УДК 532.546

С.Р. КИЛЬДИБАЕВА, к.ф.-м.н. (СФ БашГУ)
г. Стерлитамак

ОСОБЕННОСТИ ТЕЧЕНИЯ МНОГОФАЗНЫХ СТРУЙ В УСЛОВИЯХ ДЕЙСТВИЯ ТЕЧЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ ВОДЫ И ПРОЦЕССА ОТДЕЛЕНИЯ ГАЗОВЫХ ПУЗЫРЬКОВ ИЗ СТРУИ

Исследования особенностей добычи газа и нефти из глубоководных залежей Мирового океана являются привлекательными как для исследователей, так и для добывающих компаний в связи с практически нетронутыми запасами углеводородов. Наряду с оценками запасов газа и нефти на континенте, которые постоянно уменьшаются, исследования новых способов добычи, создание новых математических моделей и оценки запасов все чаще появляются в научных публикациях и СМИ. В работе рассматриваются особенности распространения многофазных затопленных струй, возникновение которых имеет техногенный характер и связано с повреждением нефтедобывающей конструкции или подводного трубопровода. Данная тема представляет большой интерес, так как затрагивает вопросы экологии, глубоководной добычи полезных ископаемых, развития альтернативных источников энергии. Исследование течения многофазных затопленных струй тесно связано с увеличением масштабов добычи нефтепродуктов из глубоководных залежей на дне Мирового океана. По оценкам исследователей на сегодняшний момент в пределах Мирового океана установлено около 70 нефтегазоносных или потенциально нефтегазоносных бассейнов или провинций. Согласно оценкам, запасы Мирового океана составляют 251 млрд т условного топлива (т у. т.). Они распределены неравномерно. В Северном Ледовитом океане сконцентрировано 52 % топливно-энергетических ресурсов (ТЭР), в Индийском — 23 %, в Атлантическом — 19 %, в Тихом — 6 % [1].

На сегодняшний момент вопросу изучения многофазных затопленных струй посвящено не так много исследований, поэтому вопрос создания теории распространения многофазных затопленных струй, в том числе, которые сопровождаются гидратообразованием, стоит особенно остро. В истории нефтедобычи уже присутствуют несколько примеров, которые показывают о важности изучения данного вопроса. Одним из наиболее ярких примеров рассматриваемой проблемы является разлив нефти в Мексиканском заливе на платформе Deepwater Horizon, который произошел в 2010 году. Было предпринято несколько попыток устранить утечку в Мексиканском заливе. Особенностью разлива на платформе было образование гидратов на

поверхности газовых пузырьков, сопровождающих поток нефти. Некоторые из предложенных методов устранения утечки оказались неудачными из-за образования гидратов. Об особенностях сбора углеводородов в специальных устройствах более подробно описано в работах [1-2]. В рамках работе будет рассмотрен процесс распространения многофазной затопленной струи, сопровождающийся образованием гидратов. Также будет рассмотрено, каким образом наличие гидратообразования может повлиять на динамику и теплофизические характеристики затопленной струи.

Рассмотрим случай разлива углеводородов техногенного характера, возникновение которого связано повреждением трубопровода при транспортировке углеводородов. Если рассматривать наиболее общий вариант, то отметим, что в качестве углеводородов могут быть рассмотрена смесь, состоящая из капель нефти, пузырьков газа, пузырьков гидрата. Считаем термобарические условия окружающей среды соответствующими условиям стабильного существования гидрата, вследствие чего газовые пузырьки переходят в гидратное состояние. Динамика и характер течения затопленной струи будет зависеть от начальных характеристик окружающей среды, а также параметров окружающей среды. Методика расчета параметров струи приведена в работа [3-4]. Одним из ключевых параметров, который может повлиять на траекторию струи и ее динамику, будет течения окружающей воды.

Под действием течения окружающей среды струя может искривляться, а её состав может изменяться вследствие отделения пузырьков (газовых и/ или гидратных). На рисунке 1 схематично показан процесс отделения пузырьков из струи.

