

Численное исследование кавитации и процесса выделения растворенного воздуха в нестационарных потоках

Ибен У.*, Махнов А.В.**, Шмидт А.А.**

*Robert Bosch GmbH, Реннинген, Германия

**Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого и Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург

Одной из актуальных и широких проблем современной техники является кавитационная эрозия, приводящая к разрушению элементов конструкций гидравлических аппаратов при взаимодействии этих элементов с рабочими средами (жидкостями) устройств.

Данное явление существенно ограничивает эксплуатацию технических систем. Эрозия, в свою очередь, связана с явлениями кавитации и выделения растворенного воздуха (дегазации), возникающими при определенных условиях в потоках жидкостей.

Несмотря на всю популярность тематики и большое число публикаций, ряд вопросов и на сегодняшний день нуждается в дополнительном изучении. В частности, для понимания вклада в эрозию различных процессов, сопровождающих коллапс кавитационных структур (или каверн), требуется детальное изучение возникновения и развития кавитации, выделения растворенного газа и эволюции дисперсной фазы (пузырьков или каверн).

Процесс коллапса каверны, для которого характерно генерирование и распространение в жидкости акустических возмущений и ударных волн, а также, в случае коллапса вблизи стенок, кумулятивных струй, и является ответственным за проблему кавитационной эрозии.

Подробное экспериментальное наблюдение явлений кавитации и дегазации, происходящих в нестационарном потоке среды, сталкивается с существенными трудностями, обусловленными сильными различиями в пространственных и временных масштабах протекающих процессов. В связи с этим, особенно привлекательным и перспективным подходом к исследованию таких комплексных задач становится математическое моделирование.

Алгоритм численного расчета, основанный на конечно-объемной дискретизации исходных уравнений, опирающихся на фундаментальные законы сохранения массы и импульса для смеси жидкости, пара и выделившегося газа, позволяет получить детальную информацию об изучаемых

физических процессах, проанализировать как их взаимодействие, так и влияние в чистом виде каждого из отдельных механизмов.

Такой алгоритм и был разработан в рамках данного исследования, а также использован для анализа дегазации кавитирующей жидкости в каналах, моделирующих тракты гидравлических аппаратов, широко применяющихся в технике. Полученные в расчетах результаты качественно согласуются с представленными в литературе экспериментальными сведениями.

Усредненное значение массового расхода среды, полученное в расчете течения в канале, хорошо совпадает с результатом эксперимента. Наличие в полях течения больших градиентов скорости, плотности среды и давления связано со сложной неоднородной структурой потока, в котором локально возникают отрывные области, а также образуются и коллапсируют паровые и парогазовые каверны [1].

Анализ локальных распределений массовой доли, построенных по отдельности для пара и для выделившегося газа, позволил установить ключевые различия в сценариях образования и в динамике развития паровых и газовых каверн.

Пар присутствует в составе смеси локально в областях течения, где давление жидкости падает до давления насыщенных паров, то есть далеко не во всем объеме, занятом газообразной фазой. Большая часть этого объема занята не паром, а выделившимся газом. После выделения газа в каверны газ стремится раствориться обратно в жидкость, однако этот процесс медленный и не успевает значительным образом проявиться за характерное гидродинамическое время течения [2].

Список литературы:

- [1] Iben, U.; Makhnov, A.V.; Schmidt, A.A. Mathematical modeling of the inception and development of cavitation in turbulent liquid flow in a symmetric channel // Technical Physics Letters, 2019
- [2] Iben U.; Makhnov A.V.; Schmidt A.A. Numerical study of dissolved gas release induced by cavitation in a high speed channel flow // J. Phys.: Conf. Series, 2019