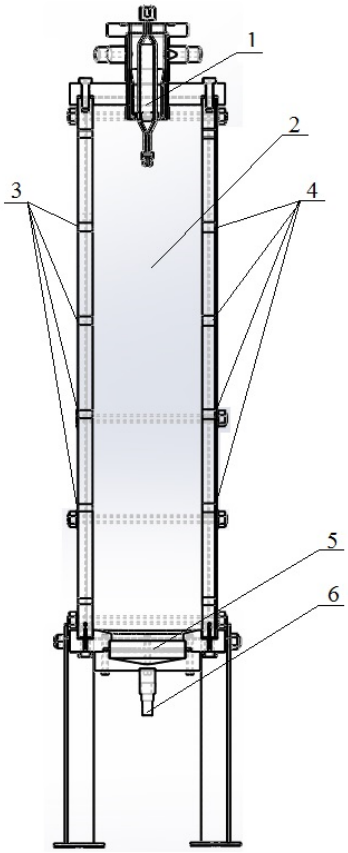

Рис. 1 Схема установки:

1 – инжектор, 2 – рабочий участок,
3 – термопары, 4 – датчики давления,
5 – генератор пузырьков,
6 – ввод газа.

Ввод жидкого азота в рабочий участок осуществляется подачей струи через инжектор, который служит для подачи с большой скоростью струи жидкого азота в воду. Объем вводимого жидкого азота составлял 28 мл. Схема инжектора представлена на Рис. 2, узел 1 обеспечивает заполнение инжектора жидким азотом. Заполнение осуществляется следующим образом: все устройство погружается в сосуд Дьюара, через кольцевую щель 2 жидкий азот заполняет весь объем вплоть до мембраны 6. После этого кольцевая щель герметично запирается конусом 3, имеется капилляр 1, через который накопленный в капсуле жидкий азот, после разрыва мембраны, выдавливается гелием под давлением до 150 бар. Узел 2 представляет собой сопло для ввода жидкости закрытое мембраной. После процедуры заполнения выводной конец инжектора закрывается мембраной 6 и шайбой 7. Далее они сжимаются прижимной гайкой 8. После этого инжектор герметично закреплялся над объемом с водой, а узел ввода (узел 2) помещался под поверхностью жидкости на глубину до 10 см и через капилляр инжектора 1, соединенный через трубопровод с баллоном для газа, имеющим давление до 150 бар, подавался гелий. При достижении некоторого критического давления мембрана разрывалась, и происходил ввод в воду порции жидкого азота равной объему камеры инжектора 4.

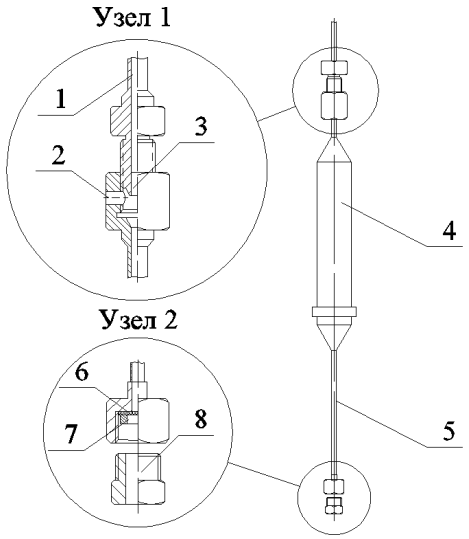

Рис. 2 Схема инжектора: 1 – капилляр для подачи гелия, 2 – кольцевая щель, 3 – конусообразный штуцер, 4 – камера инжектора, 5 – трубопровод, соединяющий камеру инжектора с узлом ввода, 6 – мембрана, 7 – шайба, 8 – прижимная гайка.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ГАЗОГИДРАТА ФРЕОНА R134A

Суть предлагаемого нового метода получения газогидратов, основанного на изобретении как на прототипе, но существенно более простого и дешевого состоит в том, что никаких дополнительных внешних источников импульсного давления не требуется. Здесь мощным средством генерации импульсов давления являются пульсирующие (колеблющиеся) газовые и паровые пузырьки, которые могут генерировать мощные импульсы давления, разрушающие даже сталь. Для инициации пульсаций пузырьков необходимо придать границе раздела значительную начальную скорость, например, микровзрывом. Для этих целей как раз и подходят струя жидкого азота, которая, как чистая криогенная жидкость, может перегреваться вплоть до значений температуры на спинодали. Последующий нагрев приводит к взрывному вскипанию части жидкого азота и разгона границы газовой полости.

