

## ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ КАВИТАЦИОННЫХ ПУЛЬСАТОРОВ ДЛЯ КИСЛОТНЫХ ОБРАБОТОК НЕФТЯНЫХ СКВАЖИН

Г. А. Сиз, А. М. Жуковский

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научный руководитель В. М. Ткачев

Кавитационные пульсаторы – устройства для генерации на забое скважины колебаний давления для осуществления виброволнового воздействия на призабойную зону пласта с присущими ему положительными эффектами. Работа таких пульсаторов основана на преобразовании (закручивании, ускорении) потока перекачиваемой жидкости за счет особенностей конструкции и получении на выходе потока в режиме развитой кавитации схлопывания пузырьков парогазовых каверн, что является источником колебаний давления в объеме жидкости и на стенках скважины.

В РУП «ПО «Белоруснефть» были разработаны и опробованы в промышленных условиях и доказавшие свою эффективность конструкции пульсаторов с осевым и радиальным истечением рабочей жидкости [1].

Несмотря на достаточно высокие показатели рабочих конструкций пульсаторов, имеются резервы для ее улучшения. Целесообразно применять конструктивные решения для варианта с осевым истечением жидкости, так как в этом случае максимально доступен единственный относительно свободный габаритный параметр – по длине устройства. В пульсаторе с осевым истечением жидкости формируется вертикальный «факел» и максимальные амплитуды колебаний приходятся на вертикальную ось устройства. Хотя и малый диаметр скважины обеспечивает проникновение колебаний в пласт, было бы целесообразно сместить поток от строго вертикального направления и увеличить влияние на стенки, причем по всей боковой поверхности скважины, для равномерного воздействия по всему продуктивному интервалу.

Целью данной работы является исследование возможности влияния на поток с целью его отклонения путем создания периодического частичного перекрытия сечения потока на выходе. Достичь данного эффекта предполагается размещением в форсунке пульсатора проточки эллиптической формы, выполняющей функцию резонансной камеры и содержащей «беговую дорожку» со стальным шариком (рис. 1). В положении на меньшей полуоси эллипса шар максимально перекрывает сечение потока, достигается максимальное его отклонение от вертикали, под действием закрученного потока жидкости шарик смещается по «беговой дорожке» к вершине большей полуоси, поток при этом отклоняется обратно к вертикали. Шаровая форма препятствия предполагает огибающий характер отклонения потока, а периодичность перекрытия сечения обеспечит и дополнительное ударное воздействие на стенки скважины затопленной струей.

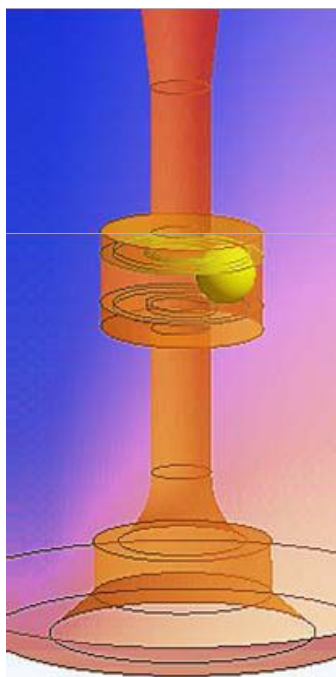


Рис. 1. Конструкция форсунки с эллиптической проточкой

Путем моделирования многофазного турбулентного течения рабочей жидкости с учетом кавитации ставилась задача определения работоспособности предлагаемой конструкции и оптимизации конструктивных параметров.

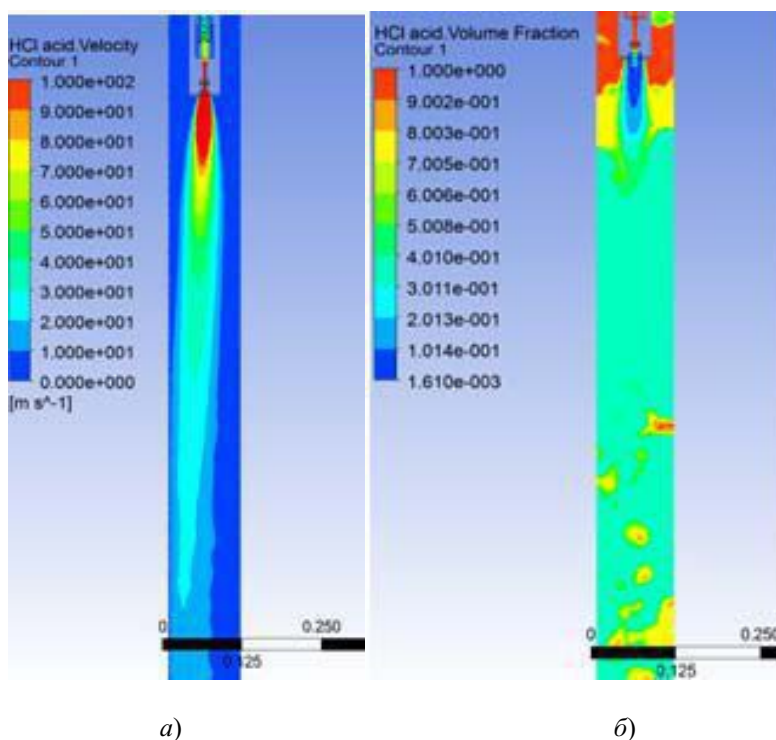


Рис. 2. Результаты модельных исследований:  
а – распределение скорости жидкости в моделируемой области;  
б – распределение объемных фракций в моделируемой области

3D-модель проточной части устройства исследовалась при следующих граничных условиях: расход на входе – 3–6 л/с и давление на забое – 10–20 МПа. Для расчета многофазного течения использовали модель Эйлера и математическую модель динамики сферической каверны Релея–Плессета с учетом вязкости, сил поверхностного натяжения, влияния газа в каверне, близости границ твердой стенки и давления соседних пузырьков. Исследовались поля распределения давления, скоростей на выходе из устройства и в камере с шариком, линии тока жидкости. На основании полученных результатов определялась работоспособность конструкции в скважинных условиях, а также возможность перемещения шара в эллиптической камере и, как следствие – возможность изменения направления потока жидкости. На рис. 2 показаны распределения скорости жидкости и объемных фракций в вертикальном сечении потока при расположении шара в максимально отклоняющем положении.