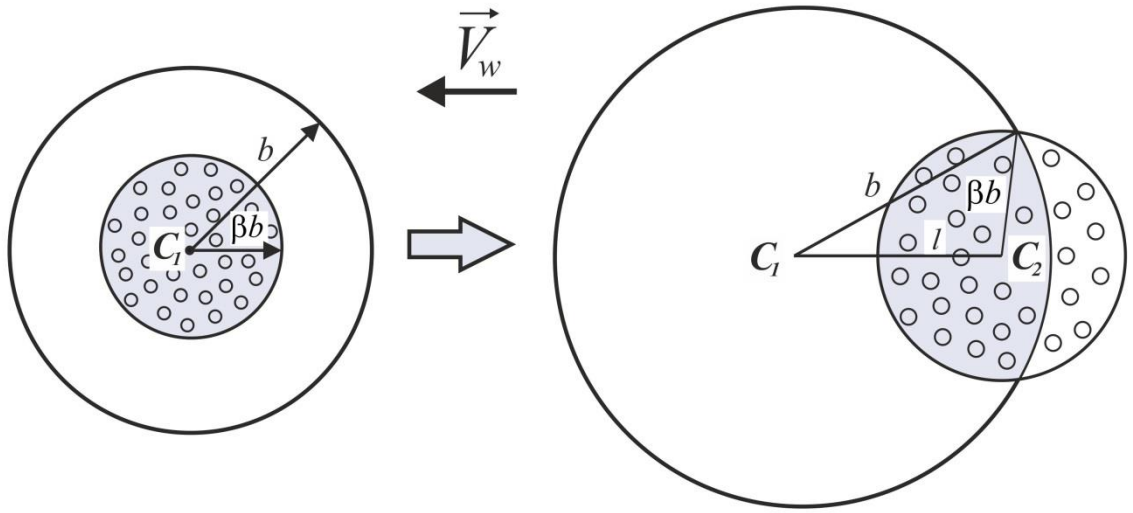

Рис. 1. Схема отделения пузырькового ядра из струи

Математическая модель, описывающая динамику распространения многофазной затопленной струи описана в работах [5-6]. Модель позволяет рассчитать скорость распространения струи, температуру, массовое содержание каждой компоненты струи, определить траекторию струи.