В ходе экспериментальных исследований измерялась амплитуда давления при вскипании жидкого азота в воде с пузырьками фреона, максимальная величина которой составила 0,42 МПа. Данный скачок давления позволил довольно глубоко зайти в метастабильную зону равновесия газогидрата фреона R134a.

На рис. 3 приведена раскадровка полученной высокоскоростной съемки инжектирования жидкого азота в насыщенную пузырьками гидратообразующего газа воду. На первом кадре отчетливо виден насыщенный пузырьками фреона R134a рабочий участок, далее на втором кадре происходит ввод жидкого азота. На третьем и на четвертом кадре видено бурное перемешивание рабочего участка вследствие кипения жидкого азота под водой. На пятом и шестом кадре представлен рабочий участок уже после кипения жидкого азота. На них отчётливо видны желеобразные газогидратные хлопья, скорость образования которых составляет примерно 0,5 с., что позволяет ударно-волновому методу на порядок опережать все известные аналоги.

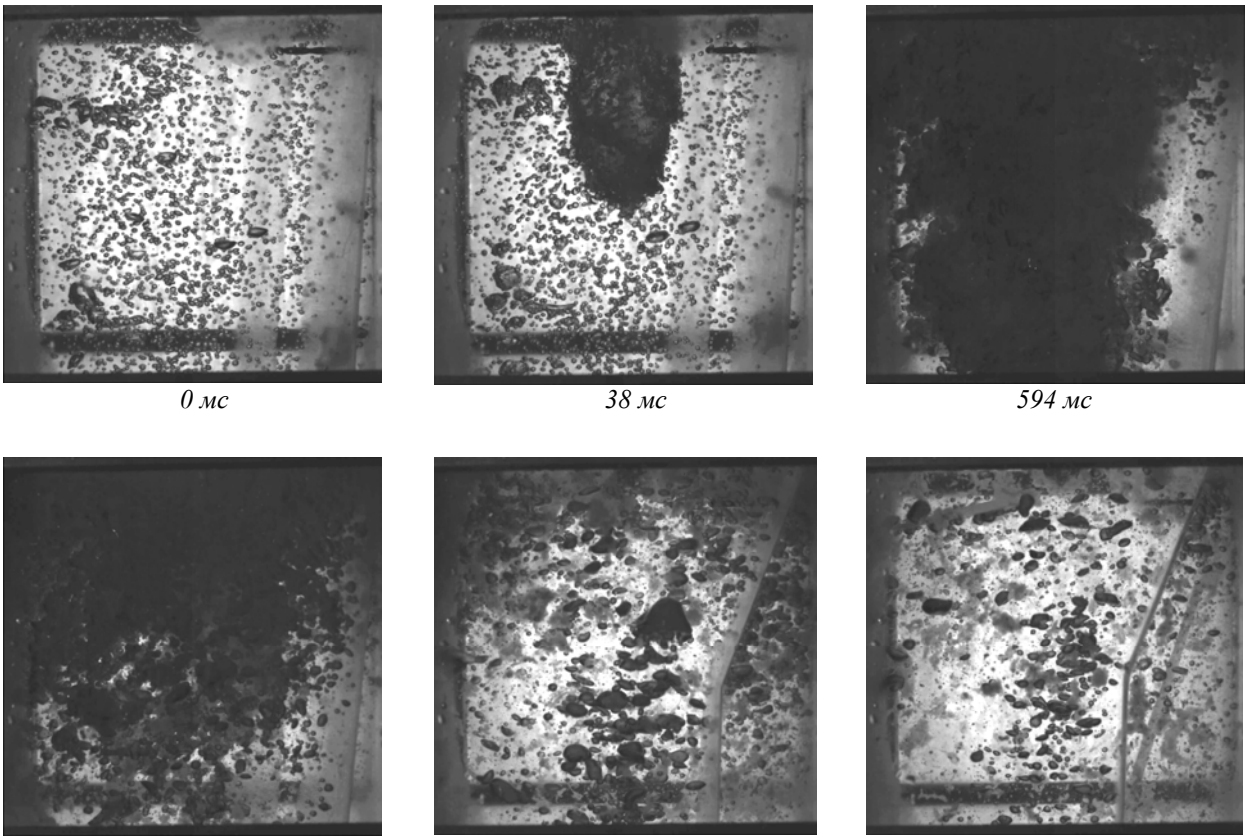

Рис. 3 Кадры скоростной съемки процесса инжектирования жидкого азота (1000 к/с).

ВЫВОДЫ

На основе технологии подачи жидкого азота с использованием оригинального инжектора, на принцип работы которого был получен патент РФ № 2507438, была создана новая установка, позволяющая фиксировать происходящие гидродинамические процессы с помощью высокоскоростной камеры с большим разрешением.

Исследованы процессы гидратообразования за ударной волной возникающей в результате взрывного вскипания инжектированного под воду жидкого азота. Проведенная скоростная видеосъемка выявила, что в процессе инжектирования жидкого азота в насыщенную пузырьками газа в воду, происходит его взрывное вскипание с амплитудой волны давления 0,42 МПа, что позволяет миновать объемно-диффузионную стадию роста газогидрата, чем, на порядок и более, позволяет выигрывать в скорости интенсификации процесса гидратообразования по сравнению с другими способами. Что является новым этапом исследования ударно-волнового метода получения газогидратов.