Из рисунков видно, что поток жидкости отклоняется в сторону шара. Это говорит о том, что он работает как отклоняющее препятствие. Также на рисунках видно достижение скорости жидкости на выходе из устройства до 250 м/с, наличие множества областей с различной концентрацией парогазовой и жидкой фазы, что говорит о развитой кавитации течения и подтверждает работоспособность конструкции.

Из рис. 3, *а* видно закручивание потока и влияние его на шарик, а из распределения давлений (рис. 3, *б*) видны область повышенного давления в зоне набегающего на шарик потока и область пониженного давления с обратной стороны шара, что обеспечивает его перемещение по эллипсу в направлении закручивания потока жидкости.

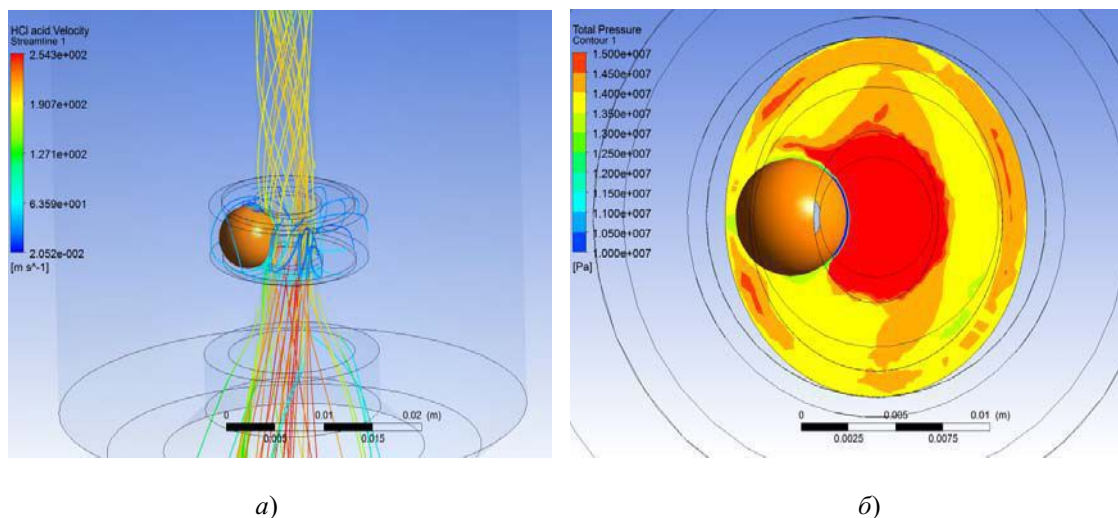


Рис. 3. Результаты модельных исследований: *а* – линии тока жидкости в моделируемой области; *б* – распределение давления в поперечном сечении эллиптической камеры

Подтвердить это предположение можно определив значение окружной силы, воздействующей на шар под действием давления жидкости. Расчетное значение и направление окружной силы показано на рис. 4.

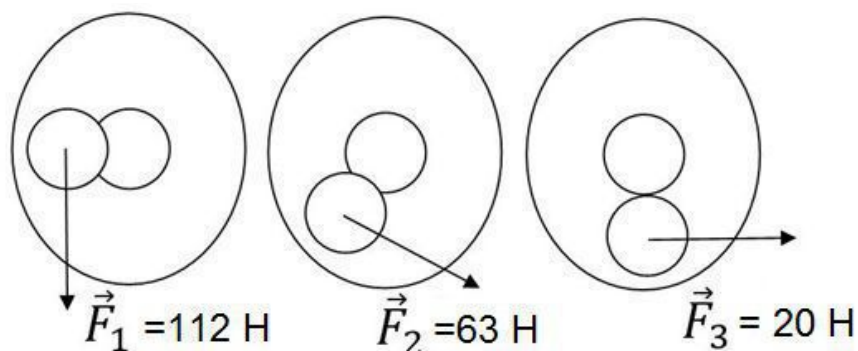


Рис. 4. Направление и значение вектора окружной силы, действующей на шар при различных положениях на траектории эллипса

Согласующиеся с полученным результатом направления векторов окружной силы на шаре наблюдаются и при других положениях в эллиптической камере. Данные векторы показаны на рис. 4. Как видно из рис. 4, направление вектора результирующей силы сохраняется при перемещении его по траектории эллипса. Это позволяет судить о том, что шар в камере будет перемещаться по направлению закручивания потока жидкости в камере.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что предлагаемая конструкция позволяет вызывать периодические колебания потока рабочей жидкости относительно вертикали и тем самым увеличить амплитуду пульсаций давления, а также содержание парогазовой фазы.

#### Л и т е р а т у р а

1. Моделирование кавитационных процессов в гидродинамических пульсаторах / Д. В. Ткачев [и др.] // Современ. проблемы машиноведения : тез. докл. IX Междунар. науч.-техн. конф. / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2012. – С. 95–96.