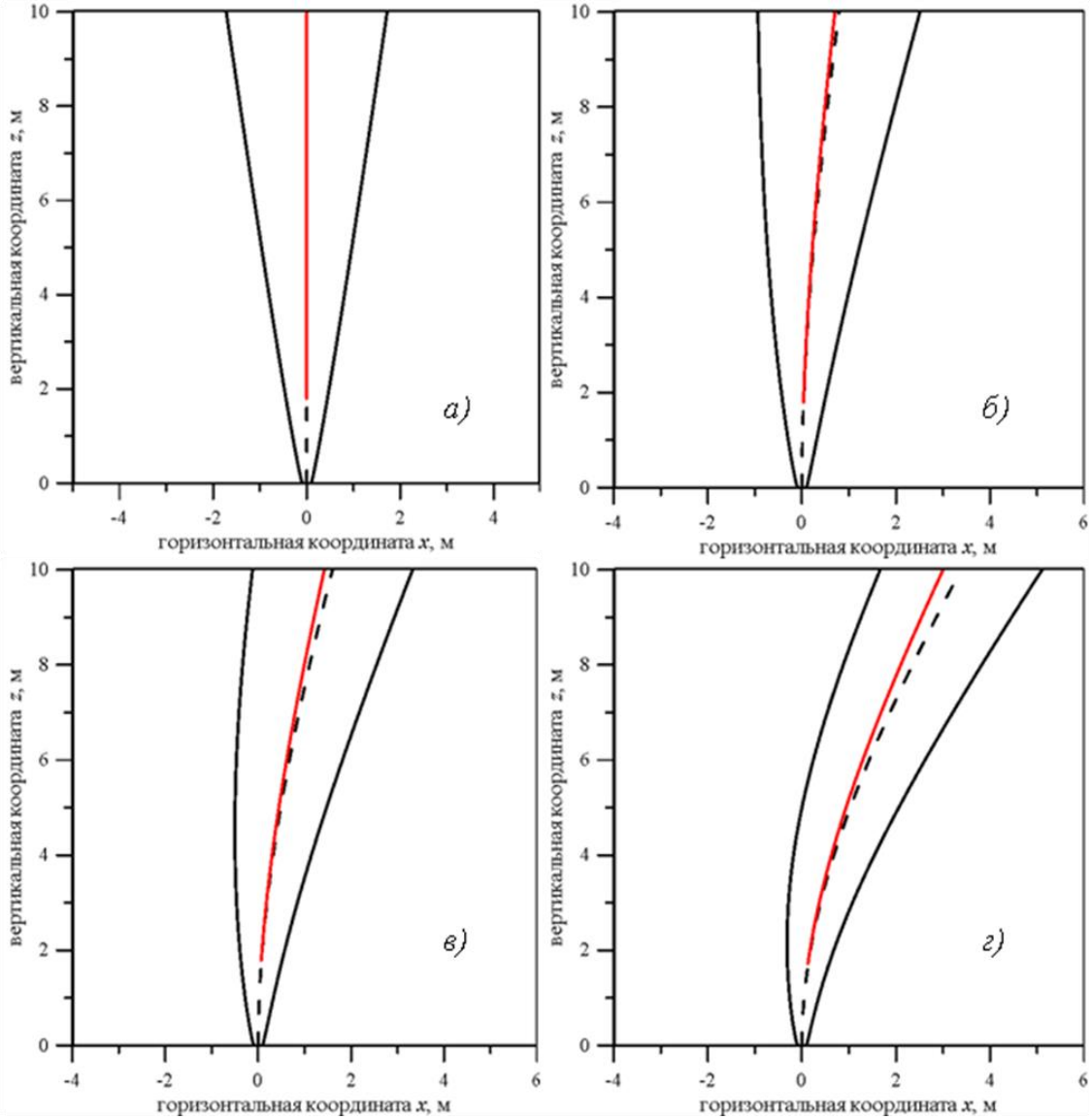

Рис. 2. Траектории струи с учетом поперечного течения для случая гидратообразования, лимитируемого диффузией

На рисунке 2 представлена траектория струи с учетом влияния поперечного потока u_w на струю. Радиус скважины r=0.1 м, объемный расход поступающей нефти Q_o^e=0.7 м^3/с и газа Q_g^e=0.3 м^3/с. Скорость поперечного потока воды u_w=0 м/с (фрагмент *а*), u_w=0.25 м/с (фрагмент *б*), u_w=0.5 м/с (фрагмент *в*), u_w=1 м/с (фрагмент *г*).

Из рисунка 2 видно, что искривление траектории струи наблюдается при $V_w \geq 0.5$ м/с. Для случая больших глубин скорость поперечного течения составляет 0.1-1 м/с [7]. Согласно рисунку 39 скорость поперечного течения оказывает несущественное влияние на траекторию пузырькового ядра.

Список литературы:

1. Гималтдинов И.К., Кильдибаева С.Р. К теории накопления углеводородов в куполе, применяемом для ликвидации техногенного разлива на дне океана. // Инженерно-физический журнал. – 2018. – Т. 91, № 1. – С. 260–265.
2. Gimaltdinov I. K., Kildibaeva S. R. About the theory of initial stage of oil accumulation in a dome-separator. // Thermophysics and Aeromechanics. – 2015. – Т. 22, № 3. – С. 387–392.
3. Chen F. H. A model for simulating deepwater oil and gas blowouts part ii: comparison of numerical simulations with deepspill field experiments/ F. H.Chen, P. D. Yapa // Journal of Hydraulic Research. – 2003. – Vol. 41, № 4. – P.353-365.
4. Yapa P. D. Zheng L. Simulation of oil spills from underwater accidents I: Model development // Journal of Hydraulic Research. – 1997. № 5. – P. 673-688.
5. Кильдибаева С.Р., Гималтдинов И.К.Математическая модель затопленной струи с учетом влияния 3D течения окружающей воды // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Математическое моделирование и программирование. – 2019. – Т. 12, № 1. – С. 137-143.
6. Гималтдинов И.К., Кильдибаева С.Р. Модель затопленной струи с учетом двух предельных схем гидратообразования // Теплофизика и аэромеханика. – 2018. – Т. 25, № 1. – С. 79-88.
7. Stommel H. The gulf stream, a physical and dynamical description // 2d ed., university of California press, 1972. – 248 p.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-79-10227, https://rscf.ru/project/21-79-10227/

Информация об авторах:
Кильдибаева С.Р., к.ф-м.н., СФ БашГУ, 453100, г. Стерлитамак, пр.Ленина, д. 49, s.r.kildibaeva@strbsu.ru