ЛИТЕРАТУРА

1. H. Clarke, A. Martinez-Herasme, R. Crookes, D.S. Wen (2010). “Experimental study of jet structure and pressurisation upon liquid nitrogen injection into water”, International journal of multiphase flow, Vol. 36, № 4, pp. 940-949.
2. D.S. Wen, H.S. Chen, Y.L. Ding, P. Dearman. Liquid nitrogen injection into water: pressure build-up and heat transfer // Cryogenics. 2006, Vol. 46, pp. 740-748.
3. H. Clarke, R. Crookes, D.S. Wen, P. Dearman, M. Aryes. Development of a Liquid Nitrogen Fuelled Cryogenic Engine. In: TAE 7th International Colloquium Fuels. 2009, pp. 649-656.
4. C.A. Ordonez. M.C. Plummer, R.F. Reidy. Cryogenic heat engines for powering zero emission vehicles. 2001, ASME IMEC, PID-25620.
5. J. Dahlsveen, R. Kristoffersen, L. Saetran. Jet mixing of cryogen and water. In: 2nd International Symposium Turbulence and Shear Flow Phenomena. 2001, Vol.2, pp. 329-334.
6. V. E. Nakoryakov, A. N. Tsoi, I. V. Mezentsev and A. V. Meleshkin. Explosive Boiling of Liquid Nitrogen Jet in Water // Journal of Engineering Thermophysics. 2014, Vol.23. № 1, pp. 1-8.
7. Донцов В. Е. Процессы растворения и гидратообразования за ударной волной в газожидкостной смеси / В. Е. Донцов, А. А. Чернов // Доклады РАН. - 2009. - Т.425, №6. - С. 764-768.

   Dontsov, V. E., Chernov, A. A. (2009). “Dilution and hydrate forming process in shock ...shock wave in the gas–liquid medium with gas mixture bubbles”, *Doklady RAN,* Vol. 425, No. 6, pp. 764-768.
8. Накоряков В. Е. Образование газовых гидратов в газожидкостной смеси за ударной волной / В. Е. Накоряков, В. Е. Донцов, А. А. Чернов // Доклады РАН, - 2006. - Т.411, № 2. - С.190-193.

   Nakoryakov, V. E., Dontsov, V.E., Chernov, A.A. (2006). “Formation of gas hydrates in the gas-liquid mixture behind the shock wave”, *Doklady RAN*, Vol.411, No. 2, pp. 190-193.