

КАВИТАЦИОННАЯ ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ПРИГОТОВЛЕНИЯ БУРОВЫХ И ТАМПОНАЖНЫХ РАСТВОРОВ

М.В. Омелянюк¹⁾, И.А.Пахлян²⁾, А.П. Аладьев³⁾

1) к.т.н., зав. кафедрой МОНГП Армавирского механико-технологического института (филиала) ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет», г. Армавир, Россия, m.omelyanyuk@mail.ru

2) к.т.н., доцент кафедры МОНГП АМТИ (филиала) ФГБОУ ВО «КубГТУ», г. Армавир, Россия, pachlyan@mail.ru

3) студент кафедры МОНГП АМТИ (филиала) ФГБОУ ВО «КубГТУ», г. Армавир, Россия, aladyev.anton@gmail.com

Аннотация: проведен анализ моделирования кавитационных течений в осесимметричных кавитаторах. Представлены области практического применения кавитации при интенсификации приготовления буровых промывочных и тампонажных растворов.

Ключевые слова: кавитатор, модель, течение, эрозия, диспергирование.

CAVITATIONAL INTENSIFICATION OF PROCESSES OF PREPARATION OF BORING AND GROUTING SOLUTIONS

Maxim V.Omelyanyuk¹⁾, Irina A.Pahlyan²⁾, Anton P. Aladyev³⁾

1) Ph. D., associate Professor, Armavir Institute of Mechanics and Technology (branch) of Federal State Budgetary Institution of Higher Education “Kuban State Technological University”, Armavir, Russia, m.omelyanyuk@mail.ru

2) Ph. D., associate Professor, Armavir Institute of Mechanics and Technology (branch) of Federal State Budgetary Institution of Higher Education “Kuban State Technological University”, Armavir, Russia, pachlyan@mail.ru

3) the student Armavir Institute of Mechanics and Technology (branch) of Federal State Budgetary Institution of Higher Education “Kuban State Technological University”, Armavir, Russia, aladyev.anton@gmail.com

Abstract: the analysis of modeling of cavitation currents in axisymmetric kavitator is carried out. The fields of practical application of cavitation at an intensification of preparation of boring flushing and grouting solutions are presented

Key words: kavitator, model, current, erosion, dispergating.

Кавитация – явление разрыва капельной жидкости под действием растягивающих напряжений, возникающих при разрежении в рассматриваемой точке жидкости; это внутрижидкостный или пристеночный процесс перехода локального объема жидкости в парообразное состояние, вызванный растяжением локального объема жидкости. При разрыве капельной жидкости образуются полости – кавитационные пузырьки (каверны), заполненные паром, газом или их смесью, при этом разрыв жидкости обусловлен изменением характеристик поля скоростей и давлений.

Анализ моделирования кавитационных процессов

В настоящее время достаточно хорошо разработана статика и динамика одиночного кавитационного пузырька в безграничной области и вблизи стенки. Наиболее полно разработаны вопросы гидродинамики развитых кавитационных течений в теории плоских кавитационных течений (течения Куэтта и Пуазейля). Вопросы гидродинамики пространственных течений, в частности, осесимметричных (при течении жидкости по осесимметричной трубе и обтекании кавитатора или при осесимметричном течении непосредственно через кавитатор), разработаны менее подробно [1]. Незначительно определены условия существования различных форм кавитации, отличных от развитой, которые часто наблюдаются при работе гидравлических машин, при струйных осесимметричных течениях через кавитатор и т.д.

Теоретическое исследование пузырьковой кавитации в реальных условиях обтекания тел в кавитационных и гидродинамических трубах и на натуральных объектах не только наталкивается на исключительные математические трудности, но и затрудняется отсутствием достоверных данных о распределении ядер кавитации в набегающем потоке, особенно для натуральных условий.

Авторам не известно достаточно хорошо разработанных теоретических методов исследования движения нескольких пузырьков, их взаимодействия, особенно в случаях струйного течения, расчета эрозионной способности струйного кавитационного течения. Вопросы взаимодействия пузырьков имеют исключительное значение при высоконапорном струйном истечении, при котором каверна представляет собой не единую заполненную паром или газом полость, а множество пузырьков (имеющих размеры порядка единиц и десятков микрон, количество протекающих пузырьков за 1 секунду через площадь поперечного сечения в $1 \text{ см}^2 - 10^3 - 30 \cdot 10^6$ шт [2,3]).

Значительное число работ посвящено исследованию начальной стадии кавитации на крыльях и телах вращения (работы А.С.Горшкова, О.Н. Гончарова, Ю.Н. Калашникова), акустической (вибрационной) кавитации,

особенно в применении к кавитационной эрозии в системе охлаждения втулок силовых цилиндров судовых дизелей.

Авторам не известно работ по достоверному моделированию процессов осесимметричных кавитационных течений в части влияния на параметры кавитации и кавитационную эрозию конфигураций внутренних проточных каналов кавитаторов, которые позволили бы прогнозировать технологические параметры струйного воздействия для решения частных задач разрушения различных металлических и неметаллических материалов. Исследователи струйных кавитационных осесимметричных течений не всегда учитывают случайный характер описываемых явлений и получаемых результатов. Представленные отдельные модели в лучшем случае дают возможность вычислять только математические ожидания результатов. По приведенным в публикациях [1-6] и других работах результатам не всегда можно говорить об адекватности моделей; данные модели не достаточно пригодны для углубленного исследования закономерностей кавитационного разрушения и точного прогнозирования состояния оборудования или материалов, подвергаемых кавитационной эрозии. На основании таких моделей можно говорить только о качественной стороне процесса разрушения.

Положительное использование

Существует много направлений использования гидродинамической кавитации в промышленности, в том числе в нефтяной и газовой. Гидродинамическая и вибрационная кавитация применяется для получения различных эмульсий, в том числе топливо-водяных. Гидродинамическая кавитация широко применяется для очистки различного оборудования от отложений, загрязнений, обрастаний и т.д. В настоящее время кавитационный метод очистки применяется при очистке насосно-компрессорных труб и рабочих органов погружных центробежных насосов от отложений солей, систем охлаждения поршневых газоперекачивающих агрегатов и судовых дизелей, кожухотрубных теплообменников (охладителей/нагревателей), аппаратов воздушного охлаждения различных агентов (воды, масла, газа, воздуха и т.д.), чистке и резке подводных частей гидротехнических сооружений и т.п. [7-10]. Использование колебаний, возникающих при кавитационных течениях, применяется для интенсификации работы нефтяных и водозаборных скважин, повышении приемистости нагнетательных скважин [11].

Сервисные компании и буровые предприятия уделяют повышенное внимание технологии приготовления и параметрам применяемых буровых и тампонажных растворов, от которых, в первую очередь, зависит качество выполняемых работ по строительству и капитальному ремонту скважин.

Современные технологии и технические средства для приготовления и гомогенизации буровых растворов обеспечивают достаточно высокую производительность (до 100 м³ /час и выше), практически полную механизацию процесса, но, однако, не обеспечивают главного - достаточной степени диспергирования твердой фазы [12]. В результате приготовленный буровой раствор приходится доводить до требуемой кондиции путем многократной циркуляции в системе приготовления, либо в циркуляционной системе буровой установки

Перспективным для интенсификации процессов диспергирования и смешивания в многофазных средах является использование эффекта кавитации, который оказывает значительное влияние на тиксотропные и фильтрационные свойства глинистых растворов, прочность цементного камня, за счет очень высокой локальной концентрации энергии при небольших средних затратах мощности.

Кавитационная технология легко технически реализуется при атмосферном давлении [13]. Нарушение сплошности потока возникает при условии:

$$P - \frac{\rho v^2}{2} \leq Z, \quad (1)$$

где P – гидростатическое давление в потоке жидкости; v – скорость потока; ρ – плотность жидкости; Z – объемная прочность жидкости, которую можно принимать равной давлению насыщенных паров $P_{н.п.}$

Из условия (1) можно определить скорость потока, при которой возникает кавитация (без учета формы кавитатора):

$$v \geq \sqrt{\frac{2(P-Z)}{\rho}}. \quad (2)$$

Определим v для потока воды при атмосферном давлении и температуре 20°C ($Z=0,002$ МПа)

$$v \geq \sqrt{\frac{2(0,1-0,002) 10^5}{1000}} \geq 14 \text{ (м/с)}$$

Конкретная величина критической скорости протекания жидкости (воды), при которой происходит образование каверн, в большой степени зависит от формы внутренних проточных поверхностей кавитатора, что не учитывается представленными моделями. Для конструкций кавитаторов, разработанных авторами для кавитационной раскольматации скважин, при

атмосферном давлении на выходе величина критической скорости, при которой происходит проявление кавитации, составляет около 7,5 м/с, что лишний раз подтверждает, что модели не достаточно пригодны для углубленного исследования закономерностей кавитационного разрушения и точного прогнозирования технологических кавитационных процессов.

Образующиеся кавитационные каверны в потоке жидкости переносятся в область с повышенным давлением, где они схлопываются с образованием гидравлического удара. Возникающее при этом давление P_y можно определить по формуле Н.Е. Жуковского для прямого гидроудара:

$$P_y = \rho \cdot v \cdot c, \quad (3)$$

где c – скорость распространения ударной волны, которую можно принимать равной скорости звука в жидкости.

Полагая $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$; $v = 14 \text{ м/с}$; $c = 1400 \text{ м/с}$, по формуле (3) получим $P_y = 19,6 \text{ МПа}$. Импульсы давления такой амплитуды, к тому же повторяющиеся с частотой в сотни Герц, при схлопывании вокруг твердых частиц тампонажного или бурового раствора способствуют их качественному диспергированию и гомогенизации. Кроме того, при кавитационном диспергировании вновь образующаяся поверхность частиц чрезвычайно активна, в результате можно получить стабильный раствор с минимальной химической обработкой или даже без таковой.

Список использованных источников:

1. Иванов А.Н. // Гидродинамика развитых кавитационных течений. Л.: Судостроение, 1980. – 240 с., ил.
2. Федоткин И. М., Гулый И. С. // Кавитация. – Киев: Полиграфкнига, 1997. – Часть 1. – 839 с.
3. Федоткин И. М., Немчин А.Ф. // Использование кавитации в технологических процессах. – Киев: Вища школа, 1984. – 68 с.
4. Ибрагимов Л.Х., Мищенко И.Т., Челоянц Д.К. // Интенсификация добычи нефти. – М: Наука, 2000. – 414 с.
5. Холпанов Л.П., Запорожец Е.П., Зиберт Г.К., Кащицкий Ю.А. // Математическое моделирование нелинейных термогазодинамических процессов в многокомпонентных струйных течениях. – М.: Наука, 1998. – 320 с., ил..
6. Рублев А.Б. // Разработка и исследование технических и технологических решений интенсификации добычи нефти при вторичном вскрытии и обработке призабойной зоны пласта (на примере Самотлорского месторождения). Автореферат дис. на соис. уч. ст. канд. технич. наук. – Тюмень, 2005.

7. Омелянюк М.В. Кавитационные технологии в нефтегазовом деле // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса, 2010. – №1. – С. 29-33.

8. Омелянюк М.В. Гидравлические генераторы колебаний в нефтегазовом деле // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса, 2011. – № 3. – С. 54-60.

9. Омелянюк М.В. Разработка технологии гидродинамической кавитационной очистки труб от отложений при ремонте скважин // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Краснодар, 2004 .

10. Омелянюк М.В., Черномашенко А.Н. Повышение экономичности и безопасности эксплуатации аппаратов воздушного охлаждения // Нефтепромысловое дело, 2009. – № 4. – С. 43-46.

11. Омелянюк М.В. Интенсификация работы и реанимация водозаборных скважин // Нефтепромысловое дело, 2010. – № 8. – С. 22-25.

12. Ганиев С.Р. // Исследование и разработка энергосберегающих технологий приготовления и гомогенизации буровых и тампонажных растворов, основанных на эффектах волновой механики. Автореф. дисс. на соиск. учен. степ. к.т.н. – Москва. 2010.

13. Маслов В.В. // Совершенствование технологии приготовления, разработка и выбор компонентов буровых промывочных жидкостей для строительства нефтяных и газовых скважин. Автореф. дисс. на соиск. учен. степ. к.т.н. – Тюмень. 2007.